

UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS

« ULPGL/GOMA »



BP. 368 GOMA

www.ulpgl.net

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES APPLIQUEES

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

**ETUDE D'AMENAGEMENT D'UNE CHAUSSEE EN
PAVE BASALTIQUE : Application sur le tronçon station
Modé-La Sapientia à Goma**

Par : **SOKI SAMBO Cynthia**

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

Option : **Génie Civil**

Directeur : **Drs. Ing BISHWEKA Cherif**

Encadreur : **Ing. CIRURA BADESIRE Paterne**

Année Académique : 2021 – 2022

EPIGRAPHE

« Ne te demande pas où la route va te conduire. Concentre-toi sur le premier pas. C'est le plus difficile à faire »

Elif Shafak

DEDICACES

A mes très chers parents, SAMBO KAMBERE Desire et KIZA MWATSI Justine.

SOKI SAMBO Cynthia

REMERCIEMENTS

Nos remerciements sont adressés à notre Dieu tout puissant pour le souffle de vie et la protection dont nous sommes bénéficiaires, lui qui nous a permis d'achever ce travail scientifique de fin du premier cycle.

A l'Université Libre Des pays Des Grand-Lacs ULPGL en général et la Faculté de Science et Technologie Appliquée (FSTA) pour la qualité de leur formation.

A notre Directeur et encadreur Drs. Ing. BISHWEKA Cherif et Ing. CIRURA BADESIRE Paternelle qui nous ont accompagnés tout au long de ce travail ; à travers leur conseils et directives ce travail a pu être réalisé.

A mes parents SAMBO KAMBERE Desire et KIZA MWATSI Justine pour leur amour, assistance et encouragement.

A mes frères et sœurs VIRA SAMBO Rachel, BUO SAMBO Esther, MUHINDO SAMBO Serge, BWAMBALE SAMBO Aurèle pour leur amour et attachement à ma personne.

A mes camarades étudiants et étudiantes de la troisième année de graduat à ULPGL/Goma pour leur soutien moral.

A tous ceux qui ont de prêt ou de loin contribués à la réalisation de notre travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre considération distinguée.

SOKI SAMBO Cynthia

RESUME

Le présent travail consiste à faire une étude d'aménagement d'une chaussée en pavé basaltique sur le tronçon joignant la station Modé à l'Université Catholique La Sapientia. Cette étude a pour objectif de proposer un aménagement partant des résultats du dimensionnement pour palier au problème d'assainissement sur ce tronçon. Ce problème fait obstacle à la circulation des passants et aux activités commerciales suite à la présence des eaux stagnantes et des grosses pierres à la surface de la route. Pour parvenir au bout de cette étude : les études topographiques ont été effectuées grâce au logiciel google Maps et google earth, le dimensionnement de la chaussée a été fait par la méthode CEBTP. Le logiciel CIVIL 3D a permis de générer tous les profils et la cubature. Dans la mesure où les chaussées revêtues en 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 couches et des matériaux donnés par CEBTP. Du point de vue économique, le cout total de matériaux pour l'aménagement de cette chaussée sera estimé à 287481 \$.

Mots clés : Chaussée, Aménagement, Pavé basaltique.

ABSTRACT

The present work consists in making a study of the development of a pavement in basalt cobblestone on the section joining the Modé station to the Catholic University La Sapiencia. This aims to propose a development based on the results of the design to compensate for the sanitation problem of this section. This problem which hinders the circulation of passers-by and commercial activities due to the presence of stagnant water and large stones on the surface of the road. To reach the end of this study: the topographic studies were carried out using the google Maps and google earth software, the dimensioning of the roadway was done by the CEBTP method. The CIVIL 3D software was used to generate all the profiles and the cubature. 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 conversion into a layer of cobblestone and bedding starting from the thicknesses of the materials donated by CEBTP. From an economic point of view, the total cost of materials for the development of this road will be estimated at 287481 \$.

Keywords: Pavement, Development, Basaltic pavement.

SOMMAIRE

EPIGRAPHE	I
DEDICACES.....	II
REMERCIEMENTS.....	III
RESUME.....	IV
ABSTRACT.....	V
SOMMAIRE	VI
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	IX
Liste des tableaux	X
Liste des figures	XI
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre I GENERALITES.....	3
I.1 GENERALITES SUR LES ROUTES.....	3
I.1.1 Historique de la route [3].....	3
I.1.2 Terminologie routière [4]	4
I.1.3 Géométrie de la Chaussée.....	5
I.1.4 Constitution de la chaussée	10
I.1.5 Types des chaussées	14
I.2 GENERALITE SUR LE PAVAGE.....	15
I.2.1 Types de pavés	16
I.2.2 Les normes sur les pavés [17]	17
I.2.3 Proposition de technologie	18
I.3 GENERALITES SUR LES MATERIAUX.....	19
I.3.1 Généralités sur les roches	19
I.3.2 Etude du Basalte [13].....	21

I.4	GENERALITE SUR L'ASSAINISSEMENT ET LE DRAINAGE ROUTIER [4]	24
I.4.1	Définitions des concepts [19]	24
I.4.2	Ouvrages hydrauliques de drainage et d'assainissement [4]	26
I.5	CONCLUSION PARTIELLE	26
CHAPITRE II. METHODOLOGIES DU TRAVAIL.....		27
II.1	PRESENTATION DU TRONCON CIBLE.....	27
II.2.1	Situation Géographique.....	27
II.2.1	Etat de lieu.....	28
II.2	LES ELEMENTS DE DIMENSSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE.....	28
II.2.1	Etude du trafic [4].....	29
II.2.2	Durée de service.....	34
II.2.3	Nature de sol support	35
II.2.4	Données climatiques de la ville de Goma et de l'environnement [3].....	38
II.2.5	Les caractéristiques géotechniques du sol et les matériaux.....	39
II.3	METHODES DE DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE SOUPLE	41
III.3.1	Les méthodes empiriques	41
II.3.1.3	Méthodes mécaniques.....	43
II.4	CUBATURES DES TERRASSEMENTS [3].....	44
II.5	DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE DRAINAGE ET D'ASSAINISSEMENT ROUTIER	45
II.5.1	Dimensionnement hydraulique des fossés [7]	45
II.6	MATERIELS ET LOGICIELS UTILISES.....	51
II.7	CONCLUSION PARTIELLE	52
CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES DE LA CHAUSSEE ET PRESENTATION DES RESULTATS		53
III.1	DIMENSIONNEMENT HORIZONTAL DE LA ROUTE.....	53
III.1.1	Levés topographiques	53

III.1.2	Le tracé en plan	54
III.2.1	Le profil en long	55
III.2.1	Le profil en travers	56
III.2	DIMENSIONNEMENT VERTICAL DE LA CHAUSSEE	57
III.2.1	Proposition de la structure selon le guide CEBTP [21].....	58
	La présentation et l'interprétation des résultats des essais effectués au laboratoire en vue de déterminer la portance du sol :.....	58
III.2.1.1	L'essai Proctor Modifié	58
	La courbe Proctor Modifié du sol est représentée par la figure	58
III.2.2	Trottoirs	61
III.3	DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT	61
III.3.1	Détermination du débit.....	61
III.3.2	Dimensionnement du fossé latéral	62
III.4	CALCULS DES CUBATURES DES TERRASSEMENTS	63
III.4.1	Cubature de la couche de base	63
III.4.2	Mouvement de terre.....	63
III.5	CALCULS DES NOMBRES DE PAVES ET MISE EN ŒUVRE.....	66
III.5.1	Nombre des pavés.....	66
III.5.2	Mise en œuvre	66
III.5.3	Devis estimatif du tronçon en étude	70
III.6	CONCLUSION PARTIELLE.....	71
	CONCLUSION GENERALE	72
	BIBLIOGRAPHIE	73
	ANNEXES.....	77

SIGLES ET ABBREVIATIONS

CAM	: Coefficient d'agressivité moyen
CBR	: Californian Bearing Ration
CEBTP	: Centre Expérimental de Recherche et d'étude du Bâtiments et Travaux Publics
CMA	: Concrete Manufactrers Association
GNT	: Grave non traité
GTR	: Guide des Terrassements Routiers
IPI	: Indice de la Production Industrielle
Km/h	: Kilomètre par heure
LCPC	: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
NF	: Norme Française
OVG	: Office Volcanologique de Goma
PL	: Poids Lourds
SBV	: Sous Bassin Versant
TJMA	: Trafic Annuel Moyen Journalier
RN2	: Route nationale numéro 2
ULPGL	: Université Libre des Pays Des Grand-Lacs

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau I. 1 Catégories de route et leur vitesse de base</i>	<i>6</i>
<i>Tableau I. 2: Epaisseurs normalisées des pavés en fonction de la destination</i>	<i>18</i>
<i>Tableau II. 1 Valeurs du coefficient CAM-Chaussée urbaines</i>	<i>33</i>
<i>Tableau II. 2 Les classes de trafics selon le nombre de poids lourds cumulés par jour</i>	<i>33</i>
<i>Tableau II. 3 Les classes de trafic PL retenues pour les différentes vocations de voies</i>	<i>34</i>
<i>Tableau II. 4 Tableau Qualité des sols et leur portance.....</i>	<i>37</i>
<i>Tableau II. 5 Classe de portance du sol</i>	<i>38</i>
<i>Tableau II. 6 Résultats des essais pour l'échantillon de MUNIGI.....</i>	<i>40</i>
<i>Tableau II. 7 Les coefficients d'équivalence pour chaque matériau.....</i>	<i>42</i>
<i>Tableau II. 8 Valeurs du coefficient de ruissellement C</i>	<i>48</i>
<i>Tableau II. 9 Présente les pentes transversales des chaussées en fonction des matériaux de revêtement.</i>	<i>49</i>
<i>Tableau II. 10 Capacité max en (l/s) des fossés triangulaires revêtues pour (h=0,60m).....</i>	<i>51</i>
<i>Tableau III. 1 Résumé de différents facteurs d'équivalence du système "pavés + lit de pose"</i>	<i>57</i>
<i>Tableau III. 2. Indice de portance du sol.....</i>	<i>59</i>
<i>Tableau III. 3 Guide propositionnelle des structures pour un trafic T3 et un sol de classe 4 utilisé dans la ville de Goma :.....</i>	<i>59</i>
<i>Tableau III. 4 Résultat de la méthode CEBTP</i>	<i>60</i>
<i>Tableau III. 5 Structure de trottoir</i>	<i>61</i>
<i>Tableau III. 6 Résultat des calculs du débit</i>	<i>62</i>
<i>Tableau III. 7 Le calcul de cubature par le logiciel Civil 3D.....</i>	<i>64</i>
<i>Tableau III. 8 Tableau des volumes des couches par le logiciel Civil 3D.....</i>	<i>65</i>
<i>Tableau III. 9 Profondeur d'excavation suivant la nature de l'ouvrage et le type de sol</i>	<i>67</i>
<i>Tableau III. 10 Devis estimatif du tronçon en étude</i>	<i>62</i>

LISTE DES FIGURES

<i>Figure I. 1: Profil incluant la terminologie routière</i>	<i>4</i>
<i>Figure I. 2 Illustration des éléments constitutifs du tracé en plan</i>	<i>7</i>
<i>Figure I. 3 Illustration des éléments constitutifs du profil en long</i>	<i>9</i>
<i>Figure I. 4: Coupe type d'une structure de chaussée et terminologie des différentes couches</i>	<i>11</i>
<i>Figure I. 5: Cycle des roches</i>	<i>21</i>
<i>Figure II. 2: Vue aérienne du tronçon en étude en Jaune.</i>	<i>27</i>
<i>Figure II. 4: Allure du Terrain Naturel</i>	<i>28</i>
<i>Figure II. 5 Schéma d'un fossé triangulaire.....</i>	<i>46</i>
<i>Figure III. 1 Courbes de niveau.....</i>	<i>53</i>
<i>Figure III. 2 Vue aérienne du projet en étude</i>	<i>54</i>
<i>Figure III.3 Profil en long.....</i>	<i>55</i>
<i>Figure III 4 Profil type du projet en étude.....</i>	<i>56</i>
<i>Figure III. 5 Courbe Proctor Modifié du sol.....</i>	<i>58</i>
<i>Figure III 5 subdivision du Bassin versant en SB</i>	<i>62</i>
<i>Figure III. 6 : Effet de la charge sur la hauteur de lit de pose.....</i>	<i>69</i>

INTRODUCTION GENERALE

Le transport terrestre par la voie routière est l'un de mode de transport le plus populaire dans le monde, il apporte de nombreux avantages nécessaires pour le développement d'un pays. Le mauvais état des routes est l'une de grandes difficultés freinant la croissance de la République Démocratique du Congo car elle ne facilite pas les échanges entre les localités en particulier celles de desserte agricole dont la plupart sont impraticables [1]. D'où la nécessité de se doter des infrastructures routières de haute facture.

La croissance économique est une préoccupation majeure des pays en voie de développement comme de la République Démocratique du Congo mais aussi la revitalisation du secteur agricole. Des investissements pour le transport surtout les infrastructures routières sont nécessaires pour leur accroissement [2]. La route relie tous les points géographiques même les plus reculés et elle contribue à la beauté d'un pays mais plus important au confort de la circulation.

C'est dans cette optique que ce travail propose une étude d'aménagement d'une chaussée en pavée basaltique sur le tronçon joignant la Station Modé à l'Université Catholique La Sapientia dans la ville de Goma.

La ville de Goma est l'une de plus belle de notre pays, elle est appelée ville touristique, elle a non seulement une vue paradisiaque du volcan Nyiragongo mais également du Lac Kivu. Elle offre plusieurs opportunités surtout sur le plan entrepreneurial. C'est primordial qu'elle garde cette image touristique.

Le mauvais état de la chaussée ci-haut cité conduit à plusieurs problèmes notamment : la difficulté de faire les échanges commerciaux entre le quartier Kyeshero et le quartier Ndosho se trouvant à des endroits stratégiques de la ville de GOMA, l'accès difficile aux infrastructures et services sociaux au bord de la chaussée ; la non entretien de la chaussée sur le plan hygiénique (la stagnation de l'eau engendrant certaines maladies), le non reflet du beau sur le plan architectural....

La présente étude se propose donc d'étudier l'aménagement de cette chaussée en pavé basaltique. Le choix de pierres basaltiques se justifie par leur disponibilité localement, mais aussi et surtout par leur bonne résistance.

Pour bien aborder ce sujet, nous avons débuté par des descentes sur terrain ensuite des recherches suivis des études topographiques, hydrauliques, géotechniques et enfin nous allons procéder au dimensionnement par la méthode CEBTP. Outre l'introduction générale qui nous oriente tout au long du travail et la conclusion générale qui nous donnera une vue globale sur notre problématique. Ce travail s'articule autour de trois chapitres qui se complètent à savoir :

Chapitre 1. Généralités ;

Chapitre 2. Méthodologies du travail ;

Chapitre 3. Dimensionnement des structures de la chaussée et présentation des résultats.

Chapitre I GENERALITES

Dans ce chapitre, il convient de présenter les généralités sur la route (les caractéristiques et éléments constitutifs de la chaussée), le pavage (types des pavés et la norme sur les pavés), les matériaux (types des roches et l'étude du basalte notre matière première) et l'assainissement.

I.1 GENERALITES SUR LES ROUTES

La route est une infrastructure de communication terrestre qui permet le déplacement des biens et des personnes par des véhicules automoteurs.

I.1.1 Historique de la route [3]

La route est un facteur très important dans le développement économique et social d'un pays, le domaine routier est une partie importante du patrimoine national d'un pays. L'homme a besoin de circuler et cela crée en lui un besoin d'échange.

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. Les premières voies des transports de l'histoire se résument à des simples sentiers, qui sont la forme primitive de route mais avec les temps ils furent 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.

On circulait aisément sur les routes à pavés bien nivelés quand les conditions climatiques étaient favorables, mais en période de pluies, les sols mouillés devenaient glissants ou se transformaient en bourbiers. On entreprit alors d'étaler, aux endroits les plus mauvais, des lits de pierres dont le mérite d'être moins sensible à l'eau.

L'idée du matelas des pierres à durer des 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 pour l'exécution d'une bonne route.

I.1.2 Terminologie routière [4]

A ce niveau, il sera question de parler des certains vocabulaires intervenant dans un projet routier de toute évidence certains interviendront pour le tronçon d'étude et sont représentés sur la figure I.1.

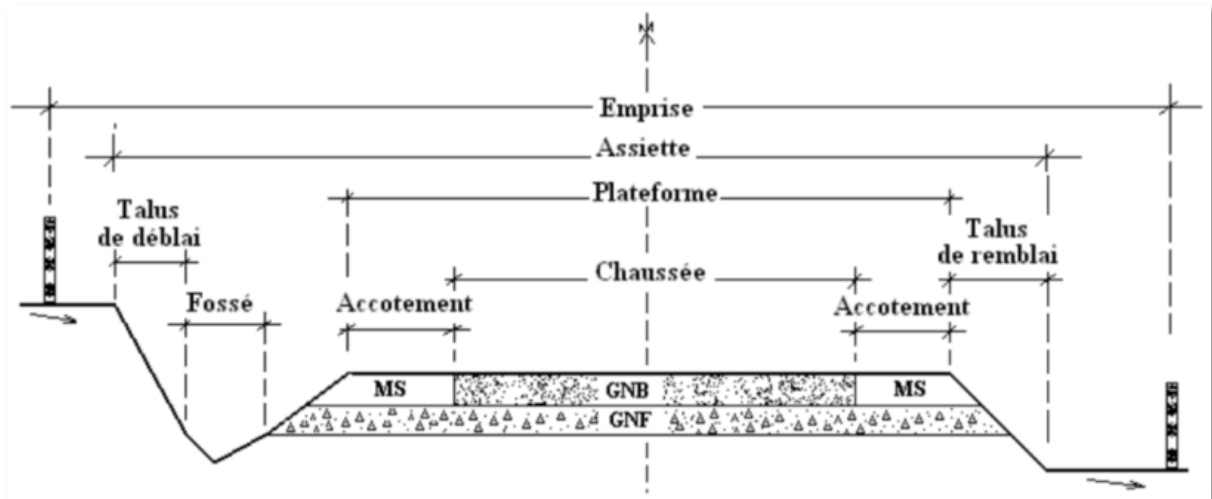


Figure I. 1: Profil incluant la terminologie routière

- **Le terrain** : étendue de la terre sur laquelle est construite une route. Il est soit à l'état naturel avant l'exécution des travaux ou soit préparé après les travaux de terrassement.
- **La chaussée** : se définit suivant deux aspects : le comportement géométrique et la composition structurale. Selon le comportement géométrique la chaussée est la partie de la route sur laquelle circulent les véhicules et selon la composition structurale, la chaussée est l'ensemble formé des couches de structures d'une route.
- **La plate-forme** : est la surface de la route qui comprend une ou plusieurs chaussées, les accotements éventuellement une terre-plein-central et les voies auxiliaires.
- **L'accotement** : est la partie de la plate-forme aménagée entre la chaussée et le talus dont la largeur varie entre 1 et 3 mètres.
- **L'assiette** : est la surface du terrain réellement occupée par la route et ses dépendances ou annexes.
- **L'emprise** : est la surface du terrain juridiquement affectée à la route et ses annexes, elle est au minimum égale à l'assiette.
- **Le fossé** : est une excavation pouvant être aménagée de part et d'autre de la plate-forme, destinée à assainir la plate-forme en collectant les eaux de ruissellement.

- **Une voie** : est une bande de la chaussée correspondant à une largeur de véhicule et circulée dans un seul sens.
- **La bande d'arrêt d'urgence** : est une zone dégagée de tout obstacle sur une autoroute pour permettre, en cas de nécessité, l'arrêt ou le stationnement de véhicule.
- **L'autoroute** : est une large route à double chaussée réservé aux véhicules automobiles, protégée, sans croisements ni passages à niveau.
- **La bande cyclable** : est une voie aménagée en milieu urbain, en bordure de la chaussée réservé au cycliste.
- **La piste cyclable** : est une voie verte ou simplement une route à faible circulation jalonnée, elle comporte des panneaux de signalisation, le cas échéant et des marques sur la chaussée semblable à celles qu'on trouve sur la route.
- **Le trottoir** : est un chemin surélevé et réservé à la circulation des piétons sur les côtes d'une rue.
- **La bordure** : est des dispositifs de séparation ou de limite le long des voies ou chaussées. Elles sont en béton coffré, pavé, pierre taillée ou en béton bitumineux.
- **La banquette** : est une surélévation aménagée à la limite extérieure de l'accotement en vue de la sécurité des usagers.
- **La route en remblais** : quand la route est construite au-dessus du terrain naturel.
- **La route en déblais** : quand la route est construite au-dessous du terrain naturel.
- **Le devers** : est l'inclinaison transversale de la route.
- **Le talus** : est la partie de la route comprise entre l'accotement et le fossé.
- **Les ouvrages d'assainissement** : ce sont des ouvrages en béton ou en béton armé destiné à évacuer les eaux de ruissellement en dehors de l'emprise. On distingue les buses et les dalots.

I.1.3 Géométrie de la Chaussée [5]

La caractéristique géométrique d'une route peut se définir comme l'ensemble des éléments à satisfaire pour que la liaison routière soit sûre, efficace et confortable.

La géométrie de la route est un concept qui doit donner une forme précise (géométrique), à une nécessité économique(la liaison entre deux points) en tenant compte des multiples facteurs humains (capacités physiques et psychiques des conducteurs, champ de vision, temps de réaction, perception des perspectives, etc.) en ne perdant pas de vue

que les véhicules sont soumis à des forces mécaniques inéluctables (force centrifuge, loi de Coulomb sur l'adhérence, force d'inertie,...) et évoluent constamment.

La route doit permettre à un usager normal, circulant à une vitesse inférieure ou égale à la vitesse de sécurité choisie, de parcourir son trajet dans des conditions satisfaisantes de sécurité, de confort, de stabilité et d'économie.

Le tracé routier comprend plusieurs opérations parmi lesquelles les levés topographiques, le tracé en plan d'une route, le profil en travers et le profil en long. Les tracés doivent satisfaire à certaines conditions de la nature et du trafic [6] .

I.1.3.1 Levés topographiques [7]

Un levé topographique consiste à collecter des données sur le terrain afin d'en proposer une restitution à l'échelle souhaitée sous la forme d'un plan topographique. Pour ce faire, il est nécessaire d'établir un système de coordonnées tridimensionnel (x,y,z) dans lequel seront représentés l'objet ou le terrain relevé. Pour notre tronçon en étude nous avons utilisés le logiciel Google Earth et Google Mapper enfin d'obtenir les coordonnées topographiques qui nous aideront à obtenir le tracé de la route à l'aide du logiciel Civil 3D.

I.1.3.2 Tracé en plan

Le tracé en plan est une projection horizontale sur un repère cartésien topographique de l'ensemble des points définissant le tracé de la route. C'est la représentation horizontale de la route [8].

a. Les éléments du tracé en plan

Le tracé en plan est caractérisé par une vitesse de référence V_r appelée vitesse de base V_b qui permet de définir cinq catégories de la route nécessaires pour tout aménagement routier représentés dans le tableau I.1.

Tableau I. 1 Catégories de route et leur vitesse de base [2]

Catégories	Exceptionnelle	1ère Cat.	2ème Cat.	3ème Cat	4ème Cat.
Vb (Km/h)	120	100	80	60	40

Pour raison de sécurité et de confort des usagers de la route, le raccordement se fait à l'aide des clothoïdes.

Un tracé en plan est constitué de trois éléments :

- Des droites(alignement)
- Des arcs de cercle
- Des courbes de raccordement progressives.

La figure I.2 présente les éléments constitutifs du tracé en plan.

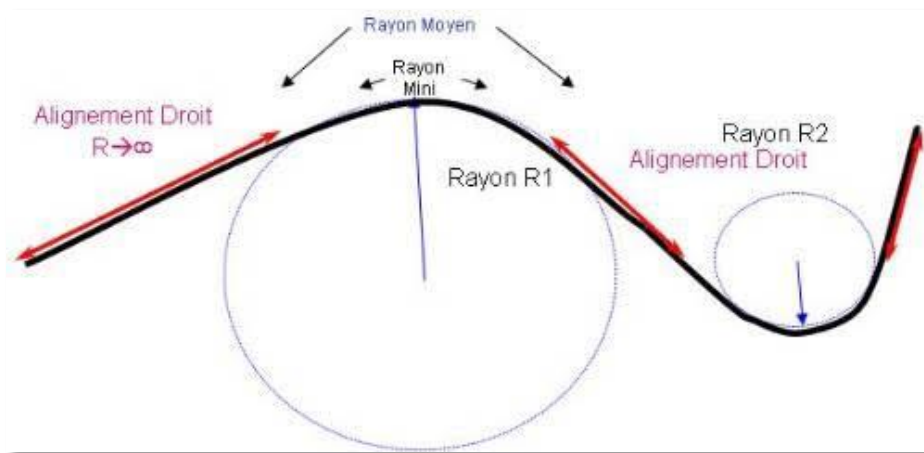


Figure I. 2 Illustration des éléments constitutifs du tracé en plan [9]

b. Choix du rayon des virages

Le rayon des arcs de cercle et leurs dévers doivent permettre au minimum à un véhicule roulant à la vitesse de référence V_r de ne pas dérapier.

- Le rayon minimal normal (RHN) : rayon en dessous duquel l'on ne devrait pas descendre dans le cas normal. Il assure un confort et une sécurité plus grande.
- Le rayon au dévers minimal (RH'') : 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.
- Le rayon non déversé (RH) le rayon à partir duquel même en courbe, la chaussée garde son profil en travers comme tout autre alignement droit.

Remarques :

- Eviter de très longs alignements droits favorables à l'éblouissement par les phares et créent chez les conducteurs une certaine torpeur. Il est recommandé d'alterner les alignements droits et les courbes de grands rayons.
- 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 %.
- Eviter de passer sur les terrains agricoles et des oueds pour des raisons économiques afin d'échapper à des constructions d'ouvrages d'art si l'on n'a pas de choix on les franchit perpendiculairement. Il est recommandé de faire un tracé en plan dans un terrain naturel ou il est le mieux adapter.

I.1.3.3 Profil en long

Le profil en long est la représentation d'une coupe verticale suivant l'axe d'un projet linéaire de la route.

a. Les éléments du profil en long [8]

Le profil en long se caractérise par une succession de déclivités liées par des raccordements circulaires. Ces raccordements peuvent être en forme des pentes ou rampes suivant que la route monte ou descend dans le sens de la marche. Les rampes sont contraignantes pour les véhicules lourds dont elles augmentent les consommations, et perd le bénéfice de l'élan initial.

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 illustré par La figure I. 3.

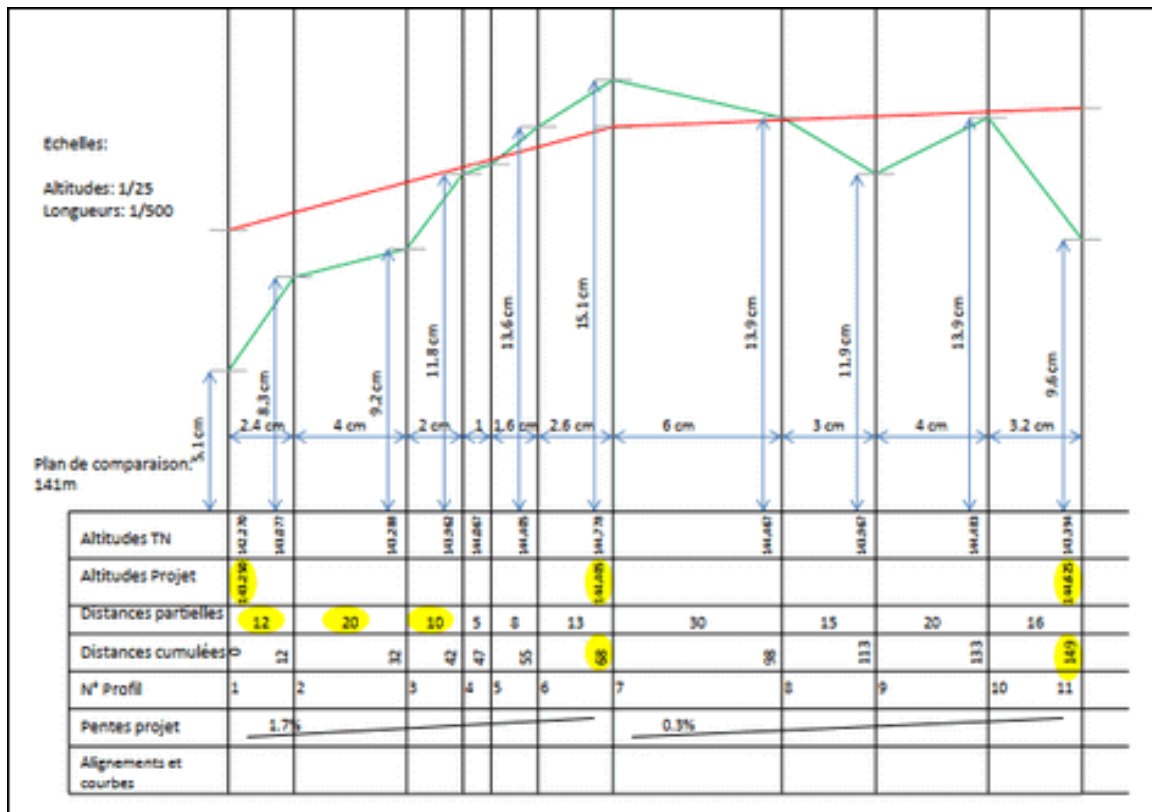


Figure 1. 3 Illustration des éléments constitutifs du profil en long [1]

b. Pentes et Rampes

La pente est la déclivité entre deux points (par exemple entre le haut et le bas d'un terrain).

Les fortes pentes peuvent engendrer des problèmes de freinage des poids lourds et de compromettre la sécurité des usagers. Nous éviterons d'intercaler une pente des valeurs moyenne entre deux zones de forte pente (problème de remise de vitesse des véhicules) mais également de positionner des points singuliers dans ou immédiatement après ces zones de forte pente.

La rampe est la déclivité d'une droite (par exemple un tronçon de route). Les rampes entraînent des problèmes d'écoulement du trafic (qui peuvent nécessiter de créer des voies spéciales pour véhicules lents) et de surconsommations (au-delà de 2,5% de pente, chaque pourcentage supplémentaire entraîne une surconsommation de 12% par rapport à la valeur enregistrée à plat.

I.1.4.1 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).

a. Les éléments du profil en travers

Le profil en travers est constitué des éléments ci-après, illustrés à la Figure I. 4. :

- La chaussée
- La largeur roulable
- La plateforme
- L'assiette
- L'emprise
- Les accotements
- Terre-plein central
- La berne
- Le fossé

b. Classification du profil en travers

Il existe deux types de profil en travers :

- Le profil en travers type : est une pièce de base dessinée dans les projets de nouvelles routes ou l'aménagement des routes existantes.
- Le profil en travers courant : est une pièce de base dessinée dans le projet à des distances régulières (10,15,20,25m...) qui servent à calculer les cubatures.

I.1.4 Constitution de la chaussée

Du point de vue structural, la chaussée est constituée d'un système multicouche de matériaux différents dont l'ensemble est appelé superstructure et reposant sur une infrastructure. Ce système est mis en œuvre pour répartir les charges induites par le trafic que le sol support seul ne pourrait pas soutenir [4].

La superstructure est composée la couche de base, la couche de fondation et la couche de surface ou le revêtement.

L'infrastructure est l'ensemble des couches inférieures obtenues suite aux opérations de remblayage et de déblayage. Elle est composée du sol support, de la plate-forme et de la couche de forme présenté sur figure I. 4 :

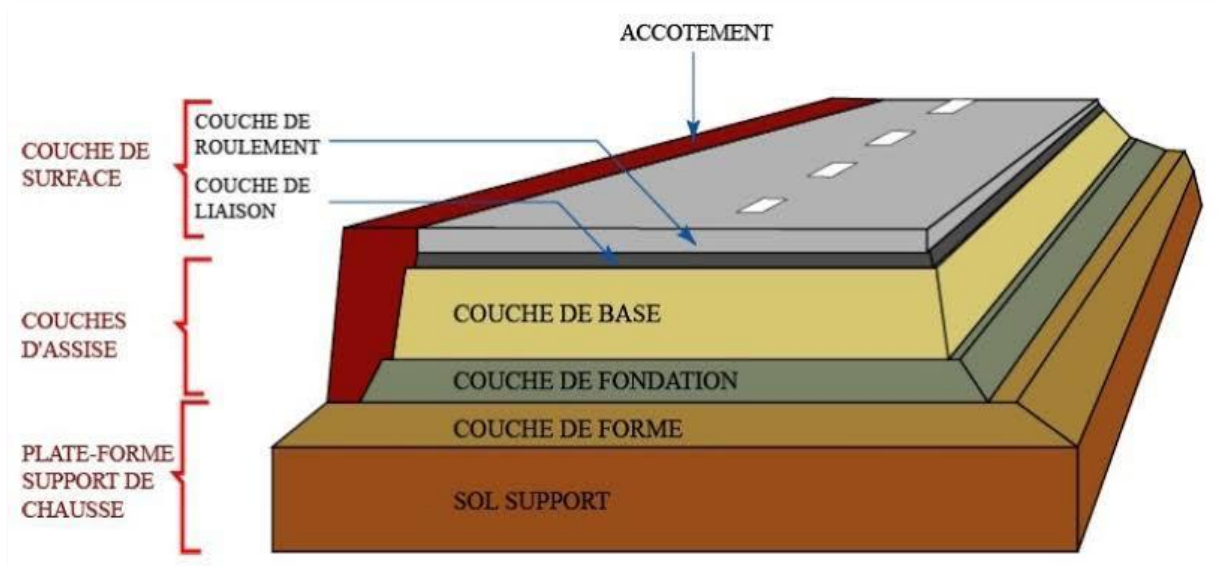


Figure I. 4 : Coupe type d'une structure de chaussée et terminologie des différentes couches [10]

I.1.4.1 L'infrastructure

L'infrastructure d'une chaussée est définie comme le terrassement nécessaire à la constitution de l'assise de la superstructure. 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) [11].

La préparation de l'infrastructure vise à [12] :

- Niveler 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.1.4.2 La superstructure

La superstructure est constituée par l'ensemble des couches de matériaux mis en œuvre au-dessus de l'infrastructure.

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. [11]

Ces couches jouent chacune un rôle important [3]:

a. La couche de fondation

La couche de fondation est immédiatement au-dessus de la plate-forme, 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.

Entre l'infrastructure et la superstructure, on interpose une couche de transition pour la mise en œuvre exclusive pour le cas d'un déblai.

Les matériaux qui la composent doivent avoir un CBR > 30%.

La couche de fondation joue les rôles suivants :

- Drainer la couche de base ;
- Distribuer les charges ;
- Empêcher la contamination du sol support à la couche de base ;
- Assurer le passage infrastructure-couche de base ;
- Atténuer les effets de gel-dégel (pays du nord) ;
- Empêcher la montée capillaire de l'eau provenant de la nappe phréatique.

L'inconvénient de la couche de fondation est qu'elle est difficile à mettre en œuvre. Nous avons tendance à la remplacer par une feuille de matière plastique ou géotextile posé sur la plate-forme ou par un traitement à la chaux ou au ciment.

b. La couche de base

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

Les matériaux qui la composent doivent avoir un grand indice portant (CBR > 80%) ou qu'il soit traité (CBR > 160%). La couche de base est faite en graveleux naturels ou concassé, de granularité dense ou ouverte, et peut être stabilisée mais également nous pouvons utiliser les graves non traités c'est-à-dire les granites concassés, les basaltes concassés, ...

Dans les pays tropicaux, la couche de base est généralement faite en latérites (non-traitées).

Elle joue les rôles suivants :

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

c. La couche de surface

La couche de surface peut être simple ou multiple ; dans ce dernier cas, on appelle "couche de roulement" ou "le revêtement " celle qui est en contact direct avec les roues précédées des autres couches appelées " couche de liaison".

La couche de surface est généralement faite en bitume, en béton de ciment dans le pays du Nord ou il fait excessivement froid, en pavés ou en béton bitumineux (mélange des granulats et des bitumes) dans les pays tropicaux.

Le revêtement peut aussi se grâce à un traitement superficiel (enduit superficiel).

Elle doit être de bonne qualité pour protéger l'assise contre l'action du trafic et des intempéries mais aussi offrir à la chaussée une bonne adhérence et un support au marquage.

La couche de surface a des rôles structuraux et fonctionnels qui sont :

Rôles structuraux :

- Distribution de la charge (diffusion de la contrainte) ;
- Etanchéité : empêcher l'infiltration des eaux superficielles (imperméabilité) car le bitume est imperméable ;

Rôles fonctionnels :

- 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 ;
- Résister sans déformation, ni usure trop rapide, aux efforts de cisaillement transmis par les roues.

I.1.5 Types des chaussées

Un véhicule transmet une charge sous forme des 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.

a. Les chaussées souples ou flexibles

Elles sont constituées d'une couche bitumineuse en surface au-dessus d'une couche de base et d'une couche de fondation en matériaux granulaires traités ou non.

La chaussée souple distribue les efforts de surface à travers les couches de base et de fondation. Cette distribution se fait de façon à ce que l'effort sur la plate-forme 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.

b. Les chaussées semi rigides

Une chaussée semi rigide est une chaussée avec une couche de surface en béton bitumineux reposant sur une couche de base en matériaux stabilisés aux liants hydrauliques et une couche de fondation granulaire. Les couches bitumineuses assurent :

- La qualité de la surface de roulement ;
- La limitation de la remontée des fissures transversales de la couche de matériaux traités aux liants hydrauliques.
- La couche de base diffuse et atténue les efforts transmis de par sa rigidité élevée offerte par le liant hydraulique.

c. Les chaussées rigides

Elles sont constituées d'une dalle de béton en ciment portland reposant directement sur la couche de fondation ou sur la couche de forme. La dalle de béton joue un double rôle : elle est à la fois la surface de roulement et la couche de base. Elle répartit les efforts de surface dus aux charges de cisaillement sur une large surface afin d'éviter une déformation sur la couche de fondation ou sur l'infrastructure.

I.2 GENERALITE 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 [13].

Un pavé est un bloc en pierre ou en béton utilisé comme revêtement de chaussée.

Depuis 6000 ans déjà, les pavés sont utilisés avec succès pour consolider les chemins et les places. Les premières pierres techniques de pavage moderne furent posées dans l'Empire romain. Depuis le *XIX^{ème}* siècle, le béton est utilisé pour fabriquer des pavés. Ils ont des multiples fonctions et sont principalement employés pour aménager les places et zones de rencontre dans les villes, afin d'y modérer le trafic.

Il est plus crucial de ménager les ressources naturelles et en particulier l'eau potable. Il existe deux variantes d'infiltration superficielle sur place : l'infiltration à travers le pavé (pavé filtrant) et l'évacuation de l'eau de pluie par les joints ou évidements (pavés à joint élargis et grilles de gazon) [14].

Dans les travaux routiers, la technique de revêtement de chaussée en pavée existe avant l'emploi du goudron et du bitume.

I.2.1 Types de pavés

a. Les pavés classiques [15]

Les pavés classiques sont des pavés en béton préfabriqués, destinés à la stabilisation de routes, chemins et places. Ils sont dérivés des anciens pavages en pierre naturelle et présentent des formes relativement simples (rectangles, carré, cercle, hexagone).

b. Les pavés autobloquants

Les pavés autobloquants sont des pavés en béton préfabriqués, destinés à la stabilisation de routes, chemins et places. Ils sont des pavés classiques perfectionnés. Leur forme particulière entraîne un effet liant de ce fait un comportement amélioré face aux sollicitations et aux efforts de cisaillement. 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).

c. Les pavés mécaniques en béton

Les pavés mécaniques en béton sont faits dans des moules et ont 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.

d. 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.

e. Les pavés de bois [7]

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.

f. Les pavés écologiques [16]

Les pavés écologiques sont des pavés en béton préfabriqué destinés à la stabilisation de la route, de chemin et de place ; ils évacuent les eaux de précipitation directement dans le sol. On peut les répartir en trois groupes distincts :

f.1 Pavés perméables à l'eau (pavé filtrants)

Les pavés filtrants sont des pavés à pores ouverts, évacuant les eaux des précipitations dans le sous-sol, à travers celui-ci, Grâce aux pores ouverts, le pavé peut non seulement évacuer l'eau directement dans le sous-sol, mais garantit également une aération du sol.

f.2 Pavés joint élargis

Pour ce type de pavés, les eaux de précipitation sont évacuées dans le sous-sol, à travers des joints élargis au moyen des distanceurs. Grâce à cet élargissement, le pourcentage des joints peut être compris entre 9 et 18%. Les joints sont ensuite remplis de gravillon ou de gazon.

f.3 Pavés à évidements (grilles de gazon)

Dans ce cas des grilles de gazons, l'évacuation des eaux de précipitations s'effectue à travers les évidements (vides). Le pourcentage des évidements est compris entre 32 et 40%. Ils sont en général recouverts de verdure et peuvent être remplis de gravillon afin d'obtenir un drainage plus efficace et de minimiser l'entretien.

I.2.2 Les normes sur les pavés [17]

Les normes canadiennes CAN3-A231.2-M85 et NQ 2624-1203 (normes canadiennes) donnent les critères que doivent respecter les pavés :

- 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.

a. Les dimensions normalisées de pavés (CAN3-A231.2-M85)

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 [11]

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

I.2.3 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 le pavage sec et par liant :

I.2.3.1 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.

I.2.3.2 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.

I.3 GENERALITES SUR LES MATERIAUX

Il sera question de parler des généralités sur les roches et faire l'étude de basalte.

I.3.1 Généralités sur les roches

Une roche est un agrégat naturel des minéraux ou encore un matériau formé, en général, d'un assemblage de présentant une certaine homogénéité statistique.

Toutes 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 silicile varie de 40 à 75%.

I.3.1.1 Types des roches [13]

On distingue trois grandes familles des roches :

a. Les roches magmatiques : formées par la solidification (la cristallisation, refroidissement) d'un magma. Le magma est un bain silicaté fondu, constitué d'une phase liquide (la plus importante), d'une phase solide (cristaux) et d'une phase gazeuse (0,1-3%).

Selon le mode de refroidissement du magma, on distingue deux types de roches magmatiques :

- **Les roches plutoniques** : formées par refroidissement lent du magma en profondeur. Le magma aura le temps de bien cristalliser et la roche possèdera des gros minéraux visibles à l'œil nu.
 - **Les roches volcaniques** : formées par refroidissement rapide du magma en surface. Les minéraux n'auront pas le temps de bien cristalliser. Les roches volcaniques sont donc caractérisées par la présence de minéraux invisible à l'œil nu. Le refroidissement du magma atteint la surface de la croute, s'y répand et mène à la formation de laves, terme général désignant les roches volcaniques (également appelés roches extrusives ou effusives). Si la majorité des laves est composée d'une roche foncée plutôt dense, appelée le basalte.
- b. Les roches sédimentaires** : Ces sont des roches exogènes, formées à la surface de la Terre et qui représente un volume de la croute terrestre et en couvrent 75% de la surface. Ces roches proviennent de l'accumulation et la consolidation de sédiments ou matériaux préexistants (roches magmatiques ou métamorphiques) qui se dégrade (physiquement ou soit chimiquement), subissent de transport jusqu'à un endroit qui occasionnera par la fin un processus physico-chimique appelé *diagenèse* naissance aux roches sédimentaires meubles. Elles sont très variées car leur genèse nombreux facteurs :
- La nature initiale des matériaux désagrégés et altérés,
 - Le type d'altération
 - Le mode de transport
 - La zone de dépôt
 - Les modalités de la diagenèse.

c. **Les roches métamorphiques** : résultent de la transformation que subissent les roches lorsqu'elles sont soumises à des conditions de température et/ou des pressions différentes de celles qui étaient présentes lors de la formation de la roche. 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 terrestre : les zones de subduction, les chaînes de montagnes etc...

Ces trois grandes familles sont liées entre elles à la surface de la terre par le cycle des roches présenté à la figure I. 5 :

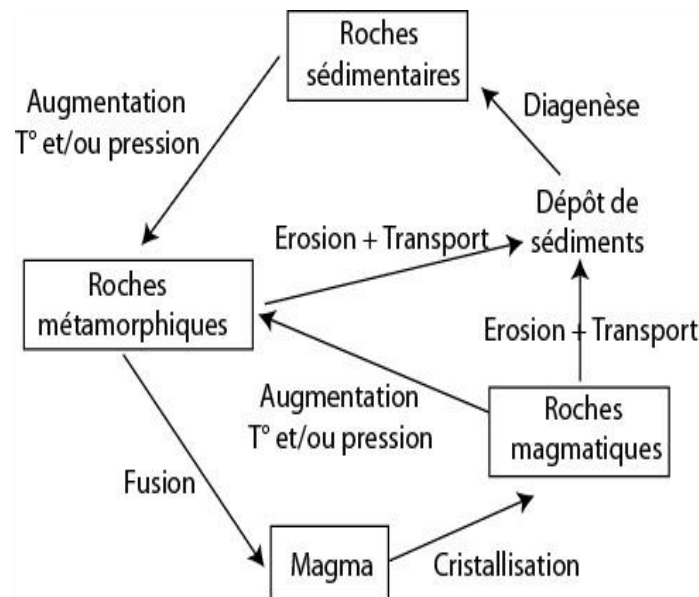


Figure I. 5 : Cycle des roches [18].

I.3.2 Etude du Basalte [13]

Le basalte est une roche volcanique issue d'un magma refroidi rapidement au contact de l'eau ou de l'air. C'est le constituant principal de la couche supérieure de la croûte océanique.

Dans la ville de Goma, il y a eu bien d'éruptions, les laves de ces éruptions volcaniques surtout du Nyirangongo ont conduit à la formation des roches qui constituent un massif dans ce milieu. Les études faites par l'office Volcanologique de Goma (OVG) sur le temps que met le magma du Nyirangongo pour son ascension jusqu'à la surface du sol

ont montré qu'il est considérablement réduit. La pression qui règne dans ses réserves magmatiques et la fluidité de son magma qui sont les éléments qui facilitent cette remontée. Cela revient à dire que les roches retrouvées à Goma ont une faible profondeur, elles sont des roches basaltiques car émanent 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. Ces transformations ne sont pas prises en compte dans le cadre notre étude ; car nous ne nous limitons qu'à une période très récente.

I.3.2.1 Caractéristique des roches basaltiques

- **La composition minéralogique** : est le caractère individuel le plus important à examiner pour l'identification des roches. Elle nous permet déterminer les différents minéraux ayant intervenus dans la formation de celle-ci prédit d'une manière ou d'une autre son comportement face aux sollicitations subir. La composition minéralogique est faite en lame ; à l'œil nu ou carrément par une détermination. Ainsi, la composition minéralogique des basaltes est la suivante : 30 à 60% clair (dont 80 à 100% de feldspaths, 65 à 100% de plagioclases et 0 à 35% alcalin, 0 à 20% de quartz ou 0 à 10% de felspathoïdes), 15 à 40% de minéraux (dont 15 à 40% biotite ;15 à 40% hornblende,25 à 40% pyroxène, 10 à 25% olivine, 2 à 3% magnétite,15 à 40% apatite et 15 à 40% zircon).
- **La grosseur du grain** : est le diamètre moyen des grains constituant roche basaltique. Quelle que soit le groupe d'appartenance d'une roche, la grosseur de la roche prend une importante part dans sa classification au sein du groupe. La roche basaltique est généralement à grains fins microscopiques, microlitique et parfois vitreuse.
- **La couleur** : La couleur des roches dépend fortement de la présence de certains éléments chimique, même en faible proposition. Le feldspath et le quartz par exemple sont de teinte claire de ce fait à la roche les contenant une teinte claire. Tandis que les minéraux pyroxène ou ferromagnésiens sont de couleur sombre en raison de magnésium et/ou de fer. Leur présence dans la roche entraine aussi la noirceur de celle-ci. Du fait que les basal ferromagnésiens, ils ont le plus souvent une teinte sombre, grise à noire, également brunâtre. La couleur d'une cassure récente est toujours grise foncée à noire. En général, le basalte est mélanocrate à holomélanocrate (sombre à très sombre).

- **L'indice de coloration** : L'indice de coloration d'une roche est le pourcentage de minéraux sombres qu'une roche contient. Pour rappel, le quartz et le feldspath sont des minéraux clairs tandis que les ferromagnésiens sont foncés. Les roches volcaniques principalement représentées par les basaltes, ont une forte teneur en ferromagnésiens, d'où la couleur sombre du basalte.
- **La texture** : La texture est fonction de la forme, de la disposition et de la répartition des minéraux dans la roche. La notion de texture recouvre les caractères microscopiques.
- **La structure**

C'est une classification basée sur l'aspect rendu par l'organisation des différents minéraux constitutifs d'une roche magnétique lorsqu'on observe un de son échantillon à l'œil nu ou au microscope.

Généralement, les basaltes ont une structure non orientée, de microlitique à compact. La structure est également vacuolaire, amygdalaire. Sur le fond de l'océan, la structure est le plus souvent en nappe « coussin ».

La roche n'est pas entièrement cristallisée. Des petits cristaux le plus souvent allongés et observables uniquement au microscope sont présents et nagent dans une masse vitreuse amorphe. Parfois des cristaux infra-millimétriques sont présents (le plus souvent de l'olivine). Cette structure est caractéristique d'un refroidissement rapide.

- **Le gisement** : est défini par la nature de la formation géologique d'où issu de la roche à décrire. Cette notion est vaste et comprend implicitement l'explication succincte de la genèse de la formation géologique encaissante. Mais pour le basalte lorsque la migration est rapide, le magma atteint la surface de la croûte et s'y répand. Le refroidissement est alors relativement rapide et mène à la formation de laves, terme général désignant les roches volcaniques. La grande majorité des laves est composée d'une roche foncée plutôt dense qu'on appelle basalte.

I.3.2.2 Domaines d'utilisation de la roche basaltique

La pierre a plusieurs domaines d'utilisation :

- **Le bâtiment** : la pierre traditionnelle est l'un des éléments de base de construction des bâtiments et cela depuis le moyen âge. Dans nombreuses zones du monde, les

fondations des maisons continuent à être faites des pierres parce qu'elles montrent à suffisance que ce sont des matériaux qui offrent beaucoup d'avantage que d'inconvénients.

- **Route** : la pierre est souvent utilisée à cause de sa bonne résistance aux sollicitations mécaniques et à sa bonne tenue. Il intervient ainsi pour le renforcement de la fondation de chaussée, surtout dans les milieux de terres argileuses. Elles sont également utilisées pour le pavage des rues, ruelles et les trottoirs dans le but d'améliorer l'état de ces voies et ainsi faciliter le trafic.
- **Jardinage** : les pierres naturelles interviennent pour l'aménagement de terrasse et traçage des allées, construction des escaliers, des bordures...
- **Ornement** : les pierres sont utilisées à cause de leur originalité, la variété des couleurs qu'elles peuvent offrir et une certaine facilité de leur mise en forme. Grâce à cela on les utilise pour orner les façades et pour le revêtement orné des surfaces ciblées.

I.4 GENERALITE SUR L'ASSAINISSEMENT ET LE DRAINAGE ROUTIER [4]

Le drainage routier concerne principalement l'évacuation des eaux des ruissellements pluviaux de la surface de la route et ses dépendances. L'assainissement quant à lui, concerne la protection de la route et ses dépendances, de la zone environnante et des exutoires aux effets nocifs de l'eau.

Le domaine de l'assainissement est donc plus large que celui du drainage.

I.4.1 Définitions des concepts [19]

Il sera important de définir différents concepts qui interviendront dans la suite du travail :

- **Un Influent** : nom général d'un liquide entrant dans un endroit ou un processus ; l'effluent d'un processus est l'influent du prochain.
- **Eau d'égout** : nom général donné au mélange d'eau et d'excréta (urine et fèces), bien que dans le compendium il se rapporte aux eaux noires/vanne.
- **Regards d'égouts** : sont des ouvrages très importants dans un réseau d'égouts ; ils permettent l'accès aux conduites pour y effectuer des travaux d'entretien et assurer la ventilation dans le réseau.

- **Un collecteur** : est une conduite d'égout dans laquelle se déversent les eaux usées acheminées par plusieurs conduites de moindres dimensions.
- **Les eaux usées industrielles** : qui proviennent des usines de fabrication et de consommation sont constituées de matières d'une variété extrême. Elles peuvent attaquer le béton sous l'effet de l'acier qu'elles comportent, boucher les conduites par les grosses molécules de graisse et d'huile qu'elles drainent, contaminer l'entourage par les gaz qu'elles comportent.
- **Les eaux pluviales ou eaux de ruissellement** : Les eaux de ruissellement proviennent des eaux de pluie, des eaux de lavage et des eaux de drainage. Leur évacuation est aussi une nécessité compte tenue de la forte intensité de pluie et de l'inaptitude du sol à infiltrer totalement les eaux de pluie.
- **Un Intercepteur** : est une conduite qui reçoit les eaux usées transportées par les collecteurs qui les achemine vers la station d'épuration.
- **Un émissaire** : est une conduite qui achemine les eaux usées brutes ou traitées vers le cours d'eau récepteur et qui les y déverse.
- **Les eaux usées domestiques (les eaux ménagères)** : proviennent des cuisines, des salles de bain, des buanderies. Ces eaux contiennent les détergents, des hydrocarbures, des huiles, des graisses. Les eaux domestiques ne présentent aucun danger de corrosion des canalisations.
- **Les eaux vannes** : appartiennent à une catégorie de déchets faisant généralement référence aux sous-produits de la digestion tels que les matières fécales et l'urine. Elles sont généralement transportées dans un réseau d'égout, comme les eaux usées dans les eaux résiduaires. Elles peuvent être un danger pour la santé car elles véhiculent des agents pathogènes d'origine virale et bactérienne.
- **Bassin Versant** : est un territoire qui draine l'ensemble de ses eaux vers un exutoire commun, cours d'eau ou mer. On définit différents bassins versants en fonction de l'échelle de travail ou d'étude, depuis les parcelles de quelques dizaines de mètres carrés d'un minuscule affluent jusqu'aux façades continentales qui abreuvent les océans. Le bassin versant est limité par des frontières naturelles : les lignes de crêtes ou lignes de partage des eaux. De part et d'autre de ces lignes, les eaux des précipitations et des sources, ainsi que tous les éléments dissous ou en suspension (sédiments, pollution...), s'écoulent vers des exutoires séparés. Le bassin versant constitue le territoire pertinent pour traiter les causes en amont d'un problème lié aux

eaux de surfaces : déficit d'eau, pollution, poissons migrateurs, etc. Un bassin versant peut-être caractérisé par sa superficie, sa forme, son élancement, la courbe hypsométrique, le rectangle équivalent, la nature du sol, le taux d'imperméabilité.

- **Bassin de rétention des eaux pluviales** : est une zone de stockage des eaux pluviales, enterrée ou à ciel ouvert. Il est destiné à récupérer les eaux pluviales issues de surfaces non-absorbantes créées pour les besoins d'aménagement humains. Ces dernières peuvent prendre de multiples formes comme les toitures d'immeubles ou de hangars, voiries et parkings, plates-formes de stockage...

I.4.2 Ouvrages hydrauliques de drainage et d'assainissement [4]

Le drainage comprend 3 types d'ouvrages : Les ouvrages longitudinaux, transversaux et de connexions

I.4.2.1 Ouvrages longitudinaux : ouvrages qui recueillent les eaux et les acheminent le long de la route jusqu'à l'exutoire (Zone d'écoulement naturel) ou l'ouvrage est récepteur. Par exemple les caniveaux et les fossés, les drains longitudinaux, les collecteurs et les glissières (collecteurs à forte pente).

I.4.2.2 Ouvrages transversaux : ouvrages qui permettent à l'eau de passer sous la route (transversalement à celle-ci). Par exemple, les buses, le dalot et les ponts

I.4.2.3 Ouvrages de connexions : ouvrages qui servent à passer d'une section de réseau à l'autre sans grande perturbation. La chambre de raccordement, la chambre de visite, les dissipateurs d'énergie (diffuseur de ressaut), les avaloirs et regards.

I.5 CONCLUSION PARTIELLE

Ce chapitre présente les généralités sur la route, le pavage, assainissement et les matériaux roches en général et plus particulièrement l'étude géologique de la roche basaltique dans la ville de GOMA. La connaissance de ces éléments est nécessaire pour une étude d'aménagement d'une chaussée en pavé basaltique.

CHAPITRE II. METHODOLOGIES DU TRAVAIL

Ce chapitre présente le tronçon en étude, les éléments de dimensionnement de la structure et des ouvrages d'assainissement, les méthodes de dimensionnement d'une chaussée souple et présente les différents les matériels et logiciels utilisés.

II.1 PRESENTATION DU TRONCON CIBLE

II.2.1 Situation Géographique

Le tronçon Modé-Sapientia est situé en République Démocratique de Congo, dans la province du Nord-Kivu en ville de Goma, commune de Goma, quartier Kyeshero précisément dans l'avenue Kituku. Le tronçon a une longueur de 1739,91m, une largeur de 7m et 1,5 m de part et d'autre de la chaussée réservée aux trottoirs.

Le tronçon en étude est bordé de part et d'autre par les parcelles privées, les églises, les écoles, l'université Catholique la Sapientia à son coté Sud-Est et la station Modé à son coté Nord-Est. La figure II. 1 donne La vue aérienne du tronçon en étude.



Figure II. 1 : Vue aérienne du tronçon en étude en Jaune.

La figure II. 2 présente les caractéristiques suivantes :

- La pente maximale du terrain naturel est de 6,1% et la pente moyenne est de 2,6%.
- Le point le plus élevé est à 1521 m d'altitude tandis que le point le plus bas est à 1479 m, soit une différence de 42 m.

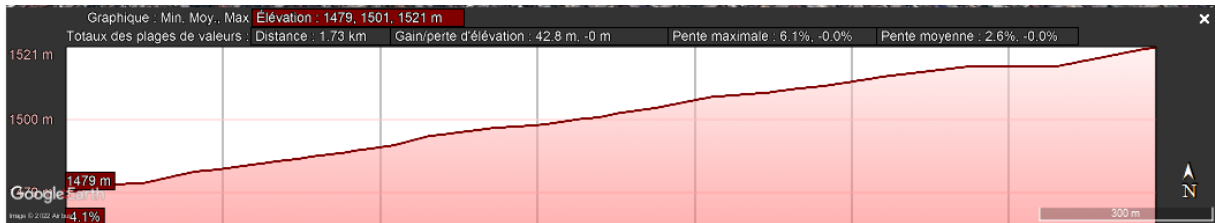


Figure II. 2 : Allure du Terrain Naturel

II.2.1 Etat de lieu

La description du tronçon :

- Certains points sont surélevés par rapport à d'autres, créant ainsi des zones de rétention d'eau le long de la route et une accumulation des pierres à certains endroits de la surface qui rend la circulation de plus en plus difficile.
- Présence des installations électriques entre autres poteaux le long du tronçon en étude.

II.2 LES ELEMENTS DE DIMENSSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE

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 [3].

Le dimensionnement de la chaussée dépend de plusieurs paramètres entre autres [17] :

- Le trafic
- La durée de service
- Le risque de calcul
- Le sol support et la qualité de la plateforme
- Les données climatiques et d'environnement
- Les caractéristiques géotechniques du sol et les matériaux

II.2.1 Etude du trafic [4]

Le trafic routier est le mouvement des personnes et des biens qui circulent sur la route dans une période déterminée pour une voie de circulation, il implique aussi la quantité (le nombre des véhicules) et la typologie (la marque des véhicules).

La route est une infrastructure sociale, publique ou privée, construite pour supporter le trafic ou faciliter la circulation des véhicules, des personnes, des biens en la rendant plus fluides et plus sûre d'où le trafic ou la circulation sont interdépendant.

Le trafic constitue un élément essentiel pour du dimensionnement de la chaussée, il fait intervenir le trafic poids lourds (PL), l'agressivité du trafic poids lourds, le coefficient d'agressivité, les caractéristiques géotechniques du sol naturels, la vocation des voies, la durée de service,

Le passage de chaque véhicule sur la chaussée entraîne une légère fatigue de celle-ci du point de vue structure. L'accumulation de ces fatigues ou dommages conduit à la dégradation progressive de la chaussée. Elles dépendent du nombre des roues et leur motorisation, du nombre des essieux ou volume utile et du poids total du véhicule ou tonnage nominal (capacité pondéral) qui transmettent la charge totale à la chaussée ainsi que leur disposition relative.

En toute logique, nous constatons que les poids lourds ont un effet très destructeur par rapport aux légers pour une chaussée donc ils seront les seuls en prendre en considération pour décrire et quantifier le trafic dans les opérations de conceptions et le dimensionnement de la chaussée.

L'étude du trafic pour le dimensionnement d'une chaussée comporter 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 l'intensité des charges de la circulation du trafic et sa projection, il est impératif de faire :

- Le comptage du trafic au bord de la route et le comptage du trafic dans un carrefour, ce comptage doit être manuel simple ou automatiques,
- Des enquêtes sur la composition et le poids des véhicules et des études sur l'origine et la destination des véhicules.

Nous pouvons baser notre étude sur les observations de comptage passé ou des résultats antérieurs des chaussées de même importance que celle à construire en cas de difficultés de réalisations de ces enquêtes.

Plusieurs modèles mathématiques permettent d'évaluer le trafic cumulé ou l'évolution du parc automobile en croissance, deux modèles sont plus utilisés : le modèle linéaire et le modèle exponentiel.

a. Le modèle linéaire : $P_n = P_1 * (1 + nt)$ (II.1)

b. Le modèle exponentiel : $P_n = P_1 * (1 + t)^n$ (II.2)

Avec P_n : Parc automobile après (ou à) la nième l'année.

P_1 : Parc automobile à l'année d'observation ou de base.

n : Nombre d'année de projection ou durée de vie du projet.

t : Taux de croissance annuelle moyenne.

II.2.1.1 Classification technique des véhicules

Nous classifions les véhicules sur base :

- La configuration des essieux et pneumatiques : nous en distinguons plusieurs catégories selon le type de trafic, la possibilité de les accoupler aux moteurs et la possibilité de les accoupler à la barre de direction (volant de direction).
- Des gabarits et encombrements des véhicules routiers : nous en distinguons six catégories.

II.2.1.2 Type de trafic

- a. 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.

- b. 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.
- c. Trafic induit :** c'est le trafic supplémentaire qui n'existait pas auparavant créer pour l'amélioration ou l'aménagement d'une infrastructure de transport peu importe le mode de déplacement. Le trafic induit regroupe souvent le trafic dérivé et le trafic induit.
- d. 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...).

II.2.1.3 Charge par essieux et équivalence d'essieux

La connaissance de la charge sur les essieux est importante car elle permet de calculer les contraintes et les déformations dans la structure et de la dimensionner correctement ce qui fait d'elle une des données de base de tous les dimensionnements d'une chaussée et l'effet d'une surcharge se sent immédiatement et met en danger la pérennité d'une structure.

La charge totale d'un véhicule est répartie sur ses essieux qui à leur tour la répartissent sur plusieurs points de la chaussée à travers le pneumatique.

La charge de l'essieu autorisée pour chaque pays varie entre 8 et 13 tonnes, le poids total en charge (PTC) varie de 35t à 45t en fonction du type de Poids Lourds. En effet, le dommage occasionné par une charge roulante unique est évalué par la notion d'agressivité. La chaussée est toujours dimensionnée de telle sorte qu'elle peut supporter un nombre de passage successif de surcharges.

La loi donnant l'effet des surcharges est du type :

$$A = k \left(\frac{P}{P_0} \right)^\alpha \quad \text{(II.3)}$$

Avec A : coefficient d'agressivité

k et **α** dépendant de la structure et du type d'essieu,

P_0 : est la charge de référence (13t en France, 10t en GB) pour les chaussées souples,

$\alpha = 4$ alors que pour les chaussées avec graves hydrauliques ou en béton $\alpha = 8$ ou $\alpha = 12$.

La croissance géométrique, ou le trafic augmente tous les ans d'un pourcentage fixe par rapport à l'année précédente. Pour l'année N, on a alors :

$$T_N = T_0 * (1 + r)^N \quad \text{(II. 4)}$$

Avec T_N : trafic à l'année N

N : nombre d'année

S_N : le cumul pour les N années :

$$S_N = T_0 * \frac{((1 + r)^N - 1)}{(1 + r) - 1} * 365 \quad \text{(II. 5)}$$

Avec r : le taux d'accroissement géométrique des véhicules

T_0 : trafic journalier

La croissance linéaire, ou le trafic augmente d'un volume constant tous les ans. Pour l'année N, on a alors :

$$T_N = T_0 * (1 + N * a) \quad \text{(II. 6)}$$

$$\text{Et le cumul } S_N = T_0 * N * \left(1 + \frac{a * N}{2}\right) * 365 \quad \text{(II.7)}$$

Avec a le taux d'accroissement linéaire.

D'autres utilisateurs utilisent la formule suivante pour rechercher le trafic équivalent avec le modèle exponentiel :

$$\text{Où } C = \frac{(1 + r)^n - 1}{n} \quad \text{(II. 8)}$$

$$\text{D'où nous aurons : } N.E = 365 * TMJA * CAM * n * \frac{(1+r)^n - 1}{n} \quad \text{(II. 9)}$$

Avec TAMJ : trafic annuel moyen journalier à l'année de mise en service

CAM : coefficient d'agressivité moyenne des poids lourds, il permet de convertir le trafic T en nombre d'essieux standard de 13t. Les valeurs de CAM pour les chaussées urbaines sont données dans le Tableau II. 1 .

Tableau II. 1 Valeurs du coefficient CAM-Chaussée urbaines [20]

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

n : nombre d'années de mise en service postulé

r : taux de croissance annuel moyen pendant la période de service en pourcentage

C : facteur de cumul qui tient compte de la période de service choisie et du taux annuel moyen de croissance du trafic.

Les classes de trafic sont données dans le tableau II. 2 .

Tableau II. 2 Les classes de trafics selon le nombre de poids lourds cumulés par jour [21]

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	$10^7 < N \leq 2. 10^7$

Le TAMJ est trouvé dans le tableau II. 3 selon la catégorie des voies.

Tableau II. 3 Les classes de trafic PL retenues pour les différentes vocations de voies
[4]

		Trafic poids lourds en MJA (1)					
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

La méthode la plus simple utilisée pour le cas de cette étude consistait à compter le nombre de véhicules toute classe incluse par jour et à établir une moyenne sur un nombre des jours suffisamment moins élevés. Le pourcentage moyen de poids lourds est supposé être de l'ordre de 30%. Pour le cas de cette étude, le tronçon est situé dans la classe T3 se référant au travail effectué précédemment sur le même tronçon [3].

II.2.2 Durée de service

La durée de service d'une chaussée est la projection dans le temps durant laquelle la chaussée n'entraînera aucun entretien et fonctionnera dans les conditions normales.

La durée de service d'une structure routière sera comprise entre 10 à 20ans et elle est choisi par le maître d'ouvrage en fonction de sa stratégie d'investissement et sa vocation.

Ce tronçon appartient aux voies de desserte d'où la politique sera orienté vers un investissement réduit. Il sera conçu pour une durée de service de 20 ans.

II.2.3 Nature de sol support

La plate-forme est la couche supérieure des terrassements, elle doit supporter les charges transmises par les autres couches de la chaussée sans subir des dommages par conséquent pour sa réalisation, il nous faut chercher et disposer d'un meilleur sol.

Lors du dimensionnement d'une chaussée, la nature du sol support induit la classification de la portance du sol.

Nous connaissons plusieurs méthodes de classifications des sols entre autre La méthode LCPC, RTR, CBR mais la réalisation des chaussées sur le sol à faible portance pose des problèmes majeurs, cette faiblesse est due à une teneur d'eau excessive.

Nous nous baserons sur la classification de portance de sol données par "le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux" élaborer par CEBTP en fonction la méthode CBR qui se fonde sur les essais Proctor et CBR effectués au laboratoire de l'ULPGL.

II.2.3.1 Essai Proctor [8]

But de l'essai : Déterminer les paramètres de compactage du matériau, de déterminer la densité et la teneur en eau optimale ou encore appelée « teneur en eau optimum Proctor » [22].

L'essai Proctor consiste à compacter dans un moule standard, à l'aide d'une dame standard et selon un processus bien déterminé, un échantillon du sol à étudier et à déterminer la teneur en eau du sol et sa densité sèche après le compactage. L'essai Proctor est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons portés à des teneurs en eau croissantes (2%,4%,6%,8%,10%,12%,14%,16%). On détermine ainsi plusieurs points de la courbe représentative des densités sèches en fonction des teneurs en eau. On trace alors la courbe en interpolant entre les points expérimentaux. Elle représente un maximum dont l'abscisse est « la teneur en eau optimum Proctor », et l'ordonnée « la densité sèche maximum Proctor ». La teneur en eau optimale et la densité sèche optimale sont obtenues suivant la norme NF P 94-093 à l'aide de l'essai Proctor modifié. La teneur en eau optimal est obtenue à la teneur à laquelle la densité sèche a commencé à diminuer.

Pour le tronçon d'étude, l'essai Proctor Modifié sera effectué au laboratoire de l'ULPGL /GOMA enfin de déterminer la teneur en eau optimal.

II.2.3.1 L'essai CBR [8]

But de l'essai : Déterminer l'indice CBR permet de calculer l'épaisseur de chaque couche lors de l'exécution d'un projet routier et établir une classification des sols permettra d'établir le trafic. Il permet aussi de calculer la portance du sol, en estimant sa résistance au poinçonnement, en fonction de son état, sa densité et son humidité, ainsi que les charges appliquées.

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

- D'établir une classification des sols (GTR) ;
- D'évaluer la traficabilité des engins de terrassement (IPI) ;
- De déterminer l'épaisseur des chaussées (CBR augmente alors l'épaisseur diminue).

L'essai CBR a été effectué suivant la norme NF P 94-078 pour déterminer la portance du sol. L'essai consiste à poinçonner l'échantillon de matériau compacté par pénétration d'un poinçon cylindrique à une vitesse constante de (1,27mm/min). Les valeurs des forces correspondant à des enfoncements de 2,5 et 5mm sont reportés à celles obtenues sur un matériau de référence pour en déduire la valeur de l'indice portant recherché. L'indice de portance CBR immergé (I CBR après 4 jours d'immersion), et indice portant immédiat IPI, sont calculés ainsi par le rapport entre la pression d'enfoncement du sol et celle d'un matériau type référence (en %) par les relations II. 10 et II. 11. Les relations II. 12 et II. 13 sont applicables pour le poinçonnement à zéro jour et pour le poinçonnement après quatre jours d'immersion. Cependant, il existe une relation qui lie le poinçonnement à zéro jour et le poinçonnement après quatre jours d'immersion. Ayant trouvé le CBR à

zéro jour, il suffit juste de le multiplier par un coefficient pour obtenir le CBR après quatre jours d'immersion c'est-à-dire le CBR du sol dans les conditions défavorables. La valeur de ce coefficient est 0,63.

Au cours de l'essai, on note les pressions lues sur l'anneau dynamométrique qui correspondent aux enfoncements suivants : 0,2 - 0,4 - 0,6 - 0,8 - 1- 1,5 - 2 - 2,5 - 3 - 3,5 - 4 - 4,5 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 et 10 mm. On arrête alors l'essai quand on atteint ce dernier enfoncement. Pour les calculs on s'intéresse aux valeurs des pressions trouvées aux enfoncements de 2,5 et 5 mm qu'on divise par 1000 et ensuite on lit sur l'abaque les forces correspondantes.

L'indice CBR est trouvé par :

$$CBR_{2,5} = \frac{\text{Force appliquée 2,5}}{13,6} * 100 \quad (II. 14)$$

$$CBR_5 = \frac{\text{Force appliquée 5}}{20,3} * 100 \quad (II. 15)$$

L'indice recherché correspond à la plus grande de ces deux valeurs.

Avec : Force appliquée 2,5 : la force (en KN) à 2,5mm d'enfoncement ;

Force appliquée 5 : la force (en KN) à 5mm d'enfoncement ;

13,6 : forces (en KN) à 2,5mm d'enfoncement pour le matériau de référence ;

20,3 : forces (en KN) à 5mm d'enfoncement pour le matériau de référence.

La qualité de sol est donnée par le tableau II. 4 .

Tableau II. 4 Tableau Qualité des sols et leur portance [4]

CBR de la plateforme	Qualité de sol
O-3	Très pauvre
3-7	Pauvre
7-20	Passable
20-50	Bon
50-100	Excellent

A partir des valeurs de CBR, il a été établi le classement de sols suivant leur portance présentée dans le tableau II. 5 .

Tableau II. 5 Classe de portance du sol [21]

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

Pour ce tronçon en étude, les essais ont été effectués au laboratoire de l'ULPGL /GOMA. Il sera question de déterminer la classe d'appartenance de notre sol dans la suite du travail.

II.2.4 Données climatiques de la ville de Goma et de l'environnement [3]

La ville de Goma se trouve entièrement dans une zone intertropicale. Le climat est généralement doux grâce aux vents soufflants du lac Kivu et son altitude (1670m) avec un climat de savane. Ce climat comprend deux saisons annuellement dont :

- La saison sèche : la grande et la petite saison sèche
- La saison pluvieuse ou humide : la grande et la petite saison pluvieuse

Il règne également un climat tempère par l'altitude et la présence de lac Kivu.

La température moyenne annuelle est de l'ordre de 18°C à Goma, ville située à 1500m d'altitude.

Elle connaît annuellement deux saisons : la saison de pluie et la saison sèche. La saison de pluie peut aller de 6 à 7 mois par an. Ses coordonnées géographiques sont : Latitude (1° 45' Sud) ; Longitude (29° 14' Est) ; Altitude (1401.8 m du Niveau de la Mer). Le lac Kivu, situé au sud de la ville de Goma, sert d'exutoire principal pour toutes les eaux de ruissèlement.

II.2.5 Les caractéristiques géotechniques du sol et les matériaux

II.2.5.1 Les caractéristiques géotechniques du sol

Les matériaux proviendront des carrières sélectionnées suite à des études géotechniques et des études économiques.

Les études géotechniques seront faites pour avoir une confirmation sur la convenance des matériaux à utilisés dans la réalisation du corps de la chaussée.

Les études géotechniques poursuivent les buts suivants :

- Déterminer la qualité du sol ;
- Dimensionner la chaussée en tenant compte des essais d'identification et des essais de compactage.

Parmi les essais d'identification, retenons principalement :

- L'essais de la masse volumique absolue ;
- L'essai de la masse volumique apparente ;
- L'analyse granulométrique ;
- Les limites d'Atterberg ;
- L'essai sur le pycnomètre dynamométrique ou PD ;
- L'équivalent de sable ;
- La teneur en eau.

Quant aux essais de compactages, citons :

- L'essai Proctor normal ou modifié
- L'essai CBR

Les études économiques concernent la rentabilité du projet en intégrant l'emplacement du site des carrières, les matériels à déployer pour l'exploitation et le cout des produits pétroliers et de la main d'œuvre.

II.2.5.2 Choix du matériau

La qualité de service d'une route est étroitement liée aux caractéristiques des matériau constituant sa structure.

Le choix du matériau se fait en tenant compte des couches concernées et de l'intensité du trafic.

a. Matériau de la couche de base

Dans le Nord-Kivu, nous avons plusieurs sites de ravitaillement en matériaux de construction des routes. Pour notre tronçon d'étude nous nous en procurerons dans une carrière de MUNIGI. Les matériaux graveleux de Munigi ont été analysé dans le laboratoire de l'office de route à l'aide de quelques essais, les résultats sont représentés dans le tableau II. 6 :

Tableau II. 6 Résultats des essais pour l'échantillon de MUNIGI [4]

N°	Nature des matériaux	Scories volcaniques
1	Analyse granulométrique	
	-Diamètre maximal mm	50
	-Passant au 0,8 AFNOR	1
2	Limite d'Atterberg : WL	30%
3	Poids spécifiques des grains solides	2,34
4	Compactage	
	-Teneur en eau optimal	21%
	-Densité sèche en T/m ³	1,25
5	Portance : gonflement	
	Indice CBR à 95% de l'OPM et à 4 jours d'immersion	21

b. Matériau de la couche de revêtement

Le revêtement sera fait en pavés basaltiques comme il a été dit précédemment.

Pour ce tronçon, les pavés provenant de l'entreprise SOCCOC qui siège à Goma seront utilisés, leurs dimensions sont :

- Longueur :15 cm
- Largeur :10cm

- Epaisseur :8cm

II.3 METHODES DE DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE SOUPLE

Le dimensionnement d'une structure de chaussée routière 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.

La structure d'une chaussée routière doit résister à diverses sollicitations, celles dues au trafic et elle doit assurer la diffusion des efforts induits par ce même 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 d'enrobés. Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement qui sont réparties en deux [3]:

III.3.1 Les méthodes empiriques

Les méthodes empiriques sont basées sur les observations expérimentales sur le comportement à long termes des diverses structures en particulier la chaussée sous différentes conditions climatiques et de trafic. Parmi ces méthodes se trouvent la méthode CBR, la méthode CEBTP et la méthode TRRL. Ces méthodes donnent les épaisseurs des couches en fonction du sol de plate-forme et du trafic.

II.3.1.1 La méthode CBR

Cette méthode connue en 1938, est basée sur les abaques complémentaires donnant l'épaisseur totale de la chaussée de la chaussée en fonction du CBR de la plate-forme. Cette épaisseur est donnée par la formule de Peltier (1953,1956) ou formule du CBR normal :

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{P}}{I_{CBR} + 5} \quad (II.16)$$

Avec e = épaisseur de chaque couche de la chaussée (en cm)

P = charge maximale de la roue (en tonne)

I_{CBR} = indice portant CBR (California Bearing Ratio) de chacune de couche du corps de la chaussée.

Avec les résultats des recherches, cette formule a été améliorée en 1956 pour donner :

$$e = \frac{100 + (75 + 50 \log N / 100) \sqrt{P}}{I_{CBR} + 5} \quad (II.17)$$

Avec **e**= épaisseur de chaque couche de la chaussée (en cm)

N= nombre de poids lourd de plus de 3,5 tonnes par jour

P= charge maximale de la roue (en tonne)

I_{CBR}=Indice CBR (California Bearing Ratio)

NB : Plus la plate-forme est forte plus la lecture du CBR est grande (force) et la déformation (enfoncement est moindre). Ce poinçonnement est d'autant plus grand que l'épaisseur de la chaussée est petite et inversement. L'épaisseur équivalente est donnée par la relation II. 14 :

$$e = \sum_{i=1}^n a_i * e_i$$

$$e = a_1 * e_1 + a_2 * e_2 + a_3 * e_3 \quad (II. 18)$$

Avec **a₁, a₂, a₃**: coefficients d'équivalent des matériaux

e₁, e₂, e₃ : épaisseurs réelles des couches

Le Tableau II. 7 donne les valeurs des coefficients d'équivalence pour les différents matériaux.

Tableau II. 7 Les coefficients d'équivalence pour chaque matériau

Matériaux utilisés	Classe de sol
Béton bitumineux ou enrobé dense	2.00
Grave ciment-grave laitier	1.50
Sable ciment	1.00 à 1.20
Grave concassé ou gravier	1.00
Grave roulée-grave sableuse et T.V. O	0.75
Sable	0.50
Grave bitumineux	1.50

II.4.1.1 La méthode CEBTP

Cette méthode tient compte de deux critères :

- L'intensité du trafic et la portance de la plate-forme et donne l'épaisseur de la couche de fondation, de la couche de base et celle de revêtement.
- L'intensité du trafic et de la nature des matériaux des différentes couches afin de vérifier les spécifications pour leurs possibilités d'utilisation.

II.3.1.2 La méthode AASHTO

Cette méthode de dimensionnement est américaine, elle propose également des abaques qui sont issus de données statistiques sur le comportement des chaussées construites dans le passé.

A part les méthodes citées ci-haut, nous avons aussi : la méthode suisse, la méthode anglaise (Overreas Road Note³¹), la méthode allemande (RSTO), la méthode TRRL (Transportation Road Research Laboratory), etc.

Remarque : Les méthodes empiriques sont expérimentales et connaissent des inconvénients suivants :

- Elles aboutissent à des surdimensionnements
- Le cout est très élevé pour avoir un nombre important des sections expérimentales afin de déterminer les épaisseurs des différentes couches et les propriétés mécaniques des matériaux.
- Le temps de réponse est très long.
- Cette analyse donne des résultats qui ne peuvent pas être généralisés car ne s'applique qu'aux matériaux étudiés, qu'aux conditions d'environnement de l'expérimentation et qu'aux sols supports rencontrés.

II.3.1.3 Méthodes mécaniques

Elles utilisent les notions de la mécanique des sols et de l'élasticité dans le dimensionnement des chaussées. Ces méthodes proposent des formules mathématiques qui modélisent les phénomènes routiers. La théorie de BOUSSINESQUE (1885), la théorie de BURMISTER (1943), la loi de HOOKE, les théories de l'élasticité linéaire, etc. tels sont les exemples des théories et modèles employés dans les méthodes mécaniques.

Pour ce tronçon, la méthode CEBTP sera opté, qui est une de méthode empirique.

II.4 CUBATURES DES TERRASSEMENTS [3]

II.4.1 Calcul des surfaces des profils en travers

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, celles 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.

II.4.2 Le calcul des cubatures

Il existe quatre méthodes d'évaluation des cubatures sur un projet routier :

- La méthode de Robin
- La méthode exacte
- La méthode de l'aire moyenne

La méthode de la moyenne des aires, c'est cette dernière qui est la plus utilisée et c'est elle qui a été choisi pour le cas cette étude.

Exposé de la méthode

Cette méthode consiste tout simplement à évaluer les cubes des terres compris entre deux profils en faisant le produit de moyenne des surfaces de chacun d'eux par la longueur de l'entre profil.

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} d_1 + \frac{S_2 + S_3}{2} d_2 + \dots + \frac{S_n + S_{n+1}}{2} d_n \quad (\text{II. 19})$$

II.4.3 Le mouvement de terre

C'est l'étude des cubes à transporter et de la longueur de transport. Notons V le cube à transporter et d la distance de transport. Le produit V.d est appelé moment de transport. Si on a plusieurs cubes V_1, V_2, \dots, V_n à transporter à des distances d_1, d_2, \dots, d_n on appelle moyenne de transport le rapport :

$$d = \frac{d_1V_1 + d_2V_2 + \dots + d_nV_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n} = \frac{\sum_{i=1}^n d_iV_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (\text{II. 20})$$

Dans un projet, les terres sont transportées des déblais vers les remblais et les excédents sont mis en dépôt. Lorsque les déblais sont insuffisants pour combler les remblais, on est amené à faire des emprunts. Ces transports se font à des distances variables et parfois indéterminées. Le coût global de transport dépend directement de ces distances, donc de la distance moyenne. Or l'examen de la formule donnant la distance moyenne montre que celle-ci est minimale pour un même cube lorsque le moment de transport est minimal. Dans un projet routier la recherche de la distance minimale de transport s'impose donc. Il y a plusieurs méthodes qui ont été élaborées. Celle utilisée pour ce travail est la méthode de LALANNE.

II.5 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE DRAINAGE ET D'ASSAINISSEMENT ROUTIER

L'eau est un des agents causals de la dégradation d'une route.

Le drainage routier est l'évacuation des eaux des ruissellements pluviaux de la surface de la route et ses dépendances.

L'assainissement est la protection de la route et ses dépendances, de la zone environnante et des exutoires aux effets nocifs de l'eau.

Pour effectuer un bon dimensionnement des ouvrages de drainage il faudrait :

- Evaluer le débit
- Faire le choix du type d'ouvrage
- Dimensionner du type d'ouvrage

Pour le tronçon d'étude, le dimensionnement hydraulique du fossé sera effectué.

II.5.1 Dimensionnement hydraulique des fossés [7]

Les fossés ont pour rôle de ralentir et purifier les eaux de ruissellements. Ils doivent être entretenus quotidiennement. Une route en remblais ou soit en déblais présente des risques d'érosions des eaux des ruissellements.

Généralement on distingue deux types des fossés :

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

Les fossés ont des formes diverses, ils peuvent être :

- Triangulaire : c'est la forme la plus communément rencontrée. Les pentes sont de 1/2 et 2/1 ou soit 2/3 et 3/2.
- Rectangulaire : ils sont confectionnés par exemple à la niveleuse, à la pelle mécanique ou ripper en terrain très cohésif ou rocheux.
- Trapézoïdale : ils sont confectionnés par exemple à la niveleuse ou à la pelle mécanique en terrain cohésif ou rocheux. Les pentes de talus peuvent être 1/2 ou 2/1 ou 3/2 suivant la stabilité des talus voire plus raides en terrain rocheux.

Les dimensions peuvent être très variables, 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. 4 illustre respectivement le fossé triangulaire à 1/2 et le fossé triangulaire à 2/3.

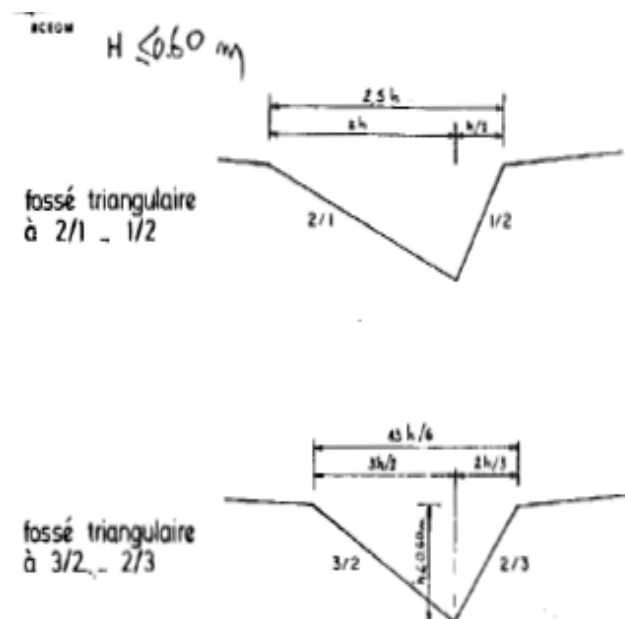


Figure II. 2 Schéma d'un fossé triangulaire

II.6.1.1 Calculs des fossés [19]

a. Evaluation du débit à drainer

- **Méthode de Caquot :** la méthode est utilisable pour les petits bassins urbanisés de superficies inférieures à $4Km^2$. Elle tient implicitement compte de la capacité de stockage de l'eau dans les égouts.

Le débit est calculé par la formule suivante :

$$Q = K * i^m * C^n * A^p \quad (\text{II. 21})$$

Avec i : la pente moyenne du bassin versant en %,

C : le coefficient de ruissellement moyen (pondéré),

A : 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,

Q : le débit en m^3/s .

La formule de Caquot adaptée au contexte de la RD Congo devient :

$$Q = K * i^{0.21} * C^{1.14} * A^{0.83} \quad (\text{II.18})$$

Avec : le coefficient de rugosité K est égal à 1,296.

Les coefficients m , n et p sont respectivement 0,21 ; 1,14 ; et 0,83.

Les tableaux II. 8 et II. 9 représentent respectivement les valeurs du coefficient de ruissellement et les pentes transversales des chaussées en fonction du type de matériaux.

Tableau II. 8 Valeurs du coefficient de ruissellement C

Nature de la couverture végétale	Valeurs C							
	Petits bassins de 0 à 10ha pente moyenne				Bassins moyens de 10 à 400ha pente moyenne			
	<5	5-10	10-30	>30	<5	5-10	10-30	>30
Plates-formes et chaussées des routes et cours	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Terrains dénudés, Végétation non couvrante, terrains érodés, Labours frais	0.80	0.85	0.90	0.95	0.70	0.75	0.80	0.85
Cultures couvrantes, céréales hautes, terrains de parcours, chiendents ras, petite brousse clairsemée	0.75	0.80	0.85	0.9	0.52	0.60	0.72	0.80
Prairies, Brousse dense, Savane à sous-bois	0.70	0.75	0.80	0.85	0.30	0.36	0.42	0.50
Foret ordinaire en futaie, sous-bois touffus	0.30	0.50	0.60	0.7	0.13	0.2	0.25	0.30
Grande forêt primaire	0.20	0.25	0.30	0.40	0.15	0.18	0.22	0.25

Source : Manuel d'exécution des petits ouvrages routiers en Afrique-BCEOM-1979

Tableau II. 9 Présente les pentes transversales des chaussées en fonction des matériaux de revêtement.

Revêtement	Pente i (%)
Assez imperméables (béton de ciment, enrobé dense) – 2 voies	1.5 – 2.0
Idem – 3 voies et plus (Min : 1,5%, Max : 4%)	1,5 + (0,5 à 1) par voie
Moyennement perméable	1,5 à 3
Perméable	2,0 à 6
Voirie urbaine	1,5 à 3,0 + 1 par voie
Accotement revêtu	2,0 à 6,0
Accotement avec bordure	≥ 4

Source : Dito Paul WRIGHT

- b. Les dimensionnements hydrauliques des fossés en béton sera effectué.
- c. **Calcul de la vitesse drainée** [7]

Les fossés sont dimensionnés à partir de la relation de MANNING STRICKER :

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}} \tag{II.22}$$

Avec V :la vitesse de l'écoulement en *m/s*

n :coefficient de Manning dépend de le rugosité superficielle de l'ouvrage, il est de 0,03 pour un ouvrage en terre, 0,04 pour un ouvrage en roche, 0,015 pour un ouvrage en béton ciment.

R : le rayon hydraulique

i :la pente longitudinale de l'ouvrage (0,5 à 1%)

Remarque : Pour les zones rocheuses et dans le cas des fossés bétonnés, les affouillaient 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 :

$$R = \frac{h\sqrt{5}}{6} = \left(\frac{V}{K\sqrt{i}} \right)^{\frac{3}{2}} \quad \text{(II. 23)}$$

$$s = \frac{5h^2}{4}$$

$$\text{D'où } Q = SV = \frac{9V^2}{K^3 i^{\frac{3}{2}}} \quad \text{(II. 24)}$$

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

$$R = \frac{h\sqrt{13}}{10} = \left(\frac{V}{K\sqrt{i}} \right)^{\frac{3}{2}} \quad \text{(II. 25)}$$

$$s = \frac{13h^2}{12}$$

$$\text{D'où } Q = SV = \frac{50}{6} \frac{9V^2}{K^3 i^{\frac{3}{2}}} \quad \text{(II.23)}$$

Vu que dans le cas des fossés revêtus, la vitesse ne doit pas dépasser $V_{\max}=3,5\text{m/s}$. cette condition entraîne donc que les fossés triangulaires revêtues ont les capacités maximales présentées dans le **Error! Reference source not found. II. 3** en fonction de la pente i.

Tableau II. 2 Capacité max en (l/s) des fossés triangulaires revêtues pour (h=0,60m)

Pente % \ Talus	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
2/1, 1/2	<u>785</u>	<u>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.6 MATERIELS ET LOGICIELS UTILISES

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

- A. **Le GPS (Global Positionning System ou le Système Mondial de Positionnement)** : c'est un système de Géo-positionnement par satellite qui fonctionne sur le principe de triangulation des signaux électromagnétiques synchronisés émis par les satellites. Pour le tronçon en étude cette technologie nous a permis de récolter sur terrain les coordonnées de l'axe principale du tronçon en étude qui sont présentés en annexe.

- B. **Le logiciel Google Earth** : c'est un logiciel développé par la société Google, permettant une visualisation de la Terre avec un assemblage de photographies aériennes ou satellitaires. Ce logiciel permet à tout utilisateur de survoler la Terre et de zoomer sur un lieu de son choix. Selon les régions géographiques, les informations disponibles sont plus ou moins précises. Pour le tronçon en étude, le logiciel Google Earth nous a permis d'avoir une vue aérienne sur le milieu d'étude.

- C. **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. Pour le tronçon en étude ce logiciel nous a permis d'avoir les coordonnées géographiques (x, y, z) de l'ensemble du milieu d'étude et les courbes de niveau.

D. 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. Pour le tronçon d'étude ce logiciel nous a permis d'avoir les différents tracés de l'axe en étude et la cubature.

II.7 CONCLUSION PARTIELLE

Cette partie présente en détail certains éléments qui nous ont permis de dimensionner le tronçon cible entre autres le trafic, la durée de service, la nature du sol, les données climatiques et les caractéristiques géotechniques du sol. Mais aussi elle présente les différents matériels et logiciels utilisés. Ces éléments cités ci-haut seront bénéfiques pour le dimensionnement du tronçon grâce à la méthode CEBTP.

CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES DE LA CHAUSSEE ET PRESENTATION DES RESULTATS

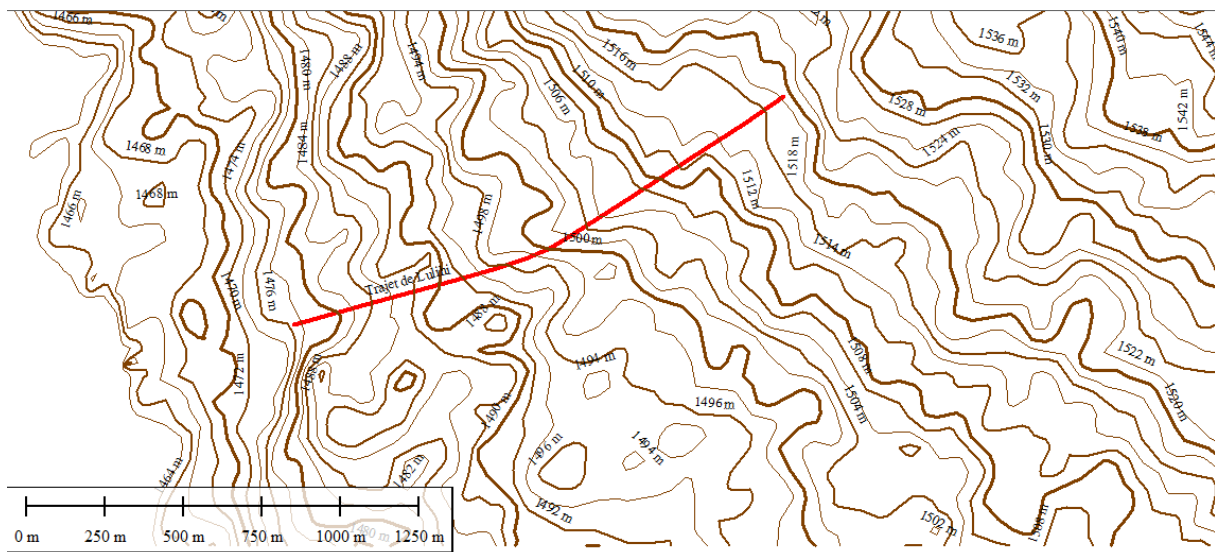
Dans ce chapitre sera consacré à la présentation des résultats des essais faites au laboratoire et leur interprétation mais aussi ceux de dimensionnement d'une chaussée en pavé basaltique à l'aide des abaques préétablis par les guides techniques routier CBTP.

III.1 DIMENSIONNEMENT HORIZONTAL DE LA ROUTE

Dans cette section, les caractéristiques géométriques de la route sont présentées.

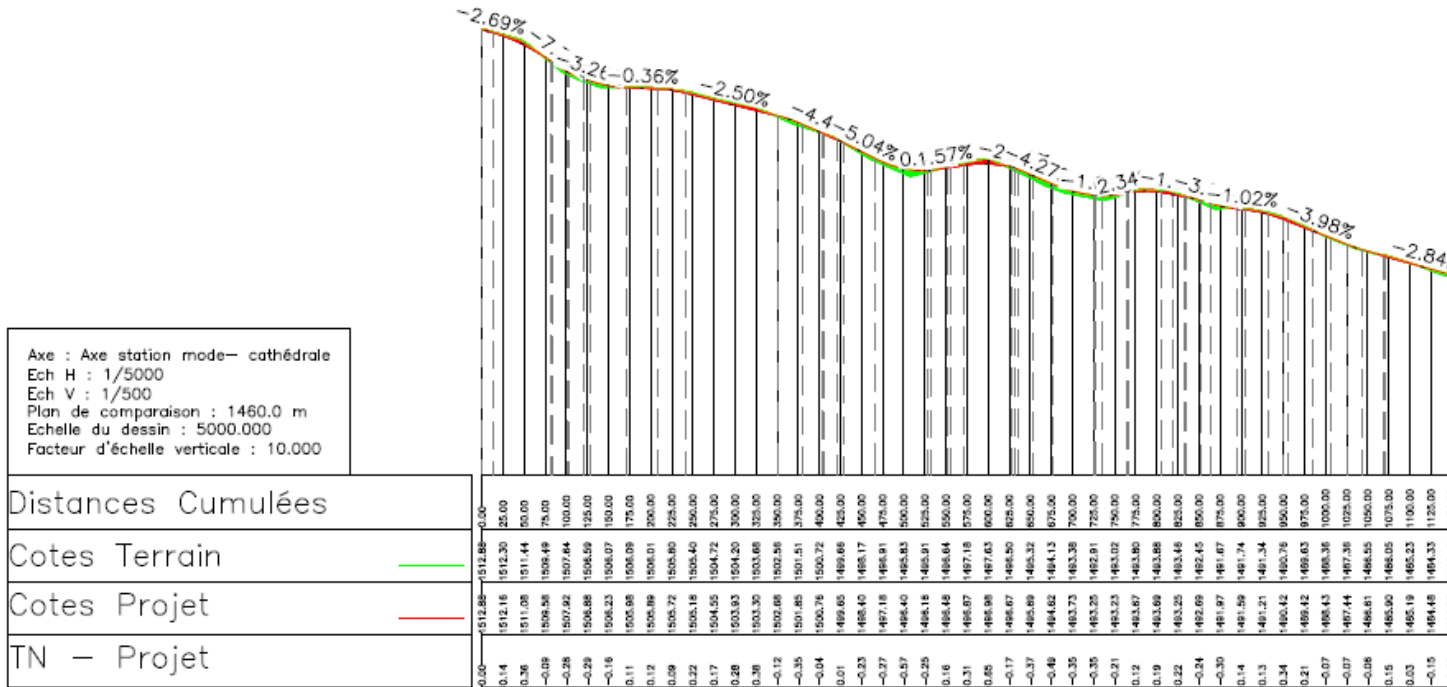
III.1.1 Levés topographiques

Le logiciel Global Mapp a permis d'avoir les coordonnées topographiques de l'axe principal dans la région où se situe le tronçon en étude données dans l'annexe 1 et d'établir les différentes courbes de niveau se présentent sur la figure III. 1 :



III.2.1 Le profil en long

Le profil en long du terrain naturel se situe sur les altitudes comprises entre 1512,88 et 1466,41 m de m, il se présente sur la figure III. 3 :



III.2.1 Le profil en travers

Le profil en travers de la chaussée en étude qui est une coupe transversale et ses dépendantes possède les caractéristiques ci-après, présenté par la figure III. 4 :

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

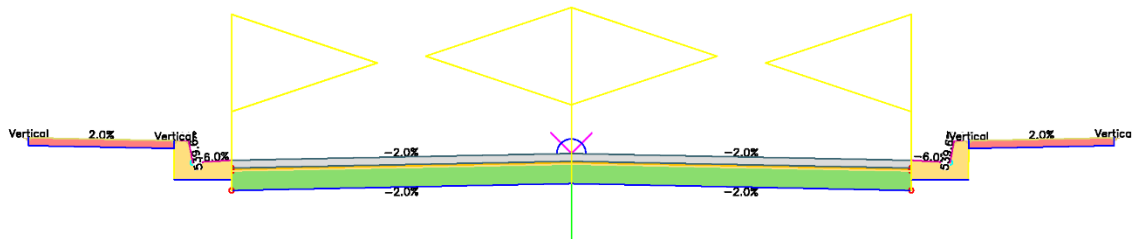


Figure III. 4 Profil type du projet en étude

III.2 DIMENSIONNEMENT VERTICAL DE LA CHAUSSEE

Dans la mesure où les chaussées revêtues de pavés ont un comportement qui s'apparente à celui des chaussées souples [13], nous dimensionnerons les chaussées en pavés revêtues en nous basant sur les méthodes des chaussées souples énumérées dans le second chapitre. 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.

Pour cette raison, la couche unique est caractérisée par un module combiné du système "pavés + lit de pose" et il est possible d'avoir recours aux méthodes de dimensionnement usuelles utilisées pour les chaussées souples. De cette manière, le CMA (2004) [10] a recensé divers facteurs d'équivalence et le matériau correspondant, présentés au Tableau III. 1:

Tableau III. 1 Résumé de différents facteurs d'équivalence du système "pavés + lit de pose" [10]

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

Il est préférable de faire recours à la méthode CEBTP qui est une des méthodes de dimensionnement des chaussées souples et adapter les résultats trouvés à la chaussée revêtue en pavé.

III.2.1 Proposition de la structure selon le guide CEBTP [21]

La présentation et l'interprétation des résultats des essais effectués au laboratoire en vue de déterminer la portance du sol :

III.2.1.1 L'essai Proctor Modifié

La courbe Proctor Modifié du sol est représentée par la figure III. 5 :

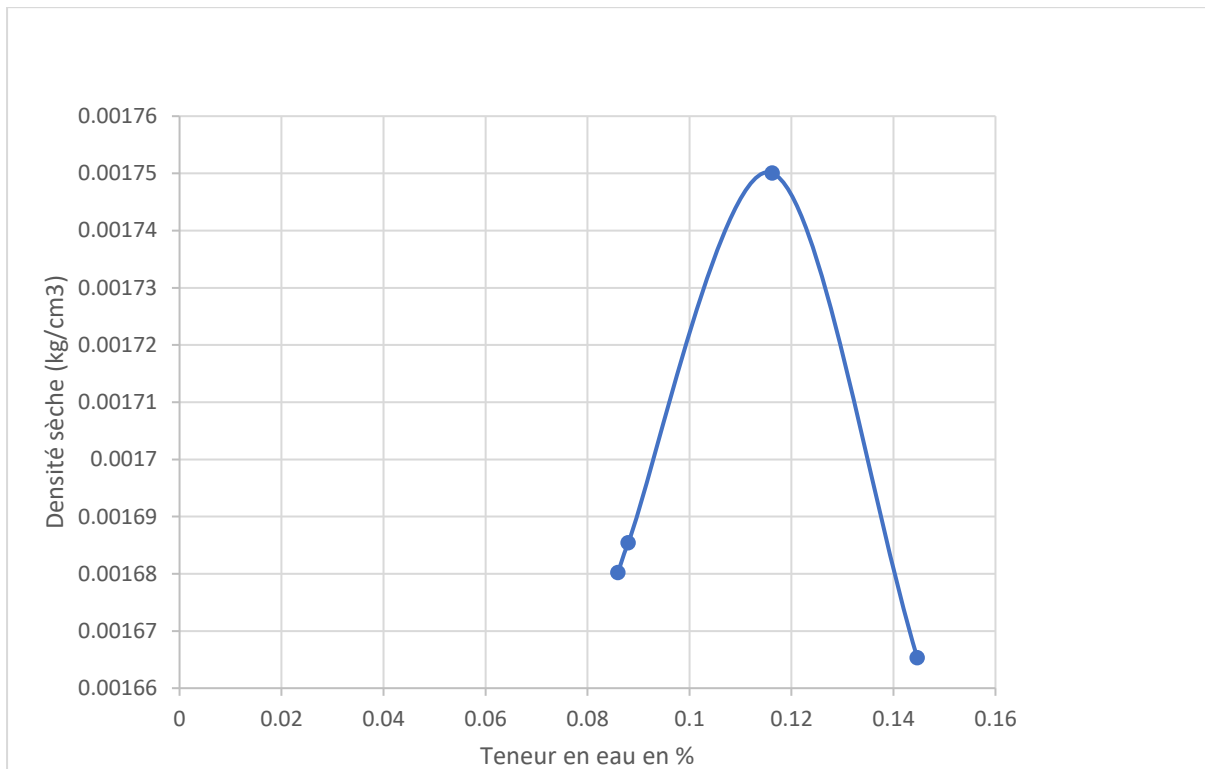


Figure III. 5 Courbe Proctor Modifié du sol

La densité maximale sèche du sol est de 175g/cm³ et une teneur en eau de 11,6%.

III.2.1.2 L'essai CBR

L'essai CBR a permis de déterminer la portance du sol compacté après quatre jours d'immersion.

Les relations II. 26 et II. 27 permettront de trouver l'indice CBR à 2,5% présenté dans le tableau III. 2.

Tableau III. 2. Indice de portance du sol

Enfoncement	Effort de pénétration	CBR après immersion
<i>CBR_{2,5}</i>	$\frac{1,52 \times 100}{13,6}$	11,176%
<i>CBR₅</i>	$\frac{4,13 \times 100}{20,3}$	20,244%

L'indice CBR après immersion est de 20,244% qui est la plus grande valeur de deux. Partant du tableau II. 3, ceci implique que notre sol appartient dans la classe de portance S4.

Ce trafic étant de classe T3 sur un sol de portance de classe S4, le guide CEBTP propose plusieurs structures parmi lesquelles certaines sont applicables dans la ville de Goma en considérant la disponibilité des matériaux constitutifs des couches présenté dans le tableau III. 3 :

Tableau III. 3 Guide propositionnelle des structures pour un trafic T3 et un sol de classe 4 utilisé dans la ville de Goma :

Couches	Structure 1	Structure 2	Structure 3
Fondation	15cm de scorie volcanique (pouzzolane)	20 cm de scories volcaniques (pouzzolane)	20cm de scories volcaniques (pouzzolanes)
Base	20cm concassé 0/40	20cm grave ciment	15cm grave bitume
Revêtement	5cm de B. B	5cm de B. B	4cm de B. B

Pour le tronçon en étude, la troisième structure sera optée en se basant sur le cout moins élevé et à sa disponibilité par rapport aux autres structures. La disposition de la structure est donnée dans le tableau III. 4.

Tableau III. 4 Résultat de la méthode CEBTP

Couches	Structure 3	Dimensions
Fondation	Scories volcaniques(pouzzolanes)	20 cm
Base	Grave bitume	15cm
Revêtement	B. B	4cm

Pour adapter ces résultats à notre projet d'étude, nous nous référons sur une étude faite par l'interlocking concrete pavement Institute créée en 1993 une industrie de fabrication des pavés en béton par les Etats Unis et le Canada qui dit qu'un revêtement de pavés constitué 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 [9].

En tenant compte de la normalisation, il est envisageable d'adopter une hauteur de pavés comprises entre 5-10cm et un lit de pose de 2-4cm.

En tenant compte du risque de poinçonnement présenté et celui du tassement différentiel 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, nous adopterons 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

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, l'utilisation de ces équivalences serait applicable que pour les pavés en pierres naturelles.

Pour minimiser le cout de pavés, nous proposons de faire le taillage rectangulaire des roches avec un équipement adéquat pour obtenir des pavés de taille voulue avec une épaisseur approuvée par l'ingénieur pour qu'ils soient résistants aux différentes sollicitations provenant du trafic sans qu'ils ne se déforment ni se fissurent.

III.2.2 Trottoirs

En vue d'assurer une circulation aisée aux piétons, les accotements de la chaussée seront en trottoirs de part et d'autre avec une largeur de 1,5m chacun. Les trottoirs seront construits en pavés basaltiques déposés sur une base en grave non traité. Les bordures de séparation de la chaussée avec les trottoirs seront en béton surélevé de 0,5m de longueur sur 0,20m de hauteur présentée dans le tableau III.5.

Tableau III. 5 Structure de trottoir

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

III.3 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT

Ce travail s'est proposé de dimensionner sur chacune de deux côtés de la chaussée un fossé de talus 2/1 et 1/2.

III.3.1 Détermination du débit

La détermination du débit demande la connaissance les surfaces des différents bassins versants concernés par la route, les différents écoulements des eaux dans ces bassins versants et se focaliser sur les écoulements concernés par le tronçon en étude. Le bassin versant est présenté par la figure III. 6 obtenue grâce au logiciel Google earth et Global Mapper.

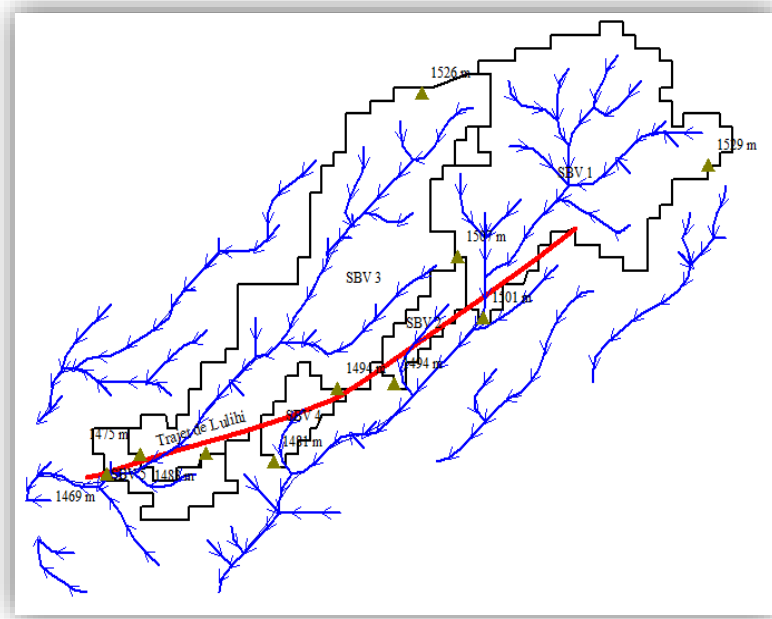


Figure III. 6 *Subdivision du Bassin versant en SB*

Il a été jugé utile de diviser le bassin versant présenter ci-haut, en sous-bassins. Ceci a permis également d’identifier le sens de l’écoulement de différentes lignes d’eaux.

Les débits des SBV présentés dans le tableau III. 6, sont obtenus à partir de la relation II.18.

Tableau III. 6 *Résultat des calculs du débit*

Nom du sous bassin	surcace en km2	périmètre Km	Pente	longueur d'écoulement Km	Cs	K	Q(M3/S)
SBV 1	0.4457	4.267	3.52	0.909	0.95	1.296	0.81412156
SBV 2	0.04266	1.295	3.24	0.17668	0.95	1.296	0.11411472
SBV 3	0.4635	5.009	4.05	1.41	0.95	1.296	0.86615726
SBV 4	0.03935	1.138	3.59	0.009	0.95	1.296	0.10903951
SBV 5	0.0545	1.698	3.63	0.297	0.95	1.296	0.14321859
TOTAL	1.04571	13.407	18.03	2.80168			2.04665164

III.3.2 Dimensionnement du fossé latéral

Pour le cas de ce travail, en se basant sur les résultats du **Error! Reference source not found.** présentant les capacités max en (l/s) des fossés triangulaires revêtues pour (h=0,60m), la capacité du fossé de de 306 l/s sera adoptée.

Pour éviter les éventuels débordements de l'eau quand les débits dépassent la capacité du fossé ou bien pour que les vitesses d'écoulement dans le fossé n'atteignent pas les limites d'affouillement, les fossés latéraux comporteront des ouvrages de décharges sur chaque 400 m.

III.4 CALCULS DES CUBATURES DES TERRASSEMENTS

III.4.1 Cubature de la couche de base

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

- Largeur de la plate-forme : 7m ;
- Longueur de la chaussée :1739,91m ;
- Epaisseur de la couche de base :15cm.

Après calcul, le volume est de 1826,9055 m³.

III.4.2 Mouvement de terre

A l'aide du logiciel Civil 3D, les cubatures et le mouvement de la terre ont été obtenus et présenté respectivement dans le tableau III. 7 et III. 8 :

Tableau III. 7 Le calcul de cubature par le logiciel 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	2.88	0	0	0.34	0	0	0
50.00	5.77	216	216	0.13	12	12	204
100.00	0.55	158	374	1.10	31	42	332
150 .00	1.45	50	424	0.69	45	87	337
200.00	3.79	131	555	0.00	17	104	451
250.00	4.94	218	773	0.00	0	105	669
300.00	5.63	264	1038	0.00	0	105	933
350.00	1.95	190	1227	0.74	18	123	1104
400.00	2.81	119	1346	0.67	35	158	1188
450.00	0.95	94	1440	1.09	44	202	1238
500.00	0.00	24	1464	3.83	123	325	1139
550.00	4.39	110	1574	0.07	97	423	1151
600.00	9.31	342	1916	0.00	2	424	1492
650.00	0.05	234	2150	1.64	41	465	1685
700.00	0.04	2	2152	1.47	78	543	1609
750.00	1.03	27	2179	0.80	57	600	1579
800.00	4.74	144	2323	0.10	22	622	1701
850.00	0.79	139	2461	0.96	26	648	1813
900.00	4.32	128	2589	0.28	31	679	1910
950.00	6.28	265	2854	0.00	7	686	2168
1000.00	2.37	216	3070	0.46	12	698	2372
1050 .00	2.48	121	3191	0.57	26	723	2468
1100.00	3.43	148	3338	0.52	27	750	2588
1150.00	0.47	97	3436	1.50	51	801	2635
1200.00	4.34	120	3556	0.16	41	842	2714
1250 .00	0.00	109	3665	1.72	47	889	2775
1300 .00	0.00	0	3665	4.65	159	1049	2616
1350.00	4.51	113	3777	0.00	116	1165	2613
1400.00	4.08	215	3992	0.08	2	1167	2825
1450 .00	0.37	111	4103	1.41	37	1204	2899
1500 .00	0.00	9	4112	5.53	173	1377	2735
1550.00	0.36	9	4121	1.04	164	1542	2580
1600 .00	3.43	95	4216	0.03	27	1569	2648
1650 .00	4.17	190	4406	0.00	1	1569	2837
1700.00	1.22	135	4541	0.75	19	1588	2953
1739 .91	2.81	80	4621	0.27	20	1609	3013

Tableau III. 8 Tableau des volumes des couches par le logiciel Civil 3D

Roulement: Volume				Base: Volume				Fondation: Volume			
PK	Surf ace	Vol	Vol cumulé	PK	Surfa ce	Vol	Vol cumulé	PK	Surf ace	Vol	Vol cumulé
0.00	0.56	0	0	0.00	0.21	0	0	0 .00	1.40	0	0
50.00	0.56	28	28	50.00	0.21	10	10	50.00	1.40	70	70
100.00	0.56	28	56	100.00	0.21	10	21	100.00	1.40	70	140
150 .00	0.56	28	84	150.00	0.21	10	31	150.00	1.40	70	210
200.00	0.56	28	112	200.00	0.21	10	42	200.00	1.40	70	280
250.00	0.56	28	140	250.00	0.21	10	52	2 50.00	1.40	70	350
300.00	0.56	28	168	300.00	0.21	10	63	300.00	1.40	70	420
350.00	0.56	28	196	350.00	0.21	10	73	350.00	1.40	70	490
400.00	0.56	28	224	400.00	0.21	10	84	400.00	1.40	70	560
450.00	0.56	28	252	450.00	0.21	11	94	450.00	1.40	70	630
500.00	0.56	28	280	500.00	0.21	11	105	5 00.00	1.40	70	700
550.00	0.56	28	308	550.00	0.21	11	115	550.00	1.40	70	770
600.00	0.56	28	336	600.00	0.21	10	126	600 .00	1.40	70	840
650.00	0.56	28	364	650.00	0.21	10	136	650.00	1.40	70	910
700.00	0.56	28	392	700.00	0.21	11	147	700.00	1.40	70	980
750.00	0.56	28	420	750.00	0.21	11	157	750 .00	1.40	70	1050
800.00	0.56	28	448	800.00	0.21	11	168	800.00	1.40	70	1120
850.00	0.56	28	476	850.00	0.21	11	178	850.00	1.40	70	1190
900.00	0.56	28	504	900.00	0.21	11	189	900.00	1.40	70	1260
950.00	0.56	28	532	950.00	0.21	11	199	950.00	1.40	70	1330
1000.00	0.56	28	560	1000.00	0.21	10	210	1000.00	1.40	70	1400
1050.00	0.56	28	588	1050.00	0.21	10	220	1050.00	1.40	70	1470
1100.00	0.56	28	616	1100.00	0 .21	11	231	1100.00	1.40	70	1540
1150.00	0.56	28	644	1150.00	0.21	11	241	1150.00	1.40	70	1610
1200.00	0.56	28	672	1200.00	0.21	11	252	1200.00	1.40	70	1680
1250.00	0.56	28	700	1250.00	0.21	10	262	1250.00	1.40	70	1750
1300.00	0.56	28	728	1300.00	0.21	10	273	1300.00	1.40	70	1820
1350.00	0.56	28	756	1350.00	0 .21	10	283	1350.00	1.40	70	1890
1400.00	0.56	28	784	1400.00	0.21	10	294	1400.00	1.40	70	1960
1450.00	0.56	28	812	1450.00	0 .21	10	304	1450.00	1.40	70	2030
1500.00	0.56	28	840	1500.00	0 .21	11	315	1500.00	1.40	70	2100
1550.00	0.56	28	868	1550.00	0.21	11	325	1550.00	1.40	70	2170
1600.00	0.56	28	896	1600.00	0 .21	11	336	1600.00	1.40	70	2240
1650.00	0.56	28	924	1650 00	0.21	10	346	1650.00	1.40	70	2310
1700.00	0.56	28	952	1700 00	0 .21	10	357	1700.00	1.40	70	2380
1739.91	0.56	22	974	1739 91	0 .21	8	365	1739.91	1.40	56	2436

III.5 CALCULS DES NOMBRES DE PAVES ET MISE EN ŒUVRE

III.5.1 Nombre des pavés

Les dimensions des pavés sont :

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

La détermination du nombre des pavés demande connaissance de la surface de la chaussée et la surface du trottoir car les deux sont destinées être revêtue en pavés basaltiques.

- La surface de la chaussée est donnée par : $1739,91\text{m} \times 6\text{m} = 10\,439,46\text{m}^2$
- La surface du trottoir : $1739,91\text{m} \times 1,5\text{m} = 2\,609,865\text{m}^2$
- La surface d'un pavé : $0,1\text{m} \times 0,15\text{m} = 0,015\text{ m}^2$

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

Avec **SC** : surface de la chaussée

ST : surface du trottoir

SP : Surface d'un pave.

D'où le nombre de pavé sera de 869 955 pavés pour le tronçon en étude.

III.5.2 Mise en œuvre

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 suivantes doivent être respectées pour que cette technologie soit mise en œuvre [8] :

- L'excavation,
- La fondation,
- Les bordures,
- Le lit de pose,

- La pose des pavées,
- Le remplissage des joints

III.5.2.1. L'excavation

L'excavation est l'action de creuser le terrain, un sol, et son résultat.

Avant l'excavation il est indispensable de vérifier aux près de différentes compagnies (électricité, de téléphone, de gaz ou les services municipaux) s'il n'y a pas présence de fils ou des conduits enfouis dans le sol et à la REGIDESO pour être sûr qu'il n'y ait pas des tuyaux enfouis dans le sol.

Lors de l'excavation à la surface, favoriser l'évacuation de l'eau en mettant d'une pente pour l'égouttement de 2cm au moins. Le tableau III. 9 présente les profondeurs d'excavation suivant la nature de l'ouvrage.

Tableau III. 9 Profondeur d'excavation suivant la nature de l'ouvrage et le type de sol

Nature de l'ouvrage	Type de sol	Profondeur de l'excavation
Entrée d'automobile résidentielle	Argile	380
	Sable	100
Trottoir ou patio	Argile	230
	Sable	180

III.5.2.2. La fondation

La couche de fondation est la première couche d'un corps de chaussée. Elle est destinée à supporter différentes couches qui constituent la chaussée et d'absorber les contraintes de circulation transmise en profondeur, en répartissant les charges sur la couche de forme.

Avant la mise en place de la couche de fondation, il est recommandé de faire le compactage du sol excavé en le vibrant.

Le compactage se fait à l'aide d'un compacteur ou d'une pilonneuse par couches successives de 100mm jusqu'à l'obtention de la hauteur voulue.

III.5.2.3. Installation des bordures

Les bordures qui sont des éléments verticaux ou inclinés bordant la chaussée ou l'accotement, pouvant constituer une partie du dispositif d'écoulement des eaux, renforçant ou protégeant le bord de la chaussée ou de la surface roulante et indiquant de façon précise aux conducteurs la limite de la zone accessible aux véhicules.

L'installation des bordures se fait en respectant un alignement très précis et avant la pose des pavés.

III.5.2.4. Le lit de pose

Le lit de pose est un traitement effectué pour régulariser la surface de pose et éviter les tassements différentiels sous un revêtement ou sous une conduite. Il est généralement réalisé avec des matériaux rapportés fins et de granulométrie régulière (sable).

Le lit de pose reposera sur la couche de base. Il sera compacté des bords vers l'intérieur pour éviter les risques d'affaissement dans le futur, mais aussi nous devons aménager un dispositif de drainage d'eau dans le corps de la chaussée en réalisant un profil en toit pour permettre à l'eau de couler de l'intérieur vers les bords. Les pavés de bord seront limités par des bordures. Pour une voie urbaine, la bordure est constituée par les canaux latéraux.

Les étapes de la mise en place du lit de pose sont :

- Etendre 25 mm de sable à béton ou de criblure de pierre et compacter. Après compactage du dernier niveau le lit de pose sera réduit à 10 mm,
- Nivelier le sable à béton ou de criblure de pierre à l'aide d'une planche droite sur deux tuyaux de 25mm,

- Disposer les pavés à partir d'un coin et à un angle de 90°, progresser en marchant sur le pavé et jamais sur le lit de pose,
- Vérifier l'alignement des pavés à toutes les 5 rangés et réaligner.
- Après la pose, tailler les pavés des extrémités à l'aide d'une guillotine ou d'une scie à béton.

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 III.7 montre l'effet de la hauteur du lit de pose sur la déformation du revêtement sous l'effet d'une charge de roue.

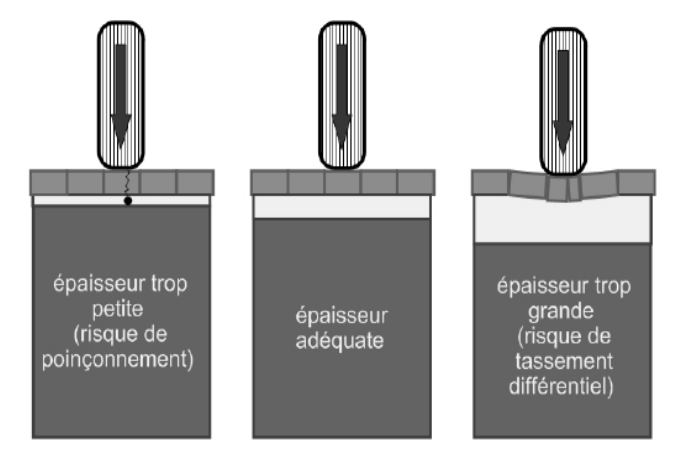


Figure III. 7 : Effet de la charge sur la hauteur de lit de pose [17]

III.5.2.5. La pose des pavés en pierre

Le pavage est un revêtement du sol. La pose des pavés se fait suivant deux techniques selon l'usage : le pavage sur lit de sable et le pavage sur chape de mortier. Avant chaque pose on détermine le calepinage souhaité.

Pour le tronçon en étude, on fera le pavage sur lit de sable. Les étapes à suivre :

- Sur le lit de sable ou de criblure de pierre compacté, disposer les pavés les uns à côté des autres en les espaçant de 1 ou 2 cm.
- A l'aide d'une cale en bois et d'un maillet, installer chaque pavé en l'enfonçant de 1 cm dans le lit de tout-venant.

- Veiller à ce que la surface soit légèrement bombée au centre pour permettre aux eaux de pluie de ruisseler vers l'extérieur de l'allée.
- Poser et ajuster les pavés. S'assurer que la surface est parfaitement horizontale grâce au niveau d'eau.
- Coulisser le niveau d'eau sur les pavés et rectifier avec une cale en bois et un maillet si besoin.

NB : Poser les pavés en béton rangé par rangé et vérifier l'horizontalité grâce un niveau d'eau après chaque ligne.

III.5.2.6. Remplissage des joints [23]

Le remplissage de joints est une étape importante pour le pavage car l'écart de joint doit être impérativement respecté pour avoir un bon rendu mais cette étape est souvent négligée par les ouvriers. Pour jointoyer les pavés, les étapes suivantes doivent être successivement 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.
- Etendre du sable à béton sur les pavés. Une fois le sable sec, balayez le sable dans les joints et cela dans tous les sens.
- Repasser la plaque dans les deux sens et enlevez le surplus de sable. Si après quelques jours, certains joints ne sont pas suffisamment remplis, ré-sabler à nouveau et repasser le balai.
- Réaménager l'assise suivant une périodicité quinquennale et ré-sabler chaque année ou au besoin.

III.5.3 Devis estimatif du tronçon en étude

Connaissant la cubature de la couche de base et la géométrie du tronçon en étude, il est important de faire un devis estimatif du tronçon en étude. Le tableau d'éclaircissement.

Tableau III. 10 Devis estimatif du tronçon en étude

N°	Designation	Unité	Quantité	P.U (\$)	P.T (\$)
1	Installation du chantier	10%			11978.38
2	Matériaux de la couche de fondation	m ³	2436	25	60900
3	Matériaux de la couche de base	m ³	365	55	20075
4	Sable	m ³	70	10	700
5	Pavés	m ³	86955	0.25	21738.75
6	Bordure préfabriquée	Piece	3500	4	14000
7	Ciment	Piece	150	12	1800
8	Moellon	m ³	95	6	570
	Total				119783.8
	Imprevus	10%			11978.38
	Main d'oeuvre	20%			23956.75
	Total General				287481

III.6 CONCLUSION PARTIELLE

Dans cette partie, il a été question de présenter et interpréter les résultats des différents essais effectués au laboratoire mais aussi de présenter différents tracés pour le dimensionnement géométrique du tronçon en étude à l'aide du logiciel Civil 3D. Les résultats obtenus ont permis de trouver l'indice portant du sol, de déterminer les épaisseurs des couches et le volume de cubatures.

CONCLUSION GENERALE

Le développement d'un pays dépend en grande partie des infrastructures routières qui permettent de faciliter les échanges entre différentes régions.

Ce travail avait comme objectif principal de proposer l'aménagement d'une chaussée en pavé basaltique avec application sur le tronçon reliant la station Modé à l'Université Catholique La Sapientia dans la ville de GOMA. Permettre ainsi de répondre aux problèmes d'assainissement et de proposer une structure qui va permettre à ce tronçon d'être viable.

La ville touristique de GOMA doit toujours refléter le beau dans chaque recoin. Son urbanisation nécessite la construction des belles routes et le revêtement des chaussées. Dans le cas du tronçon en étude, un revêtement de la chaussée en pavés basaltiques a été opté compte tenu de la disponibilité du matériau basalte dans la ville ce qui est un avantage du point de vue économique.

Pour parvenir au bout de cette étude : les études topographiques ont été effectuées grâce au logiciel google Mapps et google earth, la portance du sol de Goma a été déterminée par essai au laboratoire, le dimensionnement de la chaussée a été fait par la méthode CEBTP. Le logiciel CIVIL 3D a permis de générer tous les profils et la cubature. 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 proposés par CEBTP.

Ce travail a été bénéfique et a apporté des nouvelles connaissances en matière d'infrastructure routière, des connaissances des matériaux et de dimensionnement des chaussées en pavés basaltiques. En tant qu'humain, il est difficile de présenter un travail parfait. Le domaine routier étant vaste, c'est parmi le devoir de tout chercheur d'apporter des modifications nécessaires à ce travail tout en poursuivant la recherche.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] F. Bamaros, «Les états des routes de desserte agricole en RDC,» *Radio Okapi*, 2010.
- [2] J. B. A. B. I. K. e. B. K. Jean-Leonard BOMBONAYO, «Incidence des reseaux routier congolais sur la croissance économique en République Démocratique du Congo: de 1995 à 2019,» *Globla Scientifique Journals* , vol. 10, 22.
- [3] K. N. Bienfait, Comparaison structuro-économique entre les chaussées souples et celles faites en pavés de roches basaltiques:Application sur la rue Modé-La Sampietia à Goma, Goma: Université libre de Pays de Grand-Lacs, 2021-2022.
- [4] I. G. K. DJIBRIL, Cours de route, Goma: Université libre de Pays de Grand-Lacs, 2021-2022.
- [5] A. B. Alba, Etude de dimensionnement d'une chaussée souple:cas de la piste d'accès aux cites du barrage et de la centrale hydro-électrique Ruzizi III du PK 0+000 au PK 9+000, Bukavu: Université Evangelique en Afrique, 2015.
- [6] SETRA, Recommandations Techniques pour la conception générale de la Route. Aménagement des routes principales (sauf les autoroutes et routes express à deux chaussées), guide technique, Août 1994.
- [7] K. K. Magloire, Etude d'aménagement d'une chaussée des pavées en pierres volcaniques : cas du tronçon routier Entrée hôtel Boneza-musée, GOMA: Université Libre de Pays de Grands-Lacs, 2020-2021.
- [8] M. B. Nelly, Etude comparative des caractéristiques du sol par stabilisation au ciment et à la chaux: Application au sol de BUNAGANA à MINOVA, GOMA : Université Libre Des Pays Des Grand-Lacs, 2020-2021.
- [9] J. BERTHIER, Projet et construction de routes, Paris, 1992.
- [10] A. BRESSON, Proposition d'une méthode de conception des chaussées revêtues de pavés de béton en zone urbaine et nordique, Québec, 2010.

- [11] OVD, Rôle des infrastructures routières dans l'intégration économique et territoriale,, Goma, 2008.
- [12] SAMBOUMBE, Dimensionnement mécanistique-empirique des structures dechaussée:Application au tronçon Séo-Diourbel, Dakar:Université Cheikh Anta Diop, 2005.
- [13] M. Z. Yvette, ÉTUDE D'AMÉNAGEMENT D'UNE CHAUSSÉE REVÊTUE EN PAVÉS BASALTIQUES« Cas du tronçon Rue Papa Kabila à GOMA », GOMA: Université Libre Des Pays Des Grands-Lacs, 2021-2022.
- [14] CREABETON, Revêtements en béton, Lyss, 2019.
- [15] C. M. SA, Instructions pour la pose de pavés, Lyss, 2017.
- [16] C. M. AG, Instructions pour la pose des pavés perméables, Lyss, 2022.
- [17] K. B. Bruno, Conception et dimensionnement d'une route en pavé basaltique :Sise TYronçon collège MWANGA-Boulevard Enoch NYAMWISI MUVINGI, GOMA: Université Libre Des Pays Des Grand-Lacs, 2019-2020.
- [18] D. C. Moulley, Cours du module de Géologie 1, Université Ferhat Abbas,Setif 1, 2008-2009.
- [19] K. SEFU, Dimensionnement d'un canal en béton de ciment en vue de collection des eaux pluviales sur une voix 1, Université Libre Des Pays Des Grand-Lacs:Goma, 2020-2021.
- [20] L. P. E. e. G. Civil, Cours de tracé routier, Oudja, 2010-2011.
- [21] E. S. OKOUNDE, CONSTRUCTION A L'UTILISATION DES PIERRES EN COUCHES DE ROULEMENT DANS LES CHAUSSEES URBAINES DES REGIONS DES COLLINES ET DES MONTAGNES AU BENAIN : Possibilité des pavés en pierre, Institut International de l'eau et de l'environnement.
- [22] M. M. Grace, Laboratoire des matériaux, GOMA: Université Libre Des Pays Des Grands-Lacs, 2021-2022.

- [23] A. Dione, Dimensionnement routier au Sénégal, quelles perspectives?, Dakar:Université Cheikh Anta Diop, 2011.
- [24] BTP, «Tracé en plan,» *genieciviltravauxpublics*, 2012.
- [25] H. Brunel, «Profil en travers (route),» *Cours de Génie civil*, 2007-2008.
- [26] SETRA, Aménagement des routes principales : recommandations pour la conception et la géométrie de la route, Paris, 1994.
- [27] INFOCUMENTS, Dimensionnement des voiries et aménagements urbaines en béton, Paris, 2019.
- [28] B. N. e. N. asma, Etude des paramètres influant sur la portance de sol non saturé (Indice CBR), BOUMERDES: oumerdès:Université de Boumerdès, 2016-2017.
- [29] K. B. Bruno, conception et dimensionnement d'une route en pavé sise tronçon college Mwanga- boulevard enock Nyamwisi Muvungi, GOMA: ULPGL/DRC, 2020.
- [30] M. Ghislain, Etude comparative entre une chaussée en souple et une chaussée en pierre cas du troncon nyabushongo terminus, GOMA: ULPGL, 2019.
- [31] H. BRUNEL, «Cours de génie civil,» Université Saint-Pierre, 2007-2008. [En ligne]. Available: www.coursgeniecivil.com.
- [32] V. K. BUNGO, etude d'une chaussée pavée en pierre volcaniques de 1,75km entre l'université catholique la sampietia et la RN2, Goma, 2017.
- [33] CEBTP, Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, 1984.
- [34] J. BERTHIER, Interaction entre véhicules et routes, 2010, Paris.
- [35] P. M.-L. M.A., Étude d'un système de drainage des eaux pluviales stagnantes sur une route, 2021.
- [36] V. K. BUNGO, etude d'une chaussée pavée en pierre volcaniques de 1,75km entre l'université catholique la sampietia et la RN2, Goma, 2017.

ANNEXES

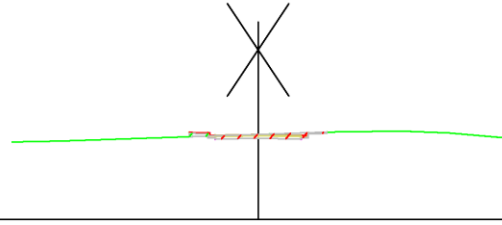
Annexe 1

Tableau 1 Coordonnées de l'axe principal de la route

PK	X(m)	Y(m)
0	743016	9818034
50	742976	9818005
100	742934	9817978
150	742892	9817950
200	742851	9817922
250	742807	9817897
300	742765	9817870
350	742724	9817842
400	742684	9817812
450	742642	9817784
500	742600	9817757
550	742559	9817729
600	742517	9817701
700	742433	9817648
750	742390	9817622
800	742348	9817596
850	742304	9817572
900	742260	9817548
950	742214	9817528
1000	742167	9817512
1050	742119	9817497
1100	742072	9817482
1150	742024	9817467
1200	741976	9817453
1250	741928	9817440
1300	741879	9817426
1350	741832	9817411
1400	741784	9817396
1450	741736	9817382
1500	741688	9817368
1550	741640	9817355
1600	741591	9817343
1650	741543	9817331
1700	741494	9817319
1735.76	741459	9817311

Annexe 2 : Profil en travers courant du tronçon en étude

PL : Axe station mode- cathédrale
 PT : Axe station mode- cathédrale - 0+00.00
 PK : 0.00m
 Ech H : 1/500
 Ech V : 1/500
 PC : 1506.0



	Distances	1512.26	-20.00	1512.34	-16.02	1512.88	0.00	1513.07	5.58	1513.15	11.60	1513.00	15.53	1512.61	20.00
Altitudes TN															
	Distances														
Altitudes Projet						1513.04	-5.59	1512.89	-3.50	1512.88	0.00	1513.01	4.59	1513.04	5.59
	Distances														
Altitudes Assise						1512.96	-5.59	1512.80	-3.50	1512.57	0.00	1512.80	4.59	1512.96	5.59

Annexe 3



UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS

B.P. 368 Goma

PROVENANCE : GOMA *Faculté des Sciences et Technologies Appliquées*

PRESCRIPTION : Sol volcanique *Laboratoire de Génie Civil*

DATE DE L'ESSAI :9/9/2022

Tableau 2. Essai Proctor Modifié du sol à l'état naturel

Eau ajoutée	8%1		2%2		2%3		2%4	
Poids total humide (g)	12350		12375		12705		12575	
Poids du moule (g)	7320		7320		7320		7320	
Poids échantillon humide (g)	5030		5055		5385		5255	
Volume du moule (cm ³)	2756,7		2756,7		2756,7		2756,7	
Densité humide	21,016		22,849		23,287		229,467	
Ph+Tare (g)	21,19	24,54	21,69	22,56	22,92	22,33	25,15	27,3
Ps+Tare (g)	20,77	23,6	21,22	21,3	22,18	21,4	23,86	25,64
Poids de la tare (g)	14,76	14,39	14,76	14,39	14,76	14,39	14,76	14,39
Poids d'eau (g)	0,42	0,94	0,47	0,74	0,74	0,93	1,29	1,66
Poids sec (g)	6,01	9,21	6,46	7,17	7,42	7,01	9,1	11,25
Teneur en eau %	6,988	10,206	72,755	10,32	99,973	13,266	14,175	14,755
Teneur en eau moyenne (%)	857,325		8,798,161		11,619,904		1,446,569	
Densité sèche	1,752		1,759		18,515		17,855	

Annexe 4



UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS

LACS

B.P. 368 Goma

PROVENANCE : GOMA

Faculté des Sciences et Technologies

Appliquées

PRESCRIPTION : Sol volcanique

Laboratoire

de Génie Civil

DATE DE L'ESSAI :19/9/2022

Tableau 3 Poinçonnement du sol de GOMA à l'état naturel (CBR après immersion)

	5X55			5X25			5X10		
	Lecture 1/100mm	F/kg	Kg/cm ²	Lecture 1/100mm	p/kg	p/kg	Lecture 1/100mm	p/kg	P kg/cm
0.2	15			9			7		
0.4	25			15			9		
0.6	33			19			11		
0.8	45			24			15		
1	70			34			25		
1.5	105			45			35		
2	140			57			43		
2.5	170		3,70	70		1,52	50		1,09
3	200			85			55		
3.5	225			100			66		
4	270			130			70		
4.5	310			160			80		
5	370		8,04	185		4,13	90		1,96
6	430			210			96		
7	520			235			102		
8	590			260			110		
9	650			295			181		
10	680			326			192		

Annexe 5

Identification : S370-10/AA/0029

Force Maximum : 50 KN

Déformation maximum : 2,28mm

Déformation mesurée/ Force appliquée

Tableau 4 Table de correspondance [14]

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

0,28	6,09		0,85	18,67		1,42	31,11		1,99	43,70
0,29	6,30		0,86	18,89		1,43	31,33		2,00	43,91
0,30	6,52		0,87	19,11		1,44	31,56		2,01	44,13
0,31	6,74		0,88	19,33		1,45	31,78		2,02	44,35
0,32	6,96		0,89	19,56		1,46	32,00		2,03	44,57
0,33	7,17		0,90	19,78		1,47	32,22		2,04	44,78
0,34	7,39		0,91	20,00		1,48	32,44		2,05	45,00
0,35	7,61		0,92	20,22		1,49	32,67		2,06	45,22
0,36	7,83		0,93	20,43		1,50	32,89		2,07	45,43
0,37	8,04		0,94	20,65		1,51	33,11		2,08	45,65
0,38	8,26		0,95	20,87		1,52	33,33		2,09	45,87
0,39	8,48		0,96	21,09		1,53	33,56		2,10	46,09
0,40	8,70		0,97	21,30		1,54	33,78		2,11	46,30
0,41	8,91		0,98	21,52		1,55	34,00		2,12	46,52
0,42	9,13		0,99	21,74		1,56	34,22		2,13	46,74
0,43	9,35		1,00	21,96		1,57	34,44		2,14	46,96
0,44	9,57		1,01	22,17		1,58	34,67		2,15	47,17
0,45	9,78		1,02	22,39		1,59	34,89		2,16	47,39
0,46	10,00		1,03	22,61		1,60	35,11		2,17	47,61
0,47	10,22		1,04	22,83		1,61	35,33		2,18	47,83
0,48	10,44		1,05	23,04		1,62	35,56		2,19	48,04
0,49	10,67		1,06	23,26		1,63	35,78		2,20	48,26
0,50	10,89		1,07	23,48		1,64	36,00		2,21	48,48
0,51	11,11		1,08	23,70		1,65	36,22		2,22	48,70
0,52	11,33		1,09	23,91		1,66	36,44		2,23	48,91
0,53	11,56		1,10	24,13		1,67	36,67		2,24	49,13
0,54	11,78		1,11	24,35		1,68	36,89		2,25	49,35
0,55	12,00		1,12	24,57		1,69	37,11		2,26	49,57
0,56	12,22		1,13	24,78		1,70	37,33		2,27	49,78

Annexe 6 : Abaque CBR [4]

