

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

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



BP. 368 GOMA

www.ulpgl.net

**ÉTUDE D'AMÉNAGEMENT D'UNE CHAUSSÉE REVÊTUE EN PAVÉS BASALTIQUES
TAILLÉS : Cas du tronçon SANCTUAIRE D'ADORATION -KILOMETRE TÉMOIN dans
le quartier office 2 .**

Par **BARAKA MBAVUGHAVYO GALIEN**

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

Option : Génie Civil

Directeur : Msc. Ir. BISHWEKA Chérif

Encadreur : Ir. GABRIEL KASHALA Djibril

ANNEE ACADEMIQUE 2021 - 2022

Epigraphe

« Un problème sans solution est un problème mal posé »

Albert Einstein

Dédicace

A mes très chers parents KASEREKA MBAVUGHAVYO et FURAHA SIWATULA.

A ma petite sœur FADHILI MBAVUGHAVYO Gaelle

Baraka Mbavughavyo Galien

Remerciements

Je remercie en premier lieu le créateur et maître des temps et des circonstances, Dieu pour son souffle de vie, l'intelligence et toutes les grâces nous accordées gratuitement.

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

Je remercie également tout le personnel Académique et Administratif de la Faculté des Sciences et Technologies Appliquées, en particulier le CT. Ir. BISHWEKA Chérif, notre directeur pour la direction de qualité reçue ; ainsi que l'Ingénieur GABRIEL KASHALA Djibril pour les précieuses aides reçus de sa part ;

Nos sincères remerciements s'adressent également à mes parents et à toute la famille pour leur soutien tant moral, spirituel, matériel que financier qu'ils n'ont cessé de nous accorder, que le très haut, le tout puissant continue de vous bénir pour les efforts fournis pour nos études.

Notre gratitude va à l'endroit de nos amis Huguette, Denver, Grace, Ines, Nicolas, Pascal, Joscelyn, Guelord, Keren, Murphy, Etienne et les autres camarades de promotion pour leur solidarité et leur sens du partage, mille merci à vous.

Enfin que toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail et dont le nom n'a pas été cité, recevez notre gratitude,

Baraka Mbavughavyo Galien

Résumé

Le présent travail consiste à faire une étude d'aménagement d'une chaussée revêtue en pavés basaltiques. Après une étude documentaire des travaux antérieurs et du projet de pavage en cours dans la ville de GOMA, ce travail propose une application technique sur la rue Pangi, cela permet d'une part une jonction rapide du boulevard Julien Paluku et la route Kilomètre -Témoin et d'autre part une contribution aux problèmes de stagnations des eaux pluviales observés dans cette rue. Pour y parvenir, non seulement le logiciel AUTOCAD CIVIL 3D a été utilisé, qui a généré tous les profils et la cubature de cette chaussée, mais également la méthode CEBTP pour le dimensionnement de la chaussée. Les résultats obtenus étant appropriés aux chaussées souples, il était question de les assimiler à la chaussée en pavé car les chaussées en pavés peuvent être assimilés à des chaussées souples. [1]

Mots clés : Aménagement, chaussée revêtue, pavés basaltiques.

Table des matières

Epigraphe	i
Dédicace.....	ii
Remerciements.....	iii
Résumé.....	iv
Table des matières.....	v
Liste des abréviations.....	viii
Liste des tableaux.....	ix
Liste des figures	x
INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre 1 GÉNÉRALITÉS SUR LA CHAUSÉE ET LE PAVAGE	4
1.1 Introduction	4
1.2 Généralités sur les routes.....	4
1.2.1 Terminologie [3]	4
1.2.2 Structure d'une chaussée [4].....	7
1.2.3 Classification des chaussées selon leurs structures.....	8
1.2.4 Fonctionnement des chaussées	9
1.2.5 Sollicitations de la chaussée [1].....	10
1.2.6 Notions de déclivité [5].....	10
1.2.7 Notions de terrassement.....	11
1.2.8 Notions de dégradation de la chaussée [7].....	11
1.2.9 Classification des routes [5].....	12
1.2.10 Catégories des routes [4].....	13
1.2.11 Avantages et importance d'une route	14
1.3 Généralités sur les roches volcaniques et le pavage.....	15
1.3.1 Les roches volcaniques	15
1.3.2 Pavage.....	25
1.4 Matériaux de construction d'une chaussée [9].....	43

1.4.1	Matériaux généralement utilisé pour les projets de construction des routes	43
1.4.2	Les matériaux recommandés pour les différentes couches des routes.....	44
1.5	Assainissement et Etude des eaux	50
1.5.1	Hydrologie de Goma.....	50
1.5.2	Etudes Hydrauliques	50
1.6	Conclusion partielle.....	51
Chapitre 2 METHODOLOGIE ET PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE		52
2.1	Introduction	52
2.2	Localisation du milieu d'étude	52
2.2.1	Vue aérienne	52
2.2.2	Etat de lieu	54
2.3	Études topographiques	54
2.4	Caractéristiques géométriques d'une route [3].....	55
2.4.1	Le tracer routier [3]	58
2.4.2	Profil en long.....	58
2.4.3	Profil en travers.....	59
2.5	Généralités sur la Géodésie et la Topographie [12] [13]	60
2.5.1	Finalité de la topographie.....	60
2.6	Méthodes de dimensionnement.....	61
2.6.1	La méthode américaine de dimensionnement (AASHTO).....	61
2.6.2	La méthode basée sur le CBR.....	62
2.6.3	La méthode CEBTP	63
2.6.4	Méthode basée sur l'indice portant de la plateforme	64
2.6.5	Méthode basée sur la classe de portance des sols	65
2.6.6	Méthode basée sur les classes du trafic [15].....	66
2.7	Terrassement	67
2.7.1	Mouvement de terre	67
2.8	Présentation logiciel civil 3D	68
2.8.1	Fonctionnalités d'AutoCAD C3D [16].....	68
2.8.2	Brève procédure	69
2.8.3	Présentation des résultats	71
2.9	Conclusion partielle.....	71
Chapitre 3 DIMENSIONNEMENT ET PRESENTATION DES RESULTATS.....		72

3.1	Introduction	72
3.2	Levés topographiques [11]	72
3.3	Caractéristiques géométriques [16]	74
3.3.1	Courbe de niveau du site	74
3.3.2	Vue en plan	75
3.3.3	Profil en long	76
3.3.4	Profil en travers type	77
3.3.5	Profil en travers courant PK0+00.00	78
3.4	Dimensionnement	79
3.4.1	Méthode de dimensionnement utilisé	79
3.4.2	Facteurs pris en compte pour le dimensionnement par la méthode CEBTP [15]	79
3.4.3	Épaisseur des différentes couches retenues pour la chaussée [15]	86
3.4.4	Volume des couches [16]	87
3.5	Assainissement	89
3.6	Cubature	90
3.7	Conclusion partielle	91
3.8	Devis estimatif des couts des travaux	92
	Conclusion générale	93
	Bibliographie	95
	Annexes	97

Liste des abréviations

APS : Avant-Projet sommaire

CBR: Californian Bearing Ratio

GNT : Grave Non traité

MTLH : Mélange Traite aux Liants Hydrauliques

OPM : Optimum Proctor modifié

OVD : Office des voiries et drainage

PK: Point Kilométrique

PL: Poids Lourd

PNLM : Programme National de Lutte contre la Malaria

T : Trafic

TC : Transport Commun

TMAJ : Trafic Moyen Annuel Journalier

TMJ : Trafic Moyen Journalier

VL : Véhicule Leger

Liste des tableaux

Tableau 1-1 les caractéristiques techniques des pierres naturelles utilisées dans l'aménagement des espaces publics.....	19
Tableau 1-2 Dimensions des pavés en mm.....	24
Tableau 1-3 Ecart admissibles de pavage	29
Tableau 1-4 Ecarts sur l'épaisseur nominale	29
Tableau 1-5 Écarts sur les irrégularités de la face	30
Tableau 1-6 portance des sols	44
Tableau 1-7 couche de base et de fondation en fonction du trafic.....	47
Tableau 1-8 mélanges des matériaux pour les couches de revêtements	49
Tableau 2-1 Points kilométriques	54
Tableau 2-2 Valeurs usuelles du coefficient d'équivalence (CBR)	62
Tableau 2-3 Classes de trafic définies par le CEBTP en Afrique Francophone.....	63
Tableau 2-4 Les classes de portance de la plate-forme (CEBTP, 1982)	66
Tableau 2-5 Classes de trafic en nombre de véhicules par jour.....	66
Tableau 2-6 Classes de trafic en nombre cumulé de poids lourds.....	67
Tableau 3-1 Levés topographiques [14]	73
Tableau 3-2 coefficient d'équivalence d'essieu de LIDDLE et VERSTRAETEN	80
Tableau 3-3 trafics Poids Lourds par essieux standard.....	82
Tableau 3-4 Classes de trafics poids lourds par jour et par sens	82
Tableau 3-5 Classes de trafic en nombre cumulé de poids lourds.....	83
Tableau 3-6 Prélèvement du trafic par comptage manuel	83
Tableau 3-7 Classe des sols selon la classification française CEBTP	86
Tableau 3-8 Epaisseur des couches recommandées par le CEBTP.....	86
Tableau 3-9 Cubature [16].....	88
Tableau 3-10 Volume des cubes de terre [14]	90
Tableau 3-11 devis estimatif du cout des travaux.....	92

Liste des figures

Figure 1-1 Une plate-forme	4
Figure 1-2 Structure de la chaussée	5
Figure 1-3 Les fossés	6
Figure 1-4 Le devers	6
Figure 1-5 forme et emboitements des pavés [1].....	25
Figure 1-6 Schématisation des contraintes de cisaillement	26
Figure 1-7 Effet de l'épaisseur du lit de pose sur le fonctionnement mécanique de la chaussée pavée	27
Figure 1-8 Lors des pluies ou d'entretien, les eaux pénètrent les joints.....	28
Figure 1-9 Les pressions sur les pavés expulsent l'eau et le sable du bas de la chaussée.....	28
Figure 1-10 Les sables sont expulsés et déposés sur les pavés.....	28
Figure 1-11 Représentation d'une couche de forme du sol.....	32
Figure 1-12 Pression unitaire sur la chaussée	32
Figure 1-13 Appareillage en queues de Paon	34
Figure 1-14 Appareillage en arceaux	35
Figure 1-15 Appareillage en rangs droites à joints décalés.....	35
Figure 1-16 Appareillages en opus incertum	36
Figure 1-17 Utilisation des joints en mortier	37
Figure 1-18 Dispositif de blocage des rives.....	39
Figure 1-19 Dispositif de drainage souterrain	40
Figure 2-1 image satellite rue pangi [11]	53
Figure 2-2 introduction devers.....	57
Figure 2-3 profil en long	59
Figure 2-4 profil en travers	59
Figure 3-1 Courbe de niveau du site [16]	74
Figure 3-2 Vue en plan de la rue pangi [16]	75
Figure 3-3 Profil en long de la rue Pangi [16]	76
Figure 3-4 Profil en travers type	77
Figure 3-5 Profil en travers courant	78
Figure 3-6 Catalogue CEBTP	98

Figure 3-7 Essai CBR (laboratoire national des travaux publics).....99

INTRODUCTION GENERALE

Les routes, sont des voies terrestres permettant de relier des points entre-eux, des villes entre-elles et assurent une circulation fluide des véhicules automoteurs et des piétons dans les conditions optimales de sécurité durant la période d'exploitation.

Le développement d'un pays est conditionné par la construction et la réhabilitation des infrastructures de transport, principalement des routes, celles-ci auront un impact direct sur l'économie, l'agrandissement des villes et la valorisation des certains milieux dans le genre de celui sur lequel nous travaillons. Ainsi le renforcement des infrastructures routières permettra le redressement économique et le désenclavement de plusieurs régions de notre pays, la République Démocratique du Congo car la majorité des routes qui desservent les périphéries des villes et les villages sont en terres battues.

La théorie évolutive des routes est étroitement liée à l'avancée technologique car au début celles-ci étaient faites en terre et présentaient toutes le défaut de dégradation rapide. Les civilisations romaines et chinoises sont en effet pionnières de l'aménagement d'infrastructures, qu'elles soient viaires (la fameuse route de la soie en Chine et la Via Apia en Rome antique construite en 312 av. J-C) [2] ou bien d'adduction d'eaux potable ; D'ailleurs, leur conception leur a permis de laisser des traces jusqu'aujourd'hui.

Il sied de noter que l'histoire des routes est aussi liée à la volonté d'expansion des royaumes et empires, c'était un besoin de l'armée. Il est alors nécessaire de pouvoir déplacer des troupes et le matériel rapidement à travers de nouveaux pays.

La durée de vie de ces routes étant courte, les études d'ingénieurs à l'instar de MACADAM ont amélioré la technique routière en contribuant à l'apparition de types de chaussées revêtues que nous connaissons aujourd'hui (souples, semi-rigides, rigides, ...).

Le revêtement des chaussées en pavés (qui fait l'objet de ce travail, est un revêtement des surfaces qui existe depuis l'antiquité en Europe et qui continue à être utilisé aujourd'hui avec le développement des voies piétonnes dans le centre des grandes villes ; mais signalons qu'il n'a toujours pas été considéré comme premier choix contrairement au macadam, enrobé ou en béton bitumineux.

En République Démocratique du Congo, le revêtement des chaussées ou pavage connaît un grand essor avec le début du programme national de lutte contre la malaria (PNLM) financée par la Banque Mondiale dans la lutte contre les eaux usées et les eaux stagnante considérée comme principales causes du Paludisme communément appelé MALARIA.

C'est dans ce contexte que ce travail propose une étude d'aménagement d'une chaussée en pavés basaltiques taillés sur le tronçon sanctuaire d'adoration – kilomètre témoins communément appelé rue Pangî.

L'intérêt de cette étude sur cette route vise le développement urbain et infrastructurel de la ville de GOMA mais aussi l'augmentation de la valeur marchande des parcelles de cette zone, sans oublier l'éradication des maladies causées par les eaux usées, les eaux stagnantes et les poussières. Cette voie pourrait être utilisée comme route secondaire dans la diminution des embouteillages des routes principales.

Ceci dit, j'ai trouvé lors de mes descentes les défis suivants :

Les habitants de la rue Pangî sont quotidiennement confrontés à divers problèmes :

1. Les eaux stagnantes en période pluvieuse
 - Il est difficile pour les usagers d'accéder au lieu de culte (sanctuaire d'adoration et paroisse Saint Joseph)
 - Les commerçants ont des difficultés à écouler leurs marchandises à cause des eaux stagnante devant leurs lieux de travail.
2. Accident de circulation lors des convois sécurisés des prisonniers vers la prison MUNZEZE suites aux excès de vitesse et à l'absence des dos d'ânes
3. Embouteillages dû à l'absence des trottoirs pour piétons et les étalages des vendeurs à la sauvettes favorisent les embouteillages, empêchant ainsi les ambulances à acheminer les patients rapidement et sûrement au centre pour handicapés...
4. Maladies
 - L'insalubrité de cette route expose les habitants à des maladies tels que le choléra et la malaria.

- En saison sèche, les poussières soulevées par les engins se déposent sur les aliments (souvent non couverts) que les enfants consomment comme collation, ceci est la source de nombreuses maladies.
5. Amortissement rapide des engins pratiquant cette route suites aux nombreux nids des poules.

Pour résoudre les problèmes cités, l'utilisation des pierres basaltiques est la meilleure des solutions car c'est un matériau disponible et accessible à GOMA, un milieu volcanique, le faible coût de réalisation et d'entretien du projet par rapport à d'autres types de chaussée est l'un des nombreux avantages que nous offre cette roche.

La méthode descriptive permet de décrire le milieu d'étude dans sa situation actuelle.

La méthode déductive permet d'utiliser des formules préétablies selon un catalogue pour effectuer le calcul et le dimensionnement de la structure (la chaussée).

Hormis l'introduction et la conclusion générale, le travail sera composé de 3 chapitres suivants :

Chapitre 1 : généralités sur la chaussée et le pavage

Chapitre 2 : présentation du milieu d'étude et méthodologie.

Chapitre 3 : dimensionnement et présentation des résultats.

Chapitre 1

GÉNÉRALITÉS SUR LA CHAUSÉE ET LE PAVAGE

1.1 Introduction

Dans ce chapitre, il est question de présenter le tronçon en étude à l'aide d'une vue satellite, donner quelques notions topographiques qui ont frappé notre curiosité, définir certains vocabulaires intervenants dans la construction des routes et donner d'une manière générale la constitution d'une chaussée et autres notions y relatives.

1.2 Généralités sur les routes

1.2.1 Terminologie [3]

- **Le terrain** : c'est le support sur lequel est construite la route. Il est à l'état naturel (emprise)
- **L'emprise** : est la surface du terrain appartenant à la collectivité et délimite le domaine public. La route peut être à chaussée unique ou à chaussées séparées par une terre - pleine centrale.
- **L'assiette** : est l'espace du terrain réellement construit pour créer la route (y compris les talus) ; c'est-à-dire dans les limites des terrassements ;
- **La plate-forme** : c'est la partie comprise entre les fossés ou les crêtes des talus en remblais, comprend les accotements plus la chaussée (éventuellement y compris terre – plein et voies auxiliaires).

Les différentes parties sont illustrées sur l'image suivante Figure 1-1

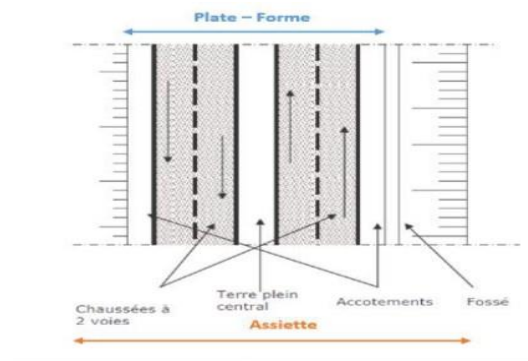


Figure 1-1 Une plate-forme [4]

1. **La chaussée** : géométriquement, la chaussée est la partie de la route sur laquelle circulent les véhicules ; structurellement, il s'agit d'un tout formé de différentes couches structurales d'une route comprenant de haut en bas : les couches de surfaces (les couches de liaison et de roulement), les couches d'assises (couches de base et de fondation) et la plate-forme support de la chaussée (sol support et la couche de forme). La Figure 1-2 montre les différentes parties de la chaussée.

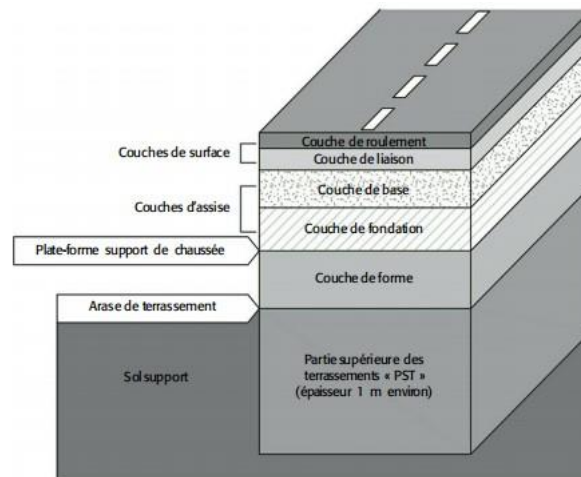


Figure 1-2 Structure de la chaussée [1]

- **Une voie** : est une bande de la chaussée correspondant à une largeur de véhicule et circulée dans un seul sens.
- **Une bande cyclable** : est une bande faisant partie de la chaussée (largeur environ 1,50m), réservée de chaque côté de celle-ci pour la circulation des cycles (pas exclusivement)
- **Une piste cyclable** : est une voie aménagée sur l'accotement, séparée de la chaussée proprement dite par une terre – pleine ou une bordure (ce cas est pris en compte dans des pays où les vélos, motocyclettes et tricycles se comptent sur multi cycle)
- **Les accotements** : sont les zones latérales bordant extérieurement la chaussée et peuvent être arasés ou surélevés.
- **Une voie d'arrêt (bade de stationnement)** : est une bande auxiliaire adjacente à la chaussée, destinée au freinage et à l'arrêt de véhicules en panne (elle est appliquée sur les voies publiques les plus fréquentées par le transport en commun).
- **Les trottoirs** : sont des accotements spécialement prévus pour la circulation permanente des piétons : ils sont généralement séparés de la chaussée par une bordure surélevée.

- **Les bordures** : sont des dispositifs de séparation ou de limite de long de voies ou chaussées. Elles sont en béton coffré, pavés, pierre taillée ou en béton bitumineux. Elles peuvent être en arasées ou surélevés.
- **Les fossés maçonnés, les caniveaux et les saignées** : sont des dispositifs placés après les accotements et sont destinés à l'évacuation des eaux sur la chaussée. Voici quelques exemples sur la Figure 1-3.

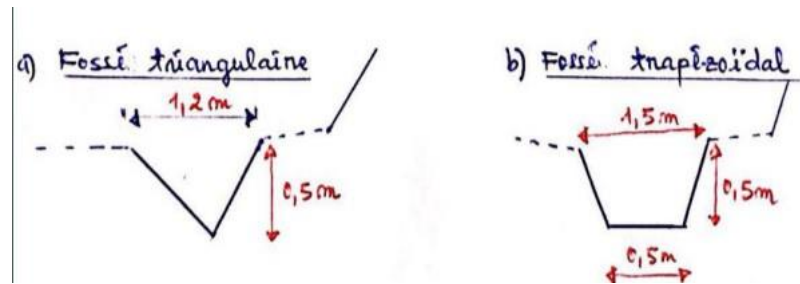


Figure 1-3 Les fossés [3]

- **La banquette** : est une surélévation (petite digue de terre) aménagée à la limite extérieure de l'accotements en vue de la sécurité des usagers.
- **Routes-en déblais ou en remblais** : une route est dite en déblais lorsqu'elle est construite en dessous du terrain naturel, et en remblais dans l'autre cas.
- **Le devers** : est une inclinaison transversale de la route. Voici une illustration sur la Figure 1-4

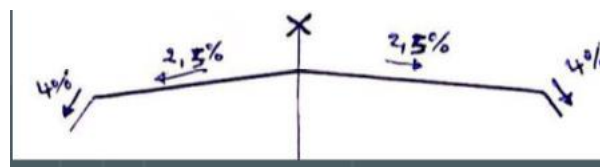


Figure 1-4 Le devers [3]

- **Le talus** : est la partie de la route entre l'accotement et le fossé. Il peut être en remblais ou en déblais.
- **Ouvrages de drainage** : il s'agit d'ouvrages en BA ou en béton ayant pour rôle l'évacuation des eaux de ruissellement hors de l'emprise.
- **Ouvrages d'assainissement** : il s'agit d'ouvrages en BA ou en béton ayant pour rôle de protéger l'emprise des effets nocifs de l'eau.

- **Exutoire** : fossé de grande dimension permettant de recueillir les eaux collectées par le dispositif de drainage dans le but d'évacuer de la route les eaux de ruissellement.

N.B : Dans la conception de routes modernes, on utilise de plus en plus les glissières de sécurité à la place de la banquette.

1.2.2 Structure d'une chaussée [4]

Une chaussée est définie comme une surface traitée de la plateforme affectée à la circulation des véhicules automoteurs, conçue et dimensionnée pour garantir l'écoulement du trafic dans les conditions suffisantes de sécurité et de confort pour les usagers tout au long de la durée de service prévue.

D'une manière générale, Une chaussée est constituée d'une superposition de couches de différents matériaux dont l'ensemble est appelé superstructure et reposant sur une infrastructure.

- **L'infrastructure** : est le terrassement nécessaire à la constitution de l'assise de la superstructure, son sol est soit le terrain naturel (convenable) soit un sol à consolider (à traiter par liant).

Rôle : Sa préparation vise à niveler le terrain pour la mise en place d'une superstructure d'épaisseur constante, présenter une surface de roulement apte à recevoir les engins pendant la construction, réduire le risque de remontée d'eau dans la fondation.

- **La superstructure** : elle est constituée de l'ensemble des couches de matériaux dont celle de fondation, de base et de revêtement.

Rôle : supporter les charges de trafic et de les répartir à tous les niveaux de contraintes supportables par l'infrastructure ; doit être en mesure de supporter les agressions des éléments du climat.

La superstructure est constituée de :

- a) **La couche de fondation** : est celle au-dessus de la plate-forme et fait la répartition homogène des contraintes sur le sol support.
 1. Celle-ci doit être bien compactée afin d'éviter les tassements et doit avoir un CBR > 30%.
 2. Il faut noter qu'entre la superstructure et l'infrastructure est placée une couche transitoire assurant l'anticondensation, le drainage de la fondation, l'empêchement de la remontée capillaire de l'eau provenant de la nappe phréatique.

- b) **La couche de base** joue le rôle de supporter les charges transmises par le revêtement, de servir de couche rigide pour le compactage de la couche de roulement et de neutraliser les effets négatifs des agents atmosphériques. Son CBR doit être supérieur à 80% et est faite en graveleux naturels ou concassés, de granularité dense ou ouverte.
- c) **La couche de revêtement ou de surface** : elle est généralement faite en BB (béton bitumineux) dans les pays tropicaux et en béton de ciment dans les pays nordiques à cause du froid.

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

1.2.3 Classification des chaussées selon leurs structures

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

- **Chaussées souples ou flexibles**

On appelle « chaussée souple », une chaussée supportant des déformations remarquables étant donné que les sols et les matériaux pierreux la constituant ont une granulométrie étalée ou serrée d'une part et la présence d'un liant hydrocarboné qui donne la cohésion en établissant une liaison souple entre les grains de matériaux pierreux d'autre part.

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

- **Chaussées rigides**

La chaussée rigide est celle qui n'admet pas de déformations importantes contrairement à celle dite souple. On parle d'une chaussée rigide lorsqu'une structure routière est constituée d'une ou plusieurs couches en béton de ciment ou en macadam cimenté d'au moins 12 cm.

C'est donc une chaussée comportant une dalle rigide de grande dimension et qui répartit directement les efforts sur le sol de fondation. La différence avec une chaussée rigide et souple au niveau de la succession des couches et du comportement qui, est respectivement d'une couche en un seul bloc et élastique pour la première et des couches élasto-plastiques dont la rigidité augmente de bas vers le haut

pour la deuxième. Les couches de base et de roulement peuvent former une seule et même couche appelée **couche de vase-roulement**.

- **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 d'une couche de fondation granulaire.

La couche de base diffuse et atténue les efforts transmis par sa rigidité élevée offerte par le liant hydraulique.

- **Structures mixtes**

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

- **Structures inverses**

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

- **Les chaussées ou structures bitumineuses**

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

1.2.4 Fonctionnement des chaussées

Les efforts principaux agissant sur la structure de la chaussée sont essentiellement :

Les efforts verticaux à la surface de roulement (dus au poids de véhicules) et les efforts horizontaux tangentiels (essentiellement aux forces de freinage).

Les efforts verticaux s'appliquent avec la charge de l'essieu qui est de 13T sur une surface de déflexion pris en compte dans le dimensionnement. Les efforts horizontaux par contre sont généralement causés par l'opération de freinage ou encore les frottements de la roue avec chaussée (accélération, décélération) sans oublier la force centrifuge agissant transversalement à la chaussée.

1.2.5 Sollicitations de la chaussée [1]

D'une manière générale, les routes revêtues sont soumises à des sollicitations qui sont due soit :

- **Aux efforts verticaux** : dû au poids de véhicules et qui ont pour effet d'abraser (usure par frottement, gratter) et d'écraser les matériaux en surface, de déformer la chaussée si le terrain sous-jacent à une mauvaise portance et si l'épaisseur de la fondation de la chaussée est insuffisante ;
- **Les efforts transversaux** : lorsqu'un véhicule entre dans le virage ; il est soumis à l'action de la force centrifuge qui tend à le faire glisser latéralement vers l'extérieur de la courbe provoquant les arrachements transversaux de matériaux qui finissent par constituer un bourrelet sur la largeur ;
- **Les efforts tangentiels** : lorsqu'un véhicule roule sur une chaussée, ses roues y prennent appui et lui font subir des efforts d'arrachement et d'écrasements (traces aux virages, parfois longitudinales) ;
- **Aux freinages** : le système de freinage des véhicules peut être soit verticale, ou soit tangentielle ; Ces deux sollicitations sont déterminées par la rugosité qui est le frottement où une usure de la chaussée de l'ordre de 15% pour les faux matériaux, l'usure recommandé est de 10% pour les bons.

1.2.6 Notions de déclivité [5]

La déclivité est la ligne du projet selon qu'elle va dans le sens de montée (rampe) ou dans le sens de descente (pente).

Pour la tracer, on s'efforce de monter le moins possible afin d'éviter le dépassement de la déclivité maximum de la région intéressant l'étude.

- **Déclivité minimum**

Soulignons que pour des raisons d'assurer un bon écoulement des eaux pluviales, une déclivité horizontale dite « palier » doit être évitée. Ainsi donc, l'eau qui sera accumulée latéralement devra être évacuée longitudinalement avec facilité.

La déclivité minimum est : $P_{min} = 0,5\%$, de préférence 1% ; Certains auteurs proposent dans des localités d'utiliser $P_{min} = 0,3\%$ voire 0.2%.

Dans les localités urbaines où par exemple le sol est sablonneux, la déclivité minimum conseillée est de 0,5% de préférence 1%.

- **Déclivité maximum**

Sur un tronçon de route, la rampe maximum est celle qui ne permet plus au véhicule d'avancer (et ou commence à patiner), c'est-à-dire que théoriquement, l'adhérence est égale à la composante du poids plus les résistances contre le mouvement.

1.2.7 Notions de terrassement

Les terrassements consistent à extraire, à transporter et à mettre en œuvre les sols et les matériaux. Ils commencent par la préparation des sols en vue de donner au terrain une forme et des caractéristiques déterminées correspondant à la nature de la route à construire.

Cubatures des terrassements [6]

a. Mouvement de transport des cubes de terres

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 cout global de transport dépend directement de ces distances, donc de la distance moyenne.

Dans projet routier, la recherche de la distance minimale de transport s'impose donc ; il y a plusieurs méthodes qui ont été élaborées mais nous allons utiliser celle de LALANNE.

b. Principe de la méthode de LALANNE

Chaque cube de déblai ou de remblai est concentré au profil correspondant ; On ne tient pas compte des profils fictifs ainsi que des cubes à réemployer au même profil (cas des profils mixtes).

Les cubes des terres sont représentés graphiquement en plan (dimension 2) c'est pour cela qu'on l'appelle "Epure de LALANNE".

Après cette étude, la ligne optimale de répartition des terres est adoptée : permettant ainsi de calculer la distance moyenne de transport.

1.2.8 Notions de dégradation de la chaussée [7]

Quel que soit l'attention de l'ingénieur sur le choix des matériaux et aux dimensionnements de la structure de la chaussée, les dégradations se manifestent tôt ou tard en compromettant l'utilisation adéquate de la chaussée.

Pour le cas de notre tronçon SANCTUAIRE D'ADORATION – KILOMETRE TEMOIN, on se basera sur les types de dégradations des chaussées non-revêtues par rapport à son état actuel et aussi d'autres types de dégradation des chaussées revêtues parce qu'elle sera aussi du type des dégradations de chaussée revêtue pour notre nouvelle structure.

a. Avant revêtement

Dégradation actuelles (état actuel non revêtue)

Après l'état de lieu de notre tronçon d'étude, on constate que la route est en terre battue avec et avec les dégradations suivantes :

- La flache : tassement de la chaussée au niveau du passage des routes des véhicules. En raison de l'influence de largeur de la chaussée,
- Les nids de poule : sont des trous à la surface de la chaussée pouvant devenir plus tard une flache ;

b. Après revêtement

Pour notre chaussée, nous tiendrons compte à des déformations telles que :

- L'affaissement : variation du niveau du profil ;
- Flache : idem comme on l'a défini tôt :

1°. Les arrachements

- Les nids de poule : ce sont des trous à la surface de la chaussée, stade finale d'un faïençage ou d'une flache, on distingue aussi de nids de poule en chapelé ;
- Les pelades : ce sont des arrachements par plaques des couches de surface ;
- Le plumage : départ de gravillons d'un enduit superficiel.

2°. Les remontées

- Le ressuage : remonté de liant à la surface de la chaussée ;
- La remontée d'eau : apparition des zones humides sur la chaussée

1.2.9 Classification des routes [5]

Les routes sont classifiées selon trois critères importants suivant : le critère technique, le critère administratif et juridique et le critère fonctionnel.

1. Le critère technique

Le critère technique permet de distinguer les autoroutes, les voies express et les voies dites classiques.

2. Le critère fonctionnel

Le critère fonctionnel permet, en ce qui concerne la voirie par exemple, de faire intervenir deux fonctions principales, à savoir, la circulation et la desserte. C'est ainsi qu'on retrouve les classifications suivantes :

- Voirie artérielle (voirie primaire) où la priorité est accordée non pas à la desserte, mais à la circulation. C'est dans cette classe que sont regroupés le boulevard lorsque le parcours est périphérique, sous forme de rocade et les avenues supposées être radiales.

Etant entendu que la fonction principale sur cette voie est la circulation, on y interdit le stationnement, on limite l'accès, on organise et facilite le trafic ; en déterminant les vitesses à atteindre.

- Voirie rapide urbaine (V.R.U)
- Voirie de distribution

Elle se situe entre la voirie de desserte et la voirie artérielle et privilégie à la fois la circulation et la desserte.

3. Le critère administratif et juridique

Du point de vue administratif et juridique pour le réseau routier congolais, on considère pour l'ensemble, les routes nationales et régionales gérées par l'Office des Routes (OR) comme RN (Route d'intérêt Nationale) ; les routes en villes gérées par l'Office des Voiries et Drainage (OVD) comme voirie urbaines les routes en campagne comme les routes de desserte agricole gérées par la Direction des Voies de Desserte Agricole (DVDA).

4. Clarification de certaines notions

Il est important de noter que l'autoroute urbaine ne facilite l'accès des riverains à la voie qu'au niveau des endroits spécialement aménagés à cet effet. Il est prévu sur une autoroute urbaine, un terre-plein central (TPC) séparent les 2 sens de circulation et les intersections avec d'autres voies sont dénivelées. Pour une vitesse de circulation de 60 à 120 km/h, les débits escomptés dans des conditions de circulation non saturé, sont de 800 à 1600 véhicules par heure par file de circulation.

1.2.10 Catégories des routes [4]

Pour chaque catégorie de voie routière, il existe une relation entre la situation géographique (centre-ville, périphérie, zone rurale, ...), la vocation de la voie et la présence plus ou moins des réseaux enterrés.

a. Les voies de transit, interurbaines ou périurbaines

Ce sont des voies situées en périphérie d'agglomérations, avec une vocation de trafic de transit au sein de la ville. Elles peuvent jouer le rôle de contournement de centres urbains ou des servir les zones industrielles importantes. Ici le trafic notamment celui des poids lourds est très élevé.

b. Les voies de liaison, structurantes ou pénétrantes

Elles permettent à la fois de structurer l'agglomération tout en assurant des liaisons internes à celle-ci. Elles sont situées en zone agglomérée et traversent celle-ci du Nord au Sud ou d'Est en Ouest. Le trafic peut être moyen ou très important avec une proportion de véhicules lourds très variable et le pourcentage de véhicules en commun parmi les poids lourds peut être relativement élevé.

c. Les voies de distribution

Elles ont pour rôle d'assurer l'irrigation des quartiers des voies structurantes, le trafic est modéré avec une faible proportion des poids lourds.

d. Les voies de desserte

Elles ont pour vocation principale ou unique en zone urbanisée la desserte fine des riverains du quartier. Ici aussi le trafic est modéré avec quelques véhicules lourds.

1.2.11 Avantages et importance d'une route

1. Avantage d'une route

La construction d'une route tient compte de l'évolution du trafic et aussi des bénéfices que la construction d'une route durable génère dans une région donnée, à savoir :

a. Avantages directs :

1. Réduction des frais d'entretien de véhicules ;
2. Maximisation (optimisation) du temps

b. Avantages indirects :

1. Augmentation des activités commerciales, industrielle et agricoles ;
2. Mise en valeur de certaines ressources naturelles (foret, gisement, carrière, etc.) ;
3. Valorisation des terrains ; d'habitation et d'autres.
4. Augmentation de tourisme ;
5. Assurance sur le plan sécuritaire qui pourra permettre d'atteindre le coin en danger.

2. Importance d'une route

Le décollage socio-économique, industriel d'un pays dépend des voies de communication qu'il dispose praticables en toutes saisons :

- a) Sur le plan social : la route facilite :
 - La communication et la fréquentation des gens les uns, les autres ;
 - L'implantation des œuvres sociales, bénéfiques aux populations (exemple centre de santé, école, centre de formation).
- b) Sur le plan économique : elle permet :
 - L'évacuation des produits agricoles du lieu de production vers les centres de consommations ;
 - L'approvisionnement de campagnes en produits manufacturés.
- c) Sur le plan politico-administratif

La route facilite le contact entre les autorités politico-administratives et leurs administrées.

1.3 Généralités sur les roches volcaniques et le pavage

1.3.1 Les roches volcaniques

1. Définition

Les roches (du latin populaire Rocca) sont des matériaux naturels généralement solides et formés, essentiellement ou en totalité, par un assemblage de minéraux, comportant parfois des fossiles (particulièrement dans les roches sédimentaires), du verre résultant du refroidissement rapide d'un liquide (volcanisme, friction) ou des agrégats d'autres roches.

La notion de la roche comprend tous les types des matériaux constituant l'écorce terrestre y compris les sols meubles.

La nomenclature est plus complexe que celle des minéraux, aucun système de classification ne fait l'unanimité pour cette étude. Les noms donnés aux roches, au cours du développement de la description des roches et l'analyse de leurs caractères structuraux, sont relatifs : soit à leur composition minéralogique soit à leur morphologie extérieure soit à la région où à la localité où elles ont été découvertes ou encore à leur évolution.

A la différence des minéraux, les roches ne se développent pas les unes à côté des autres indépendamment, toutes les transitions peuvent exister entre les roches généalogiquement voisines.

La classification des roches reste complexe, car elle est basée sur un grand nombre de critères. La roche présente une grande diversité d'aspects

2. Différents types d'aspects d'une roche

- Souvent dure et cohérente : elle est dénommée pierre (marbre, granite), caillou, galet, ...

- Friable ou inconsistance à l'image de la craie et du talc pressés sous les doigts ;
- Plastique comme l'argile humidifiée ;
- Meuble à l'exemple du sable qui coule dans le sablier ;
- À la limite liquide, huile, ou gazeuse ;
- Ou perméable comme le calcaire ;
- Ou imperméable comme l'argile.

3. Type de pierres naturelles

Jusqu'à une profondeur d'environ 2900km, notre planète est constituée des roches. Mais au-delà de quelques centaines de kilomètres déjà, ce ne sont plus des roches au sens habituel du terme mais plutôt un matériau cristallisé, formé de silicates ferromagnésiens.

Cette zone porte le nom de manteau par opposition au noyau métallique situé juste au-dessus. Les roches qui nous intéressent et qui nous sont les mieux connues appartiennent à la croûte continentale, cette mince pellicule d'une trentaine de km d'épaisseur qui se trouvent directement sous nos pieds.

La classification fondamentale se base sur l'origine des roches et leur processus de formation (appelé genèse).

4. Classification [8]

On peut classer les pierres naturelles suivant leurs dénominations scientifiques ou leurs dénominations commerciales.

La classification scientifique distingue trois groupes des pierres naturelles :

a. Les roches magmatiques (encore appelées roches ignées) :

Qui sont le produit du refroidissement et de la consolidation des bains silicatés en fusion, appelés magmas. Ce refroidissement pouvant ce faire soit à la surface de la terre (donnant les roches volcaniques), soit au sein de l'écorce terrestre (donnant les roches plutoniques).

Le magma est une roche fondue qui contient des gaz dissous, une espèce de soupe bouillante formée d'atomes en agitation (haute température).

Certaines roches se sont même refroidies si vite que le magma s'est figé sous la forme d'un verre volcanique. Dans un verre, les atomes ne sont pas aussi bien rangés que dans un cristal. La teinte de la roche donne grossièrement une indication sur sa composition chimique. Une roche claire est formée en majorité de minéraux clairs comme la silice, les feldspaths, ... elle est riche en silicium (Si) et en aluminium (Al).

On peut classer les roches magmatiques selon leur mode de formation :

- **les roches volcaniques** (ou effusives), se sont formées très rapidement à la surface de la terre. Elles ont une structure vitreuse ou microcristalline (petits cristaux).
- **Les roches plutoniques** (ou roches de profondeur) se sont formées en refroidissant très lentement dans les profondeurs de la terre. Elles ont une structure grenue avec des cristaux bien visibles.
- **Les roches filoniennes** (ou roches de semi-profondeur) ont une structure intermédiaire, microgrenue. Les cristaux sont minuscules ; le temps de refroidissement de la roche dépend de la différence de température entre le magma et la roche environnante (dite roche encaissante). Ces roches se sont formées lorsque le magma s'est figé en remontant dans des fissures sous forme de filons (d'où leur nom).

La structure de la roche qui se forme dépend de la composition chimique du magma et des conditions de température et de pression qui règne dans le magma. Plus le refroidissement est rapide et plus les cristaux sont petits.

b. Les roches métamorphiques :

Qui sont formées à partir de roches préexistantes essentiellement par des recristallisations dues à des élévations de températures et de pression, qui croissent avec la profondeur dans la croûte terrestre ou au contact d'autres roches et la lave.

On les caractérise Selon leurs propriétés

- Dureté : on peut également classer les roches en trois types, selon leurs propriétés:
 - Les roches meubles comme le sable ou l'argile ;
 - Les roches friables comme la craie ;
 - Les roches cohérentes telles que le granite.

Les roches présentent une dureté qui varie énormément. Le talc et le gypse présentent un indice très faible et s'érodent très facilement. Le corindon et le diamant, quant à eux font partie de roches les plus dures.

- Texture : l'homogénéité des roches varie en fonction des minéraux.

On en distingue quatre types de textures :

- Grenue (granite);
- Porphyroïde
- Microgrenue (batholite) ;

- Vitreuse (basalte).
- Perméabilité : certaines roches sont perméables, c'est-à-dire qu'elles laissent passer l'eau à grande échelle (perméable en petit, sur un petit échantillon) ou à petite échelle (perméable en grand, par des fissures ou diaclases) ; d'autres sont imperméables, telles que l'argile. Les roches poreuses comme le gré, permettent à l'eau de s'infiltrer. Aussi, d'autres roches et minéraux sont solubles :
 - Moins de 0,05gramme par litre de quartz;
 - 1gramme par litre pour les carbonates
 - 2,4 grammes par litre de gypse ;
 - 2,5 grammes pour les sulfates ;
 - 300 grammes par litre de sel gemme.
- Utilisation : les roches servent dans de nombreuses utilisations, notamment :

La laine de roche, excellent isolant thermique et acoustique, à base de roche volcanique ;

- Les pierres à bâtir (pierres de taille et moellons) ;
- Les granulats ;
- Les sculptures et ornements ;
- L'extraction de minerais ; le sel gemme.

c. Les roches sédimentaires

Se sont formées par sédimentation ou dépôt des matériaux entraînés par les eaux de surfaces terrestre. Ces matériaux proviennent de l'altération météorique des roches magmatiques, métamorphiques ou sédimentaires préexistantes. Les dépôts sédimentaires, meubles à l'origine, se sont souvent consolidés par cimentation des grains sous l'influence des divers facteurs. La caractéristique principale des roches sédimentaires est de se déposer généralement sous formes des couches parallèles dont l'épaisseur et la composition peuvent varier. La stratification est mise en évidence par les différences de couches, leur composition, des granulométries et de texture. Parmi les roches sédimentaires on distingue les roches détritiques et les roches physico-chimiques ou biogènes.

- *Les roches détritiques* résultent de l'accumulation des détritiques des roches arrachées à la surface de la terre. Ce sont par exemple, les grès de certains calcaires.
- *Les roches physico-chimiques ou biogènes* sont formées essentiellement par des dépôts des minuscules particules d'eau saturées. Par exemple les calcaires, comme les travertins, sont fermés, par exemple, par précipitation des calcaires dissous dans une eau saturée de ce minéral.

5. Propriétés physiques [9]

Les pierres naturelles sont souvent utilisées pour leur grande résistance aux charges physiques et leurs capacités à résister aux effets climatiques.

Goma, une ville située aux pieds du Nyiragongo, a une surface couverte à plus de 95% par de la lave, ce qui fait que le basalte soit un matériau bon marché pour les travaux de construction.

Le basalte est plus dur et résistant aux agressions chimiques et mécaniques, ces caractéristiques lui permettent des grandes réalisations dans l'espace public. Les caractéristiques techniques des pierres naturelles utilisées dans l'espace public sont reprises dans le tableau Tableau 1-1:

Tableau 1-1 les caractéristiques techniques des pierres naturelles utilisées dans l'aménagement des espaces publics [9]

Type de la pierre	Masse volumique apparente en kg/m ³	Porosité en % vol	Résistance en compression en N/mm ²	Comportement à l'usure en mm/1000m	Application
Pierres bleues	1500-2800	0.28	157.9	2.87	Surfaces forts fréquentées, construction
Marbre	2500-2800	<10	140	3.20	Surfaces forts fréquentées, construction mobilière
Grès	2000-2500	<0.5	260-300	2.82	Surface très forts fréquentées
Schiste	2650-3000	<3	150	4.03	Surface forts fréquentées, construction
Basalte	2800-3000	Très peu poreux	±320		Surface très forts fréquentées

Porphyre	2000-2800	Très peu poreux	±280		Surface très forts fréquentées
Granites	2500-3000	Très peu poreux	±150	0.7-1mm	Surface très forts fréquentées

f. Terminologie, production et étude des formes des pavés [8]

a. Terminologie

- **Une carrière** : une carrière est un site plus ou moins vaste (d'un hectare a plusieurs dizaines) de substance minérale non métallique et non énergétique dont la nature, la quantité et le cubage sont économiquement exploitables.
- **Extraction** : action de tirer ou retirer une chose d'un lieu, d'un corps dans lequel elle s'est formée où introduite. Elle peut être physique (extraction de la pierre, ...) ou chimique (extraction du pétrole, ...)
- **Roche meubles** : les roches meubles sont un type de roche brute qui est extraites d'une carrière. Elles permettent d'obtenir des granulats utilisés dans les travaux des bâtiments et travaux publics. Ces types des roches se trouvent sous forme des sables, d'argiles et des gypses déposés dans le lit d'une rivière ou des mers, ...
- **Roches pulvérulentes** : roches qualifiées par une texture minérale caractérisée par la finisse des grains.
- **Roche alluvionnaire** : roches qui trouvent leur origine par accroissement de terrain qui se fait insensiblement à l'un des bords d'une rivière, ou qui a lieu lorsque la rivière s'en retire et qu'elle prend son cours d'un autre côté.
- **Plan de stratification** : plan de superposition des strates qui sont des couches homogènes d'une roche sédimentaires dont l'épaisseur peut varier de quelques centimètres à quelques centaines des mètres.
- **Plan de clivage** : plans cristallins déterminés par la structure atomique tridimensionnelle de chaque espèce minérale. Il s'agit des faces planes qui suivent l'organisation des minéraux suivant leurs couches atomiques ou de leur symétrie. Les minéraux peuvent se fendre le long de ces faces.

- **Dia fil** : outil de sciage de la pierre constituée d'un fil muni des perles diamantées intercalées entre des ressorts afin qu'il conserve sa souplesse. Pendant le sciage, le câble est arrosé en permanence pour préserver les perles en diamant.
- **Débitage** : action de découper une matière (pierres naturelles) suivant les formes exigées
- **Granulat** : ensemble des matériaux inertes (cailloux, sables, graviers) qui entre dans la composition des mortiers et bétons et pour assises des chaussées.
- **Haveuses** : machine qui exécute la technique d'extraction consistant à créer des entailles dans le plan de stratification afin de détacher la roche plus facilement.
- **Les boules de pierre** : masse de pierre déjà débitée et prête à être transportée aux scieries.

g. Production des pavés

L'obtention des produits commercialisables, pavés, passe par une chaîne d'activité : d'extraction, de transformation et la diffusion de produit avec des techniques différentes selon la nature de roches. La dernière partie de la chaîne dans l'obtention de ce produit, la diffusion de produit ne sera pas abordée ici car elle relève pour l'essentiel des politiques de transport qui sort du cadre de notre travail. Ceci étant, on ne peut pas parler des pavés sans parler de carrière, d'extraction et transformation.

1. Carrière

Une carrière est un site plus ou moins vaste (d'un ou plusieurs dizaines d'hectare) de substance minérale non métallique et non énergétique dont la nature, la quantité et le cubage sont économiquement exploitables.

Géologiquement parlant, les principaux matériaux constituant les carrières des roches sont :

Les roches sédimentaires, les roches cristallines parmi lesquels se distinguent les roches magmatiques plutoniques (les granites), les roches magmatiques effusives (Basaltes) et de roches métamorphiques (gneiss). Il convient de signaler que les carrières parlent des roches éruptives (effusives) pour toutes ces roches, par opposition aux roches calcaires et alluvionnaires. De même, en exploitation de roches est nommée « granit » toute granulaire susceptible de prendre un poli tandis que le terme géologique « granite » commercialement désigne une roche magmatique contenant les minéraux silicatés que sont le quartz, feldspaths et les micas.

Il existe des multiples façons de classer l'exploitation de carrières ; on les classe en fonction :

- Du mode d'exploitation : les carrières à ciel ouvert, les carrières en souterrain.

- Du mode consistance des roches : carrière des roches massives pour extraction des calcaires, granite et du gypse ; carrière des roches meubles pour l'extraction de l'argile, carrière des roches pulvérulente pour l'extraction des sables et roches alluvionnaire.
- Du mode rapport avec le niveau d'eau : carrière « à sec » située au-dessus de la nappe aquifère et « en eau » sous le niveau de la nappe.
- Du mode usage de la substance exploitée : une matière première pour l'industrie (calcaire pour la production du ciment ; les roches ornementales pour la production des marbres, pierre de construction ; granulats pour la production de gravier et des sables utilisés pour les bâtiments et les travaux publics.

a. Extraction de la pierre naturelle

Si la carrière est assez bonne pour la production des produits répondant au besoin pour l'obtention des pavées on peut amorcer le processus d'extraction.

Il existe différents procédés d'extraction en fonction du type de pierre :

- L'extraction par explosif : utilisé principalement pour le granite avec trois étapes de dégrossissage dont le découpage, le débitage qui facilite le transport et enfin le taillage
- L'extraction par découpage : utilisation d'un fil diamanté (dia fil) qui découpe la roche. L'abatage du bloc se fait par l'utilisation « d'oreiller » pour séparer les blocs du massif, un lit de terre est mis en place pour la réception du bloc de pierre.

b. Opérations d'une extraction de la pierre dans une carrière à ciel ouvert

Dans une carrière à ciel ouvert les couches sont séparées naturellement, ce qui donne naissance à une forme des gradins d'une marche et contre géante. La marche géante est appelée banc (banquette).

Les opérations pour l'extraction de pierre dans une carrière à ciel ouvert sont les suivantes :

- **1ère opération** : on exécute des coupes verticales sur la longueur de banc à l'aide des haveuses (bras de la coupe peut atteindre 8 m de longueur) avec une chaîne à segment diamanté qui crée une entaille de 5 cm de longueur du banc sur une profondeur de 7 m.
- **2ème opération** : une perceuse fore un trou parallèle à la surface du banc, grâce à ce trou on peut introduire un fil diamanté jusqu'à la coupe de la haveuse.
- **3ème opération** : découper le banc perpendiculairement à la première coupe avec le dia fil qui scie de haut en bas de tranche de 2 m de large
- **4ème opération** : transport du bloc des pierres, après découpage le bloc est séparé du massif il est poussé sur un lit de terre ou coussins mis en place pour sa réception. Les boules étant trop

volumineuse (300T environ) sont lourde et donc trop difficile à être transportées telle quelle. On les divise au niveau des joints de sédimentation par de carter hydraulique, les divisées sont ensuite apportées pour être sélectionner. Ceux qui conviennent aux scieries sont transportées jusqu'à l'usine, les déchets sont abandonnés et affectés aux autres travaux.

Ici à Goma, on fait l'extraction des pierres d'une manière artisanale dans des carrières à cieux ouverts. On ne se sert que d'un carter hydraulique ou d'une foreuse pour séparer une petite masse de la pierre du massif, ces petites masses sont vendues en camions bennes pour servir dans la construction des fondations des bâtiments, des clôtures et servent aussi dans le remblayage des sous-couches des pavements. La ville étant battue au-dessus d'une pierre, l'exploration de celle-ci peut se faire partout ; c'est ainsi qu'on voit certains maitres d'ouvrage commencer par l'extraction des pierres dans leur parcelles avant de commencer la construction. Parmi les carrières explorées en ville de Goma, nous pouvons donner l'exemple de la carrière de TURUNGA et celle de MUBAMBIRO qui sont de type ciel ouvert.

c. Transformation et façonnage

Il permet de donner l'aspect et la forme finale à la pierre, les pierres sont sciées avec des scies à plusieurs lames pour les épaisseurs de 2 à 10 cm ou avec des scies circulaires, en suite on pratique la finition (polissage...)

Plusieurs types de surfaçage peuvent être réalisés, on peut les résumer de la manière suivante :

- Surfaçage fin : traitement de surface qui donne un écart maximal de 0.5 mm entre les bosses et creux par exemple le polissage, adoucissage ou sciage avec un disque diamanté ou une lame ; l'utilisation de pavés sciés améliore le confort de la marche.
- Surfaçage adouci : finition mate ou polie non brillante.
- Surfaçage en relief : traitement de surface qui donne un écart minimal de 2 mm entre les bosses et les creux.
- Remplissage : finition consistant en bosses et creux, réalisée en employant une boucharde à quatre dents.
- Taille à l'outil : finition résultant d'un traitement de surface mécanique et montrant les marques d'outils.
- Finition brute de fendage : état d'une surface fendue non travaillée.

d. Etude des formes [1]

- Définition

On appelle pavé tout élément utilisé comme matériau de pavage dont les dimensions nominales sont comprises entre 50mm et 300mm et dont aucune dimension en plan ne dépasse en général deux fois l'épaisseur. L'épaisseur nominale minimale est de 50mm. Les pavés et pierres naturelles sont généralement de forme cubique. Ils peuvent être de différentes dimensions, de 6 à 20cm de côté.

La taille est fonction de la nature des roches utilisées et de la vocation de la zone pavée (chaussée, cheminement, rue piétonne...).

- Dimensions des pavés

Le choix de dimension est surtout réalisé par le concepteur, s'il souhaite la réussite à long terme du projet il doit prendre en compte toute une série des conditions. De manière générale, on peut déclarer que pour conférer une longue durée de vie au pavage, l'épaisseur des pavés et ses dimensions doivent être adaptées à l'application prévue. Ces choix seront réalisés en fonction des formats normalisés pour pavage présenté dans le Tableau 1-2 :

Tableau 1-2 Dimensions des pavés en mm [1]

Longueur	Largeur	Epaisseur
220	73	80
220	110	80
220	110	100
220	110	120
220	220	80

Pour ce travail, les pavés de forme parallélépipède rectangle seront utilisés, ces pavés sont solides et ont six faces rectangulaires ; de longueur 22cm, largeur 11cm et d'épaisseur 8cm, le choix de ce format a été imposé par le trafic qu'on aura à développer dans la suite. On peut avoir aussi des pavés en béton, ils sont moulés et ont des formes régulières. Ils s'imbriquent parfaitement les uns dans les autres rendant les joints facultatifs. En plus des différentes finitions possibles, ils peuvent également être teintés suivant une large palette des couleurs.

Parmi les pavés en béton, on trouve les pavés autobloquants, leur forme apporte l'avantage de non glissement des éléments.

1.3.2 Pavage

A travers l'histoire, nous apprenons que la technique de chaussées pavées existe avant l'emploi du goudron et du bitume dans les travaux routiers. Par ailleurs, cette technique de pavage, a des nombreux avantages entre autres le faible coût d'entretien. Nous allons remarquer que si le pavage est bien fait, il peut durer plusieurs années.

On appelle **pavé** tout élément utilisé comme matériau de pavage dont les dimensions nominales sont comprises entre 50 mm et 300 mm et dont aucune dimension en plan ne dépasse en général deux fois l'épaisseur. L'épaisseur nominale minimale est de 50mm

1. Les éléments constitutifs d'une chaussée revêtue en pavés basaltiques [1], [6]

Un revêtement de pavés basaltiques est un revêtement discontinu constitué de pavés basaltiques séparés par de joints généralement remplis de sable qui permet de combler les vides laissés par les pavés, cet ensemble repose sur un lit de pose. Le transfert de charge d'un pavé est assuré par la présence de ces joints et permet à la structure d'avoir un comportement d'une chaussée. Il serait donc important de parler dans la suite, des éléments constitutifs de cette chaussée.

a. Les pavés

La hauteur d'un pavé joue un rôle important dans le transfert de charge et donc dans le développement de l'orniérage. Malgré la même origine des pierres présentes à Goma, il existe une grande différence sur le niveau d'aspect extérieur de la pierre. Ce dernier est fonction de plusieurs paramètres comme le démontre la Figure 1-5

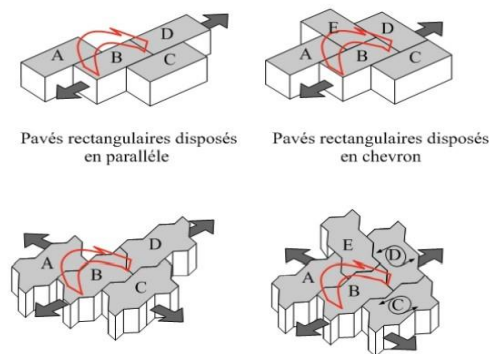


Figure 1-5 forme et emboitements des pavés [1]

b. Les joints [1]

Les joints ont un rôle prépondérant dans la bonne tenue de revêtement de pavés basaltiques car ce sont eux qui permettent le transfert de charge d'un pavé à l'autre. L'étude des joints doit porter sur les deux approches à savoir : la facilitation du comportement souple de la chaussée (flexibilité) et l'imperméabilité de celle-ci.

L'étude d'Ishioroshi et coll. (1996) montre que la diminution de la taille des joints permet un meilleur comportement du revêtement.

L'étude de Menegez Muller et coll. (2006) montre que le phénomène d'auto blocage dépend de l'épaisseur des joints.

Selon Beaty (2000), les joints doivent être suffisamment larges pour permettre au revêtement d'avoir un comportement flexible, mais pas trop larges afin d'éviter le déplacement des pavés les uns par rapport aux autres (orniérage longitudinal).

Globalement, la largeur doit être comprise entre 2 et 4mm. Sous l'effet des intempéries et du passage des roues qui créent des déplacements et rotations des pavés (orniérage), le sable des joints des pavés compris entre 2 et 4mm. Voici une illustration de l'effort sur la Figure 1-6

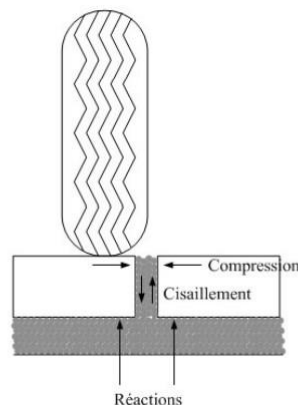


Figure 1-6 Schématisation des contraintes de cisaillement [1]

e. Les bordures [1]

Les bordures doivent être correctement installées afin de prévenir les déplacements latéraux des pavés et ainsi éviter au sable des joints et du lit de pose d'être évacué. Ceci provoquerait alors une perte de résistance mécanique de la structure au niveau du revêtement. D'après l'étude de Panda et Ghosh (2002) pour une même taille de joint, l'absence des bordures augmente grandement la valeur de la déflexion du fait que les pavés ne sont pas retenus et peuvent tourner et bouger les uns par rapport aux autres.

Les bordures peuvent soit être payés auprès des vendeurs de la place ou soit les exécutants peuvent les fabriquer.

Pour les poser, on utilisera un béton avec une teneur de ciment de 350 kg/ m³.

Il est à souligner que les pavés des rives seront aussi scellés dans du béton afin d'assurer la rigidité de l'ensemble.

d. Le lit de pose [1]

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

Une hauteur de lit de pose adéquat est un facteur important. CIMbeton (2002) propose une schématisation de l'effet de la hauteur du lit de pose présentée sur Figure 1-7 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.

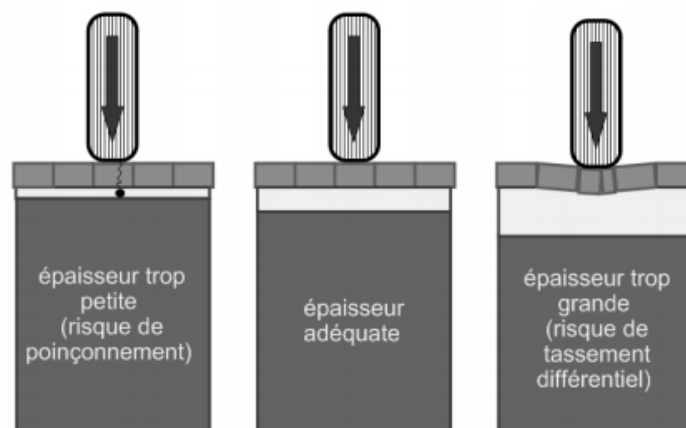


Figure 1-7 Effet de l'épaisseur du lit de pose sur le fonctionnement mécanique de la chaussée pavée

[1]

Une de exigences très capitales pour la construction d'une chaussée revêtue des pavés basaltiques est la perméabilité. Pour ce qui est de la perméabilité du lit de pose, lorsque le module de finesse augmente, la perméabilité diminue grandement (Bullen et Knapton)

Knapton (1994) et Dowson (2000) expliquent ce phénomène par l'empilement des grains de sable. La disposition des grains de sable dépend de plusieurs paramètres tels que la taille, la forme, la rugosité des particules ainsi que de la granulométrie du système considéré. Cette disposition des particules va alors jouer un rôle important sur l'indice des vides et donc la perméabilité du système.

Les résultats d'essai montrent que pour le sable contenant plus de fines, le flux d'eau entraîne les particules fines avec lui. C'est la raison pour laquelle le sable utilisé doit avoir une bonne propreté lors de l'équivalent sable pour qu'en cas de présence d'un flux d'eau, que celui-ci ne l'entraîne pas.

Lorsque l'eau pénètre le lit de pose et que le sable atteint son point de saturation, le passage des véhicules crée une vibration qui modifie la disposition des grains. Ainsi, l'eau libre se retrouve expulsée entre le dessous des pavés et le dessus du lit de pose créant ainsi l'expulsion du sable des joints comme le montre les figures :

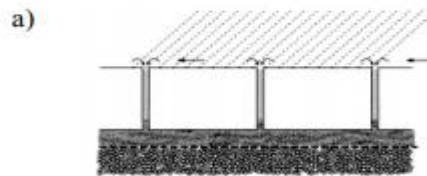


Figure 1-8 Lors des pluies ou d'entretien, les eaux pénètrent les joints [1]

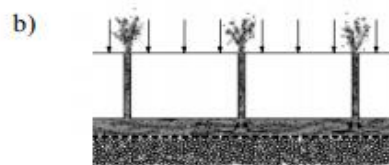


Figure 1-9 Les pressions sur les pavés expulsent l'eau et le sable du bas de la chaussée [1]

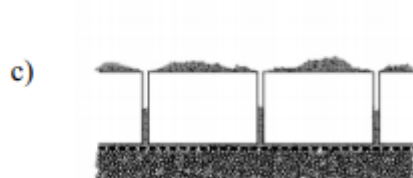


Figure 1-10 Les sables sont expulsés et déposés sur les pavés [1]

La perméabilité du sable du lit de pose est un facteur très important pour une chaussée revêtue des pavés.

C'est pourquoi le revêtement de pavés doit être convenablement dimensionné et mis en place de sorte que le lit de pose ne soit pas affecté par l'humidité.

Après analyse, le sable du Rwanda est le choix de sable du lit de pose et des joints.

Signalons qu'il serait convenable de prendre le sable en provenance du Rwanda, le sable de classe II et III.

e. Les assises [1]

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

2. Tolérances dimensionnelles

Le granitier doit déclarer les dimensions nominales des pavés sauf lorsque ceux-ci sont fournis en dimension libre.

Ecarts admissibles

Ecarts sur les dimensions en plan

Tableau 1-3 Ecart admissibles de pavage [5]

Entre 2 face clivées	±15mm
Entre une face surfacée et une face clivée	±10mm
Entre deux face surfacées	±5mm

3. Ecarts sur l'épaisseur

L'écart par rapport à l'épaisseur nominale doit être conforme aux valeurs du tableau suivant :

Tableau 1-4 Ecarts sur l'épaisseur nominale [5]

Désignation de marquage	Classe1	Classe2
	T1	T2
Entre deux faces clivées	±30mm	±15mm
Entre une face surfacée et une face clivée	±30mm	±10mm
Entre deux face surfacées	±30mm	±5mm

Lorsque les pavés sont disposés en éventail (en queue de paon), il est nécessaire en plus des pavés cubiques, de prévoir un certain nombre de pavés trapézoïdaux et rectangulaires.

Pour les pavés destinés à cet usage, la livraison peut comprendre 10 % au maximum de pavés dont les dimensions dépassent de 10 mm au plus les écarts admissibles. Dans tous les cas, l'épaisseur des pavés doit être respectée. Si les pavés ne sont pas disposés en éventail, une note précisant ce point doit être fournie au moment de la commande.

A) Démaigrissement des chants clivés

L'écart de perpendicularité d'une face latérale ne doit pas dépasser 15 mm par rapport à la face considérée.

B) Irrégularités de la face clivée ou surface en relief

Les creux et les bosses ne doivent pas dépasser les écarts indiqués au tableau ci-dessous :

Tableau 1-5 Écarts sur les irrégularités de la face [5]

Clivée	Surfacée
5mm	3mm

4. Sortes de pavages

a. Pavages réguliers et semi-réguliers

On dit qu'un pavage est régulier si tous les pavés sont isométriques (superposables).

Autrement dit, tous les pavages sont du même modèle. On dit qu'un pavage est semi-régulier lorsqu'il y a un nombre fini de modèles de pavés. Autrement dit, lorsqu'il existe des pavés P1, P2, ..., Pn tels que tout pavé du pavage est superposable à l'un de ces n pavés.

b. Pavage par pierres sèches

Cette méthode est la plus utilisée car étant la moins couteuse et la plus simple à réaliser.

Pour réaliser ce type de pavage, on procède comme suit :

- Faire le quadrillage de la surface à exploiter et y mettre le sable qui soutiendra les pierres sur un sol stable.
- Faire le choix des pierres à utiliser en leur donnant une forme par des petits coups de marteau.
- Repartir une couche de sable sur une épaisseur d'environ 10cm
- Raser toute la surface superficielle du sol pour la rendre régulière puis la compacter.
- Ne plus y marcher après le compactage.
- Poser les dalles en pierres sur le sol. Commencer la pose dans les angles après avoir posé un certain nombre d'éléments, mettre au-dessus une planche puis appuyer vous dessus pour continuer la pose de peur de ne plus y marcher après le compactage.

- Sceller bien les pavées dans un lit de sable puis passer à la plaque vibrante ou à une masse placée sur une planche en bois.

c. Pavage polygonal sommital

On appelle pavage polygonal sommital du plan un pavage du plan par des polygones réguliers inscriptibles vérifiant les conditions suivantes :

- Si un sommet S d'un polygone P du pavage appartient à un autre polygone P° du pavage, alors S est un sommet de P^* (et jamais un point d'un coté de P° qui ne soit pas un sommet).
- Si on considère, dans le pavage, deux sommets quelconques S et S' de polygones, il existe toujours une isométrie f du pavage telle que $f(s)=s'$.

d. Pavage totalement-réguliers

On dit qu'un pavage est totalement régulier si pour tout couple (P, P^*) de deux pavés du pavage, il existe une isométrie du pavage, f , telle que $f(p)=p'$. Tout pavage totalement- régulier est donc aussi régulier, mais il existe des pavages réguliers qui ne sont pas totalement-réguliers.

e. Pavages périodiques

Les pavages périodiques du plan ou de l'espace sont connus depuis l'antiquité et ont souvent été utilisés comme motifs décoratifs en architecture. Au total, il existe 19 types de pavés pour les pavages périodiques du plan. Plusieurs de ces types peuvent être réalisés par des pavages dont les pavés sont tous des polygones réguliers. Un pavage est dit récurrent si, quand un motif (ensemble fini des tuiles) apparaît une fois, il apparaît dans n'importe quelle zone suffisamment grande. Si, de plus, on peut fixer la taille du motif, alors le pavage est dit uniformément récurrent.

5. Mise en œuvre d'une route pavé

La chaussée proprement dite est constituée :

- D'une couche de surface : formée ici par les pavés en pierres naturelles et leur lit de pose. Celle-ci assure les qualités d'usage des utilisateurs et des riverains (adhérence, confort, couleurs, etc....)
- D'une assise éventuellement : réalisée en deux couches, fondation et base, dont le rôle principal est la transmission des charges (pressions) et leur répartition sur le sol support de la chaussée.
- D'une plate-forme : soit d'une couche de forme dans le cas où le sol en place a une portance insuffisante, soit du sol après décapage ou traitement en place comme sur la Figure 1-11

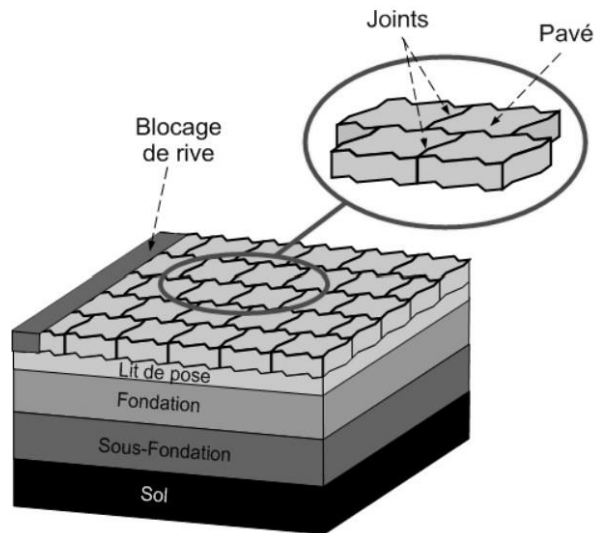


Figure 1-11 Représentation d'une couche de forme du sol [1]

Que ce soit pour supporter le passage de piétons, de cyclistes, de véhicules légers ou de poids Lourds, les chaussées reçoivent sur leur surface des charges qui agissent sous forme de pressions :

0,1 à 0,2 MPa pour un véhicule léger

0,8 à 1 MPa pour un véhicule lourd mais également

0,1 à 0,3 MPa pour un piéton

0.5 à 0,8 MPa pour un cycliste

Cependant, si la surface en contact d'une roue de bicyclette avec la chaussée est de l'ordre de 5 à 10 cm², celle d'une roue de poids lourd est de l'ordre de 400 cm².

Pour les chaussées souples, les pressions unitaires se cumulent comme le montre le schéma ci-dessous:

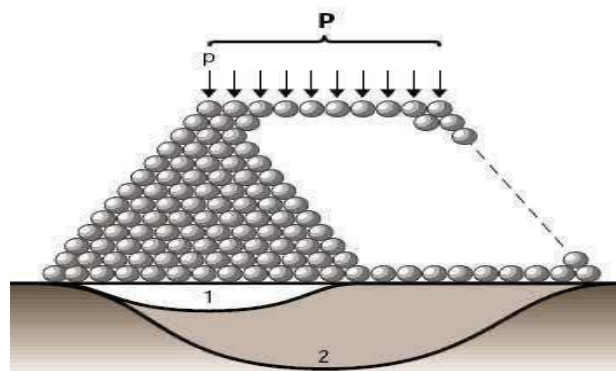


Figure 1-12 Pression unitaire sur la chaussée [6]

1 : Répartition de la charge P

2 : Répartition de toutes les charges P

La courbe de répartition P de la somme de toutes les charges p est alors fonction de la pression exercée en surface, mais également de la surface d'application.

Les sols en place sous les chaussées ne peuvent généralement les supporter. Ils admettent des pressions de l'ordre de 0,01 MPa pour rester dans leur domaine de déformation élastique.

La chaussée a donc pour rôle de ramener la pression exercée en surface à une valeur suffisamment faible, admissible par le sol support.

Cette réduction de pression est beaucoup mieux assurée avec les chaussées à assise traitée au bitume ou au ciment (assise rigide ou semi-rigide).

On vérifie alors que la contrainte radiale R et la déformation relative e restent suffisamment faibles pour ne pas détériorer le matériau d'assise.

L'utilisation de pavés nécessite d'avoir une déformabilité faible du support. Ceci est d'autant plus vrai que le rapport surface du pavé sur épaisseur est grand.

Le réglage de l'assise doit être effectué à + 1 cm pour respecter les épaisseurs de lit de pose demandées.

6. Infrastructure

Il convient de distinguer le cas d'une voirie neuve de celui d'une réfection de voirie ancienne.

En effet, dans ce dernier cas, la mise en place d'assises peut se révéler inutile. C'est aussi souvent le cas pour une voirie neuve destinée à un trafic strictement piétonnier.

D'une manière générale, il est toujours utile de faire effectuer une étude géotechnique du sol.

Toutefois, s'il s'agit de travaux de faible importance, une étude géotechnique coûteuse ne se justifie pas toujours et le simple examen du sol décapé est une indication souvent suffisante.

7. Collecte des eaux superficielles

La réalisation d'un système de drainage satisfaisant est nécessaire afin d'une part d'assurer la pérennité de l'ouvrage et d'autre part d'éviter la formation de flaques d'eau en surface nuisant au bon usage du revêtement et pouvant ainsi affecter la sécurité des automobilistes et des piétons.

En général, une pente de 1 à 2 % est suffisante. Cette pente doit être réalisée au niveau des assises finies afin de garder une épaisseur du lit de pose constante.

Pour les grandes surfaces, le drainage pourra être réalisé grâce à un découpage en plusieurs zones en assurant l'évacuation des eaux soit grâce à des caniveaux, soit au moyen d'avaloirs.

h. Spécification de la structure des chaussées

On peut modéliser le fonctionnement du pavage par exemple à l'aide du modèle ALIZE qui permet de rechercher par approximations successives des modules de Young (de la plateforme, des assises, et de la couche de surface), de calculer la déflexion théorique qui est ensuite comparée à un essai à la plaque ou à un essai de poinçonnement (poutre de Benkelman).

Les sollicitations admissibles dans les couches de chaussées sont données dans le guide technique LCPC - SETRA (conception et dimensionnement des structures de chaussées),

i. Mise en œuvre des pavés de Granit

a. Appareillages disponibles

Ci-dessous , voici certaines figures illustrant différents appareillages

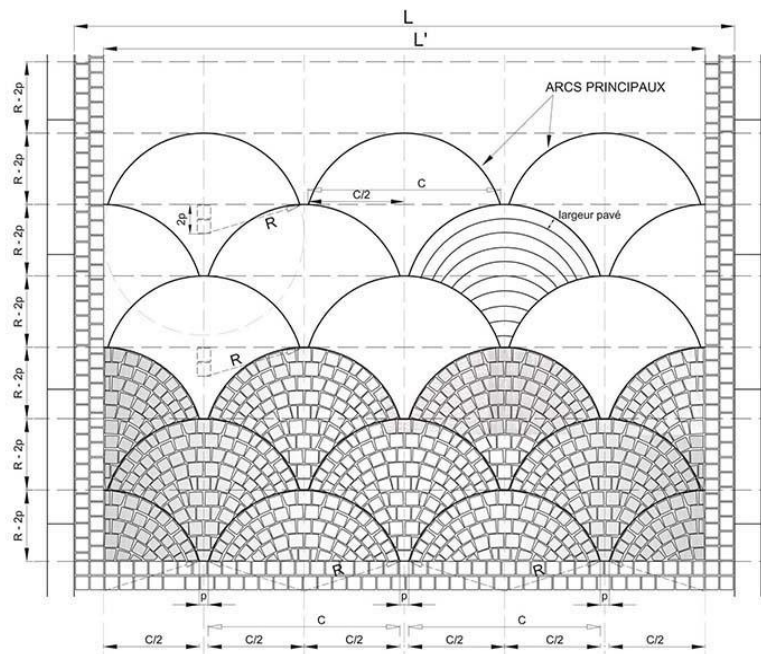


Figure 1-13 Appareillage en queues de Paon [6]

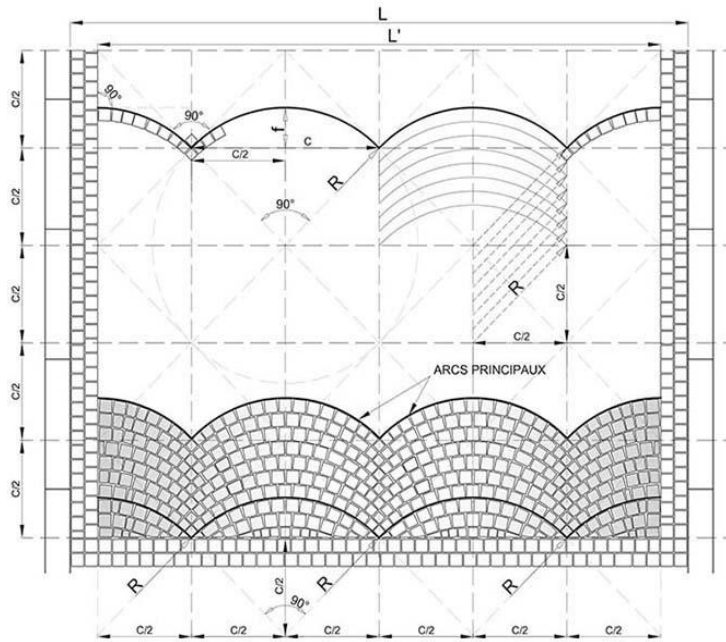


Figure 1-14 Appareillage en arceaux [6]

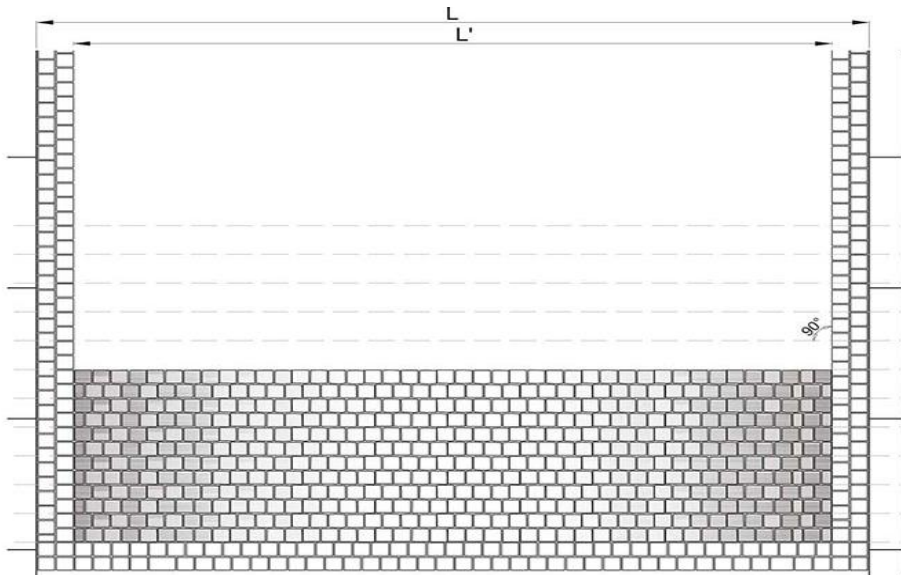


Figure 1-15 Appareillage en ranges droites à joints décalés [6]

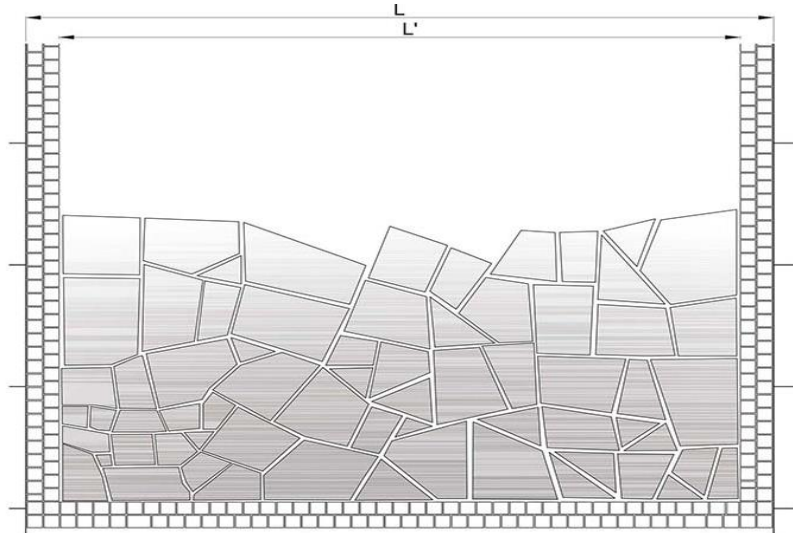


Figure 1-16 Appareillages en opus incertum [6]

Les pavés de granit sont posés soit sur sable, soit sur sable stabilisé, soit sur mortier, soit sur béton.

b. Pose sur sable ou sur sable stabilisé

- Réalisation du lit de pose et mise en œuvre

L'épaisseur définitive du lit de pose après affermissement des pavés est telle que

$e=4 \text{ cm} \pm 1,5 \text{ cm}$ pour les pavés d'épaisseur $\leq 8 \text{ cm}$

$e=5 \text{ cm} \pm 1,5 \text{ cm}$ pour les pavés d'épaisseur $> 8 \text{ cm}$

Des joints sont ménagés entre les pavés : leur largeur n'est pas inférieure à 5 mm et est aussi réduite que le permet le calepinage et la géométrie des produits utilisés. Le poseur se trouve face à la zone réalisée.

Après la pose des pavés, leur affermissement est effectué avec un outil dont la masse est en rapport avec celle du pavé (marteau de paveur, massette...).

Dans la même journée, les joints sont garnis à refus avec le même matériau que celui du lit de pose puis fichés à l'eau.

Après l'opération de fichage, les pavés sont battus ou cylindrés jusqu'à obtention de la cote et du profil définitif.

Un dressage ou un battage supplémentaire est pratiqué sur les pavés qui s'écartent du profil définitif.

Après les opérations de fichage, de dressage et de battage, les joints entre pavés sont dégarnis sur au moins 3 cm de profondeur.

La conformité du calepinage est vérifiée au minimum tous les 5 m.

Les surfaces fichées et dressées sont protégées de toute circulation avant réalisation des joints.

- La pose sur sable stabilisé est une variante de la pose sur sable. Son application se justifie en cas de problèmes particuliers (fortes pentes, présence d'eau, techniques de nettoyage agressives ...) lorsqu'il y a risque de migration des fines sous l'action de l'eau.
- Les variations de l'épaisseur du lit de pose ne peuvent servir à corriger les défauts de planimétrie de l'assise qui doit être réglée en fonction du profil définitif et de la hauteur de queue du pavage.
- Une épaisseur de sable plus faible entraîne des risques de poinçonnement et une épaisseur plus forte entraîne des risques de tassements différentiels.

c. Réalisation des joints ou de l'opération de rejointoiement

- Cas des joints en sable ou en sable stabilisé

La mise en place du sable ou du sable stabilisé est effectuée par regarnissage et balayage successifs jusqu'à refus.

La surface de l'ouvrage est ensuite balayée afin de la débarrasser des granulats répandus en excédent sur les pavés.

La circulation peut être rétablie immédiatement.

- Ce type de joint résiste mal aux techniques de nettoyage agressives (lance haute pression, lavages fréquents...).
 - Selon les techniques de nettoyage envisagées, les joints doivent pouvoir être réalisés en mortier ou en matériaux compatibles avec ces techniques.
- Cas des joints en mortier cfr laFigure 1-17



Figure 1-17 Utilisation des joints en mortier [7]

Le dosage en ciment est compris entre 350 et 450 kg par m³ de sable sec. Le mortier est approvisionné au fur et à mesure de l'avancement. L'emploi du mortier ayant commencé à faire prise est interdit. Les joints soigneusement garnis sont soit lissés à la truelle ou tirés au fer, soit balayés ou finis à l'éponge. Aussitôt après la réalisation des joints, le revêtement est nettoyé afin d'éviter tout voile ou dépôt. La surface rejointoyée en mortier est protégée de toute circulation pendant un délai de 24 heures et de toute circulation de véhicules pendant un délai de 7 jours.

- Le choix des liants est effectué en fonction de la nature des granits utilisés.
- La durée maximale d'utilisation des mortiers est fonction notamment du dosage en ciment, des adjuvants éventuels, de la teneur en eau et des conditions climatiques.
- L'utilisation d'adjuvants peut permettre d'améliorer l'adhérence du mortier avec le revêtement.

➤ Cas des joints en gravillon avec émulsion de bitume

Le remplissage des joints est effectué à l'aide de gravillons conformes à la norme P18-101 balayés dans les joints.

L'émulsion de bitume est ensuite répandue soit mécaniquement, soit manuellement et uniformisée au balai de façon à remplir complètement les joints en s'assurant qu'il ne reste pas d'émulsion en excès sur la surface du pavage.

L'opération est terminée par un gravillonnage léger suivi d'un cylindrage.

Avec ce type de rejointoiement, la circulation peut être rétablie immédiatement après le délai de rupture de l'émulsion.

d. Pose sur mortier ou sur béton

➤ Réalisation du lit de pose et mise en œuvre

Ce type de pose est réservé aux surfaces < 60 . Dans le cas d'une pose sur mortier, l'épaisseur du lit de pose est aussi uniforme que possible et d'épaisseur égale à 4 cm±1 cm.

L'emploi de mortier ou de béton ayant commencé à faire prise est interdit. Les mortiers ou les bétons sont préparés ou approvisionnés au fur et à mesure de l'avancement.

Des joints sont ménagés entre les pavés : leur largeur est aussi réduite que le permet le

Calepinage et la géométrie des produits utilisés sans être < 5 mm.

Les pavés sont assujettis au profil définitif avec un outil dont la masse est en rapport avec celle des pavés (marteau de paveur, massette...).

La conformité du calepinage est vérifiée au minimum tous les 5 m et la réalisation des joints est effectuée immédiatement après la pose. La zone réalisée est protégée de toute circulation avant réalisation des joints.

Il est conseillé d'humidifier le support avant la mise en place du lit de pose, la durée maximale d'utilisation des mortiers ou des bétons est fonction notamment du dosage en ciment, des adjuvants éventuels, de la teneur en eau et des conditions climatiques.

L'utilisation d'adjuvants peut permettre d'améliorer l'adhérence du mortier avec le revêtement, le choix de certaines teintes impose dans certains cas le panachage des nuances, ce que le poseur peut obtenir en mélangeant les pavés issus de conditionnement différents.

➤ Réalisation des joints ou de l'opération de rejointoiement

Les joints sont réalisés au plus tôt 24 heures après la pose des pavés.

La plasticité du mortier est adaptée afin de permettre un garnissage complet des joints. Les surfaces réalisées avec des joints en mortier sont protégées de toute circulation pendant un délai de 24 heures et de toute circulation de véhicules pendant un délai de 7 jours.

e. Dispositions constructives relatives aux pavés

1. Raccordements avec les rives

Les rives sont butées efficacement en particulier en cas d'efforts horizontaux (exemple : cas des charges roulantes) : un calage de rive efficace est réalisé par exemple par des bordures scellées ou encastrées dans la fondation ou par des longrines en béton.

Comme sur la Figure 1-18 la liaison avec les rives se fait soit en utilisant des pavés spéciaux prévus à cet effet, soit en coupant des pavés en rives sans toutefois avoir des éléments inférieurs à un demi-pavé.

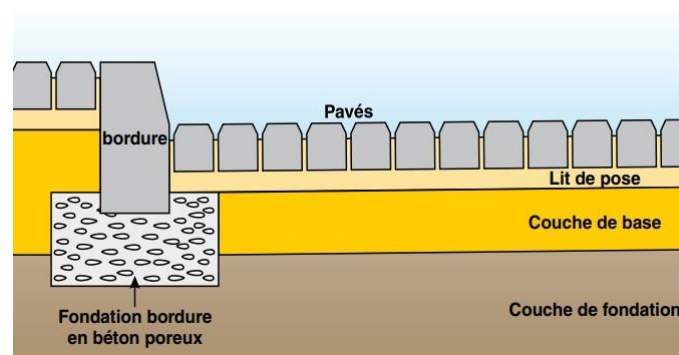


Figure 1-18 Dispositif de blocage des rives [7]

2. Raccordements divers sur ouvrages (regard de visite, mobilier urbain...)

Le calepinage est adapté à la géométrie de la rive, de l'obstacle à contourner ou du raccordement à réaliser. Les dimensions des joints et leur nature sont semblables à celles des autres joints entre pavés. Des dispositions particulières sont prises pour assurer une butée des rives efficace et pour éviter les accumulations d'eau dans le lit de pose. Elles tiennent compte de la forme et des contraintes de fonctionnement des ouvrages émergents et de la nature du revêtement.

1. Le raccordement à un ouvrage circulaire est toujours délicat et doit être pris-en compte dès la conception.

2. Le drainage des eaux d'interface et le recueil vers les écoulements des eaux pluviales doivent être assurés par les caniveaux, bordures, regards et éventuellement des drains enterrés.

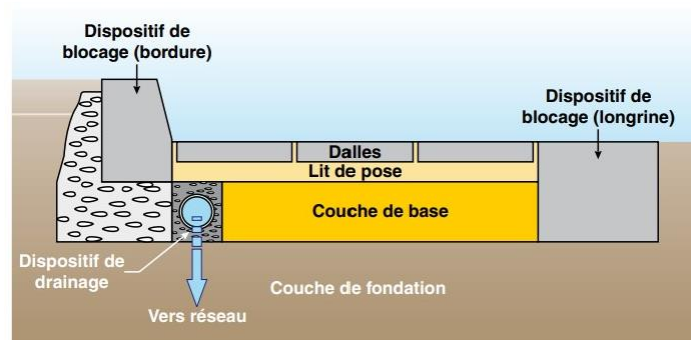


Figure 1-19 Dispositif de drainage souterrain [7]

f. Travail sous circulation

Dans le cas exceptionnel où les travaux sont effectués sous circulation, le pavage est réalisé par demi-chaussée, une zone de 50 cm minimum exécutée en première phase étant reprise dans la deuxième partie des travaux. Une autre solution consiste à réaliser un blocage de rive efficace lors de la première phase.

La zone en cours de réalisation est protégée de toute circulation jusqu'à son achèvement complet, délai de durcissement compris selon le mode de pose. Les travaux de construction de surfaces pavées sont déconseillés sous circulation.

g. Joints de dilatation

Si des joints de dilatation ou de retrait-flexion sont prévus au niveau de l'assise, ils sont protégés préalablement afin d'éviter l'entrée du matériau du lit de pose dans ces joints.

Pour les pavés posés sur mortier, des joints de dilatation de 1 cm de largeur environ sont réalisés sur toute l'épaisseur du revêtement et des couches de pose qui lui sont solidaires.

Lorsqu'il n'est pas prévu de couches de désolidarisation, ces joints correspondent aux joints de dilatation voir aux joints de retrait-flexion de l'assise et sont donc repérés avec précision au fur et à mesure de la pose du revêtement. Ces joints sont réservés lors de la pose ou sciés après la pose et sont réalisés avec des profilés préformés ou garnis avec les produits compressibles soit préformés, soit coulés à chaud, soit coulés à froid, soigneusement mis en place. Les joints de dilatation délimitent en général des surfaces de 30 à 60.

Le rôle des produits compressibles est d'assurer l'étanchéité à l'eau et d'éviter l'insertion de particules solides entre les lèvres du joint.

h. Dispositifs de faibles dimensions en pavés (traversées piétonnes, avertisseurs...)

Les dispositifs de faibles dimensions en pavés constituent un cas particulier du fait de l'importance des raccordements par rapport à la faible surface pavée réalisée et à l'intensité des efforts horizontaux liés au trafic. Il y a donc lieu de soigner particulièrement ces raccordements en assurant un blocage de rive efficace à l'aide d'éléments scellés ou de longrines en béton.

j. Mise en œuvre des bordures et des trottoirs

a. Dimensions

Il existe un grand nombre de dimensions pour les bordures, dépendant de leur fonction et dépendant des habitudes de construction routière locales. Fonction :

- bordure de rive ou bordure dérasée
- bordure de trottoir

Exemple de dimension d'une bordure de rive :

- $L = 0,80$ m
- $h = 0,16$ m
- $l = 0,20$ m

En dehors de ces deux types de bordures, il peut être nécessaire de prévoir des dimensions spéciales, par exemple pour les entrées de garage.

b. Pose

On prendra soin lors de l'approvisionnement du chantier de décharger et répartir les bordures de trottoir le long du cordeau-guide à environ 1 mètre de celui-ci, à l'extérieur de la chaussée.

Les bordures de trottoir pèsent entre 60 et 80 kg, il est important de les décharger et de les répartir le long du tracé de la façon la plus judicieuse afin de limiter les reprises de manutention.

Dans certains cas, d'autres procédures seront imposées par les circonstances. Ainsi, il n'est pas toujours possible d'accéder à une zone de déchargement située à 1 m à l'extérieur de la chaussée et il faudra décharger les bordures sur la chaussée même, avec tous les risques que cela implique.

c. Lit de pose

Les bordures doivent être posées sur un lit de pose. Ce lit de pose sera choisi en fonction des matériaux en place et en fonction des matériaux de pose disponibles :

- Sables,
- Graves ou latérites,
- Bétons ou bétons maigres.

Le lit de pose doit être réglé de telle sorte qu'après tassement le sommet de la bordure soit au niveau du trottoir. Dans le cas où le béton est utilisé comme lit de pose, il doit être suffisamment sec pour supporter sans affaisser le poids de la bordure, mais suffisamment plastique pour permettre un réglage précis des niveaux.

d. Réglage des bordures

Le réglage des bordures s'effectue à l'aide d'un outil adapté, la barre de poseur, comportant un bout effilé permettant le réglage des bordures et une extrémité aplatie facilitant le tassement. Lorsque le réglage des bordures est considéré comme satisfaisant, on effectue un calage ou blocage final avec du béton au niveau de chaque joint.

Les joints sont alors garnis au mortier. Le calage des bordures courbes est contrebuté sur toute la longueur de la section en courbe.

Au niveau des entrées charretières, les bordures sont calées à environ 5 cm au-dessus du niveau de la chaussée. Le raccordement s'effectue à l'aide d'une bordure inclinée, dite "rampante". La mise en place de caniveaux et bordures constitue un blocage efficace des couches de chaussée.

k. Travaux de finition

Ils comprennent le nettoyage ou le remplacement des produits salis ou détériorés pendant le chantier et dans le cas d'un jointoiement réalisé au sable ou au sable stabilisé, le garnissage complémentaire des joints ouverts et un balayage complet de la surface pavée ou dallée.

Dans le cas de joints réalisés avec un mortier ou un coulis de ciment, la qualité des opérations de nettoyage doit aboutir à la disparition des traces de laitance et des matériaux en excédent, tout en préservant l'intégrité des joints.

1.4 Matériaux de construction d'une chaussée [9]

1.4.1 Matériaux généralement utilisés pour les projets de construction des routes

Généralement l'Ingénieur utilise les matériaux trouvés localement sur les emprunts après avoir vérifié la résistance, l'aplatissement et la teneur en eau.

Ces matériaux sont :

- **Les sols naturels** : ces sont des agrégats minéraux qui peuvent se désagréger en élément des dimensions plus au moins petites sans nécessiter un effort considérable.

Ils sont caractérisés par la dimension des grains ;

- Argiles : $\varnothing < 0,002$ mm (latéritiques ou la scorie volcanique)
- Limon : $0,002 < \varnothing < 0,02$ mm
- Sables fins : $0,02 < \varnothing < 0,2$ mm

Les matériaux utilisés doivent présenter une bonne cohésion et résistance. Ils ne doivent pas se former, ni s'arracher lors de la mise en œuvre.

- **Les agrégats minéraux** : ce sont les matériaux d'origine minérale destinés à la réalisation des travaux routiers et qui sont encore appelés : sol à gros grains, ces matériaux représentent environ 85% de la structure de chaussée. Ils peuvent prévenir soit la décomposition naturelle des roches, soit du concassage des pierres dures dont le CBR répond aux critères. On peut par exemple citer : classer les sables, les graviers, des différentes granulométries les cailloux trouver dans les cours d'eau. Les critères à prendre en compte sont les suivantes :

- La granulométrie ;
- La qualité des roches ;
- La forme des granulats ;
- La propreté du mélange.
 - **Les liants** : nous entendons sous la dénomination de liant, tout matériau naturel ou artificiel servant à lier les agrégats après les avoirs enveloppés et qui durcit selon les principes physico-chimiques. Dans notre domaine des routes, nous distinguons deux types couramment employés, il s'agit de :
 - Liant minéraux (ciment, chaux, ...) ;
 - Liants hydrocarbonés (goudron, bitume)

Signalons qu'à chaque famille, il existe des critères à prendre en compte déjà établies.

1.4.2 Les matériaux recommandés pour les différentes couches des routes

1. Les matériaux de plate-forme

La plate-forme constitue l'infrastructure de la chaussée. Sa mise en œuvre mérite une attention particulière car beaucoup de méthodes de dimensionnement s'appuient sur sa résistance au Poinçonnement qui est la capacité portante (CBR). Les niveaux de portance des sols de plate-forme ont été définis et divisé selon des intervalles de valeurs CBR dans le Tableau 1-6.

Dans les pays tropicaux et plus particulièrement en R.D.C, on distingue cinq classes de portance des sols de plate-forme

Tableau 1-6 portance des sols [10]

S1	CBR<5	Infrastructure faible
S2	5 < CBR < 10	Infrastructure moyenne
S3	10 < CBR <15.	Infrastructure bonne
S4	15< CBR <30	Infrastructure excellente
S5	CBR > 30	Infrastructure très excellente

Sur terrain, les sols de plate-forme dont la portance est inférieure à 5 doivent être améliorés. D'autre part aucune couche de fondation n'est prévue lorsque le sol en place a une portance supérieure à 30 %. Le sable constitue le matériau de base des plates-formes. Un sable naturel peut être défini comme un granulat dont la dimension maximale exprimée en passoire est inférieure ou égale à 35 % passant le tamis N°200 ou $80 \mu\text{m} < 35$).

Si les propriétés du sable ne répondent pas aux exigences des cahiers de charges, on procède à des améliorations pour augmenter ses performances. Cependant il faut éviter le surdosage dans le cas du ciment sous risque de créer des effets de dalles.

2. Les matériaux de la couche de fondation

➤ Les sables naturels

Ils sont utilisés en couche de fondation pour les trafics T1, T2 et T3 rarement. Si les propriétés du sol ne sont pas convenables, c'est à dire qu'ils ne satisfont pas aux exigences, on peut les améliorer au liant pour augmenter ses qualités mécaniques.

➤ Les sables traités

Nous avons deux types de traitement : le traitement au ciment et celui par le bitume. Le traitement s'opère par le ciment dans le cas où la couche de base est en grave ciment ou en grave bitume. Le ciment est un produit manufacturé, obtenu par cuisson, essentiellement à partir de calcaire et d'argile avec addition de gypse. Il permet de rigidifier la couche de fondation et d'absorber les contraintes dues à la traction à la base des graves traitées de la couche sus-jacente. Toutefois, il faudra éviter un surdosage en ciment sous risque des « effets de dalles »

Le traitement au bitume est utilisé pour les sols de bonne portance mais avec une faible tenue en eau. Son coût élevé fait qu'il est très rarement utilisé.

➤ Les graveleux latéritiques

La latérite est une roche résiduelle rougeâtre issue d'un processus d'altération de roches meubles silico-alumineuses avec départ de la silice et enrichissement relatif en alumine : on utilise la partie graveleuse. Les graveleux latéritiques sont les matériaux les plus utilisés en construction routière en R.D.C et plus généralement en Afrique. Dans le cas de leur utilisation, le critère principal sera celui de l'indice portant CBR. La valeur minimale exigée est 30%, ce qui correspond à une densité sèche de 95 % de l'Optimum Proctor Modifié.

Cependant il faudra prendre certaines précautions pour les utiliser selon qu'on est en zones arides (effet de la température) ou en zone humides (teneur en eau).

➤ Les graves

Ce sont des mélanges granulométriques continus de cailloux, de graviers et de sables avec généralement une petite proportion de particules fines.

La couche de fondation est constituée généralement de grave, un mélange naturel de gravier et de sable, le mélange pouvant être du tout-venant ou spécialement composé en centrale. Le matériau peut être rond (déblais) ou concassé (exploitation carrière de roches massives ou d'excavation en rocher).

3. Les matériaux de la couche de base

La couche de base est la couche du corps d'une chaussée souple ou semi-rigide, située entre la couche de fondation et le revêtement, et qui est destinée à résister aux contraintes engendrées par la circulation. La couche de base est proche de la surface de la chaussée, subit des contraintes et des déformations notables ; les matériaux qui la composent doivent donc avoir des caractéristiques mécaniques élevées.

a) Les matériaux non traités

Les graveleux latéritiques constituent les matériaux les plus utilisés pour la couche de base en R.D.C. A l'état cru son indice portant doit être supérieur à 80% mesuré après 4 jours d'inhibition sur squelettes compactés à la teneur en eau optimale.

b) Les matériaux traités

a. Matériaux améliorés ciment

Le contexte de rarefaction des matériaux de qualité a beaucoup contribué au développement des procédés de traitement et de stabilisation dans les projets routiers. Les objectifs visés sont l'amélioration des propriétés géotechniques : aptitude au compactage, diminution de la sensibilité à l'eau, ou de la résistance et de la portance.

Dans le cas d'amélioration au ciment les pourcentages utilisés sont 1, 2 et 3 % en poids. Ceci aura comme effet de réduire la plasticité du matériau, son aptitude au compactage améliorée et la portance considérablement augmentée (> 180%).

Dans le cas de la stabilisation, la quantité de ciment est supérieure à 3 % et inférieure à 7 %.

Pour le cas des bétons neufs le pourcentage en ciment est de l'ordre de 10 à 12 %. La stabilisation peut aussi se faire avec un liant hydrocarboné ou de façon mécanique.

b. Sables améliorés au bitume

L'amélioration au bitume s'effectue pour des sols de bonne portance et de mauvaise tenue à l'eau. Il peut être utilisé en couche de base pour les trafics T1, T2, et parfois T3.

D'après le CEBTP nous avons le résumé des matériaux de couches d'assises de chaussées en fonction du type de trafic.

Tableau 1-7 couche de base et de fondation en fonction du trafic [11]

TRAFIC	COUCHE DE FONDATION	COUCHE DE BASE
T1	Graves latéritiques, sable argileux améliorés granulométriquement, tout-venant de concassage 0/60	Graves latéritiques ou améliorés (au ciment, au concasse ou a la chaux) sables améliorés au ciment ou au bitume
T2	Graves latéritiques (améliorés au besoin), Sol traité au bitume, à la chaux ou au ciment	Graves latéritiques de très bonne qualité (amélioré au besoin), sol bitume
T3	Graves latéritiques d'excellente qualité (de préférence amélioré), sol bitume (mélange en centrale), sol traite a la chaux ou au ciment Tout venant de concassage 0/40	Graves latéritiques d'excellente qualité (préféablement améliorés), sol fins (mélange ou centrale) ,tout venant d concassage 0/40
T4	Graves latéritiques d'excellente qualité (préféablement améliorés), sol bitume (mélange en centrale) sol traite en centrale, a la chaud ou au ciment	Graves latéritiques améliorées ou centrale), graves bitumes ou grave ciment, tout venant de concassage 0/40 (préféablement amélioré au ciment ou bitume).

4. Les matériaux de la couche de surface (revêtement)

a. Les enduits superficiels (ESU)

Les enduits superficiels sont une structure monocouche ou bicouche à simple ou double gravillonnage constitué de granulats, de liants hydrocarbonés et éventuellement d'une dope d'adhésivité. La granularité utilisée doit permettre de former une mosaïque de telle sorte que les granulats de petites dimensions remplissent les vides entre les gros granulats.

Le choix du liant est fonction du niveau de trafic, de l'état du support et de la période de l'année d'exécution : on retient en règle que le liant est d'autant plus visqueux que la circulation est importante. L'utilisation d'une dope d'adhésivité permet d'assurer le mouillage du granulat par le liant et s'oppose ultérieurement à la rupture de cette liaison. La structure de l'enduit (monocouche ou bicouche) dépend du trafic et de l'état du support.

Les structures monocouches sont composées d'une couche de granulat (3/8 et 8/16) et d'une couche de granulats (6/10 et 10/14) pour les trafics faibles T1, T2 et T3.

Pour les structures bicouches nous avons deux couches de granulats (2/4 et 6/10) et deux couches de granulats (4/6 et 10/14).

La rapidité d'exécution et le coût peu élevé des enduits superficiels font qu'ils soient plus utilisés mais sont limités au trafic faible.

b. Les enrobés denses

Ce sont des mélanges de liant (bitume) et de granulats en centrale posés à chaud et qui doivent être répandus et compactés pendant qu'ils sont à des températures élevées. La température minimale de pose est de 120°C. Elles assurent les rôles de rugosité, d'étanchéité et d'uniformiser de la couche de roulement.

En R.D.C les enrobés denses utilisées sont à base de bitumes mi-durs. Rappelons que le bitume est un liant dérivant des hydrocarbures.

c. Les bétons bitumineux

Le béton bitumineux est un mélange, parfaitement contrôlé et de haute qualité, réalisé à chaud.

Il est constitué de granulats de bonne qualité et bien calibré provenant exclusivement de roches massives et de bitume. Il doit être bien compacté en une masse uniforme et dense.

Les bétons bitumineux sont les couches de roulement les plus utilisées comparativement à d'autres mélanges bitumineux (sand-asphalt, enrobé dense) car ils présentent les avantages suivants :

- Une meilleure homogénéité d'ensemble
- Une meilleure étanchéité
- Une grande stabilité
- Une meilleure résistance au glissement

d. Le sand-asphalt

Il est constitué de sable roulé et de bitume (entre 6.5 et 7 % du poids). On peut éventuellement adjoindre du sable concassé pour améliorer sa performance. Son utilisation est recommandée pour les trafics T1 et T2.

Pour avoir une bonne qualité des matériaux pour les chaussées, on exigera en laboratoire les critères de portance et de stabilité satisfaisants. En plus de ces critères, le cahier de prescriptions techniques d'un projet donné devra indiquer les caractéristiques minimales admissibles de plasticité, de granulométrie et de compactage. Comme résumé dans le Tableau 1-8 ci-dessous :

Tableau 1-8 mélanges des matériaux pour les couches de revêtements [11]

Type de mélange	Granulats	Liants
Bétons bitumineux	Concassés (sable rond), Roche dure, non polissable, Forme cubique, propre fuseau étroit, %filler élevé, %vides de 4 a 6	Bitume ou bitume-goudron en pourcentage dépendant du pourcentage du filler
Enrobés denses	Concassé (rond ou mélange de deux fuseaux larges, % filer faible, % vides 8ba 12	Bitume (4 a 5 %)
Sand-asphalt	Roules (on peut adjoindre le sable concassé) C'est un sable de diamètre ($2 < D < 4$), % filler faible (4%)	Bitume (6,5 a 7 %)

1.5 Assainissement et Etude des eaux

1.5.1 Hydrologie de Goma

Les habitants Goma jouissent d'un climat doux grâce aux vents frais en provenance du lac Kivu et aux climats d'altitudes.

A Goma, nous avons deux saisons de pluies et nous jouissons du climat tropical pluvieux.

On observe pendant l'année :

- Une saison sèche allant du mois de Juin au mois de Septembre mais aussi du mois de Décembre au mois de Janvier ;
- Une saison de pluie allant du mois de Novembre au mois de Décembre et du mois d'Avril au mois de Mai.

Les températures moyennes mensuelles restent constantes durant l'année et sont entre 14°C et 26°C. Les précipitations (mm) moyennes durant l'année restent constantes mensuellement soit environ 108mm.

1.5.2 Etudes Hydrauliques

Elle porte sur l'inventaire des cours d'eau (de toutes importances) et de tous les écoulements de surface (eaux de ruissellement, etc.). Elle porte aussi sur l'incidence que peut avoir le projet sur ces écoulements et la continuité du système hydraulique, mais aussi les dispositions à prendre pour mettre le projet à l'abri d'un risque potentiel dimensionnement des ouvrages de franchissement d'un cours d'eau par exemple).

L'eau est l'ennemi n°1 de la chaussée et même des travaux publics en général. Il est donc impérieux de protéger la route contre les eaux superficielles : c'est le rôle des fossés. Pour que cela se passe efficacement, la recueille des eaux devra concerner toute l'emprise et les parcelles environnant le tronçon.

a. Dimensionnement de fossés [10]

Le dimensionnement des fosses consiste à :

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

Le débit Q est trouvé par la formule de MANNING

$$Q = V * A \rightarrow Q = \frac{1}{\eta} * R^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}} * A$$

V : la vitesse de l'écoulement en m/s (elle est limitée par la normalisation)

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

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

R : le rayon hydraulique (il traduit la puissance hydraulique de l'ouvrage)

1.6 Conclusion partielle

Dans cette partie, il a été question de fixer les généralités sur les éléments constitutifs d'une chaussée revêtue en pavés basaltiques, sur les routes en général et sur le pavage en particulier, de faire recours à la géologie élémentaire des roches en général et des roches basaltiques de GOMA en particulier.

Ces éléments détaillés en particularité ci-haut, seront nécessaire dans la suite, car l'étude porte sur l'aménagement d'une chaussée revêtue en pavés basaltique dans la ville de GOMA.

Chapitre 2

METHODOLOGIE ET PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE

2.1 Introduction

Dans ce chapitre, il sera question de présenter le tronçon en étude avec une prise de vue satellite ; de présenter la topographie du terrain, les terrassements et la méthodologie.

2.2 Localisation du milieu d'étude

2.2.1 Vue aérienne

Le tronçon de notre travail (rue Pangi) est situé en ville de Goma dans la commune de Karisimbi, quartier Murara. Elle est perpendiculaire au boulevard dit Julien Paluku et aussi perpendiculaire de l'autre côté au boulevard « un kilomètre témoin ». Notre étude va donc de l'intersection de la rue Pangi et du boulevard Julien Paluku jusqu'au croisement avec le kilomètre témoin.

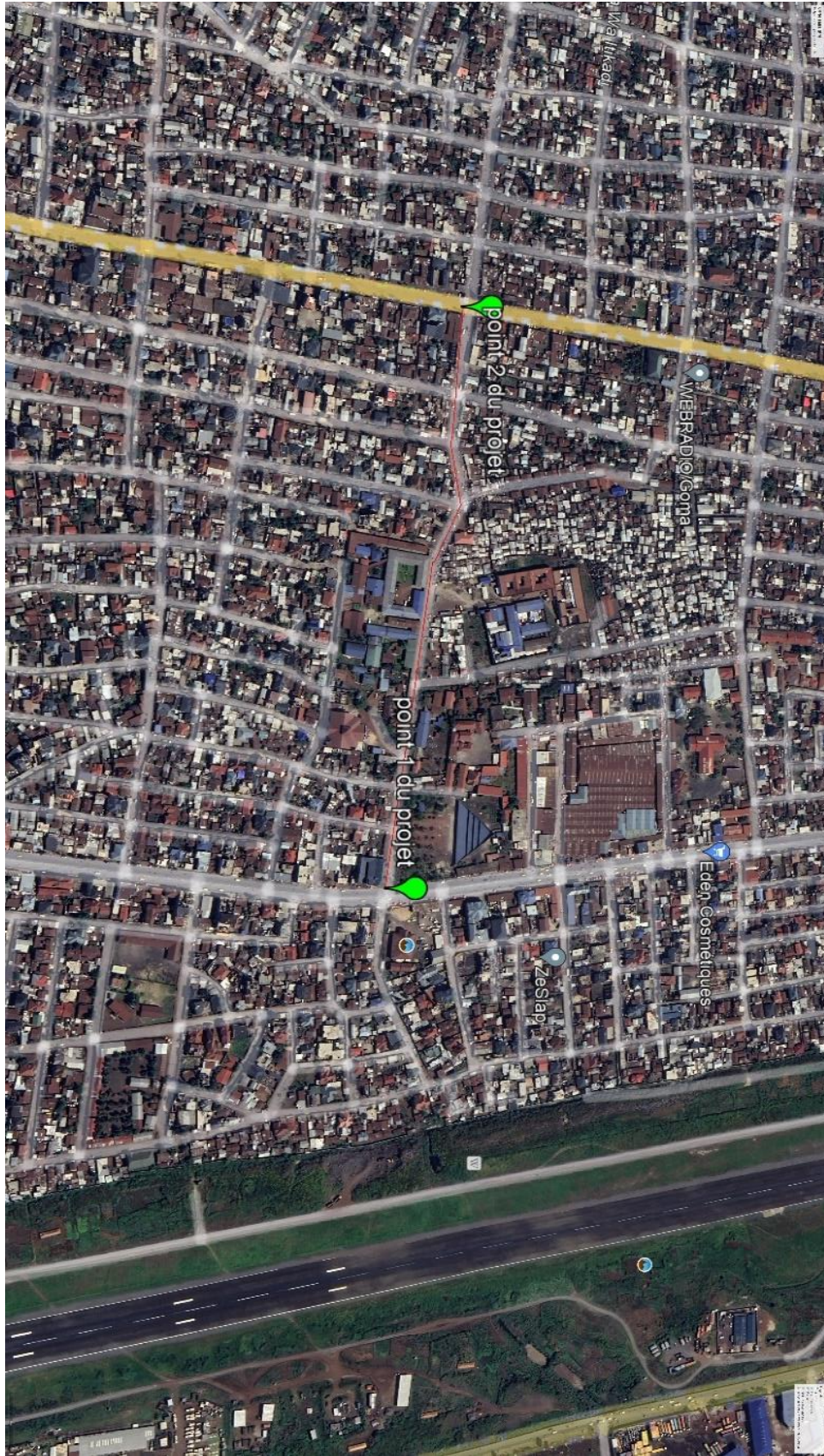


Figure 2-1 image satellite rue pangi [11]

2.2.2 Etat de lieu

Cette route a une emprise moyenne de 12,3 mètres avec une longueur de 620 mètres.

Notre PK0+000 nous l'avons placé à son croisement avec le boulevard Julien Paluku et le PK0+620 au croisement avec le kilomètre témoin. Cette route n'est pas praticable en quittant le boulevard Julien Paluku vers deux lampes.

Tableau 2-1 Points kilométriques

PK	Sol	Largeur	Hydrologie	Empiètement
PK0+50—PK0+100	Scorie volcanique	12	Eau stagnante	RAS
PK0+100--PK0+150	Scorie volcanique	10	RAS	RAS
PK0+150—PK0+200	Scorie volcanique	15	RAS	RAS
PK0+200—PK0+250	Scorie volcanique	13	RAS	RAS
PK0+250—PK0+300	Scorie volcanique	12	Eau stagnante	RAS
PK0+300—PK0+350	Scorie volcanique	11	RAS	RAS
PK0+350—PK0+400	Scorie volcanique	12	Eau stagnante	RAS
PK0+400—PK0+450	Scorie volcanique	15	RAS	RAS
PK0+450—PK0+500	Scorie volcanique	11	RAS	RAS
PK0+500—PK0+550	Scorie volcanique	12	Eau stagnante	RAS
PK0+550—PK0+600	Scorie volcanique	12	RAS	RAS
PK0+600-PKO+620	Scorie volcanique	12	RAS	RAS

2.3 Études topographiques

2.3.1.1 Terminologie de la route [12]

- **Topographie** : est l'art de la mesure puis de la représentation sur un plan ou une carte de formes et détails visibles sur un terrain, qu'ils soient naturels ou artificiels. La personne qui exerce la topographie est le géomètre.
- **Géodésie** : s'appuie sur la topographie, elle s'occupe de la détermination mathématique de la forme de la terre. La topographie s'intéresse aux mêmes quantités, mais à une plus petite

échelle, et elle rentre dans le détail de plus fins pour établir des plans et cartes à différentes échelles.

- **La cartographie** : proprement dite est l'art de dessiner des cartes avec un souci artistique et ne doit pas être confondue avec la topographie.
- **Le tracé en plan** : consiste à représenter l'axe de la route par une succession de lignes brisées appelées alignements généraux ou segments des droites. Il est normal pour des raisons de confort et de sécurité de raccorder ces segments de droites par une courbe appropriées donnant le maximum de confort sans oublier l'indice économique du type de raccordement choisi. La justification de l'emploi de ces éléments géométriques réside principalement dans les conditions de conduite qu'ils offrent aux usagers.
- **Courbe de niveau** : on appelle courbe de niveau le lieu des points de la surface topographique ayant même altitude, c'est-à-dire l'intersection de la surface topographique avec le plan horizontale.
- **Profil en long** : c'est la représentation sur un plan longitudinal des différents points en X et Z d'un terrain.
- **Profil en travers** : c'est la représentation sur un plan transversal des différents points (en Y et Z) du terrain naturel suivant l'axe du tracé en plan.
- **Remblai** : terre apportée pour combler un creux ou pour élever un terrain.
- **Déblai** : terre enlevée pour mettre un terrain à niveau, pour creuser des fondations, un fossé, etc.

2.4 Caractéristiques géométriques d'une route [3]

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

1. Tracé en plan et courbe de niveau

a. Courbe de niveau

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

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

b. Tracé en plan

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

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

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

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

- **Le raccordement circulaire :** dans ce cas de raccordement, on n'a pas besoin de rattraper un quelconque dévers. Le rayon de raccordement étant suffisamment grand pour que la chaussée soit non déversée en courbe, mais il faudrait absolument que le rayon choisi R soit supérieur ou égal au rayon non déversé RH' .

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

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

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

La Figure 2-2 ci-dessous montre clairement l'introduction progressive du devers.

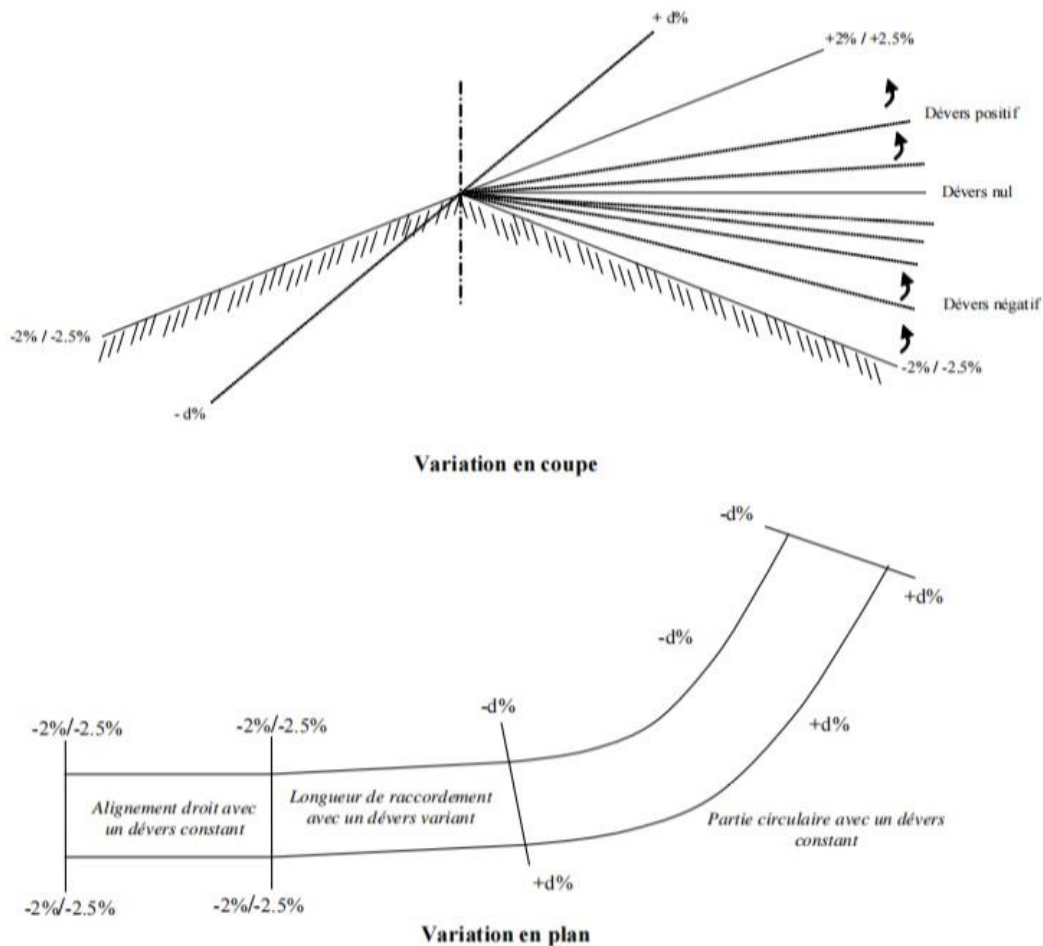


Figure 2-2 introduction devers [3]

2.4.1 Le tracer routier [3]

2.4.1.1 Relevés de terrain

Avant travaux, le technicien géomètre procède à des relevés topographiques de terrain avec des appareils spécialisés et logiciels (théodolites, station total, GPS, Google earth, etc.) en omettant aucun détail : niveau d'altitude, arbre, poteau, télégraphiques, murs, ... A partir de ces relevés il établit des plans des cartes sur ordinateur. Dans le cas d'un projet des routes ces points nous permettrons d'obtenir les types de tracés tels qu'en plan, courbes de niveaux, profil en long, profils en travers.

2.4.1.2 Operations du tracé routier :

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

2.4.2 Profil en long

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

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

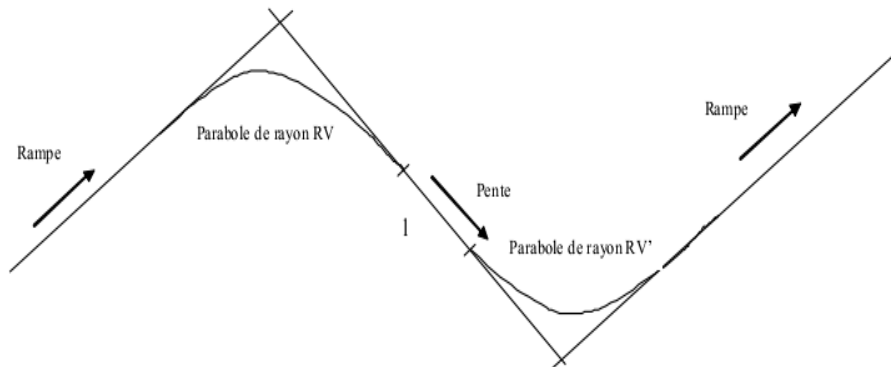


Figure 2-3 profil en long [3]

2.4.3 Profil en travers

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

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

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

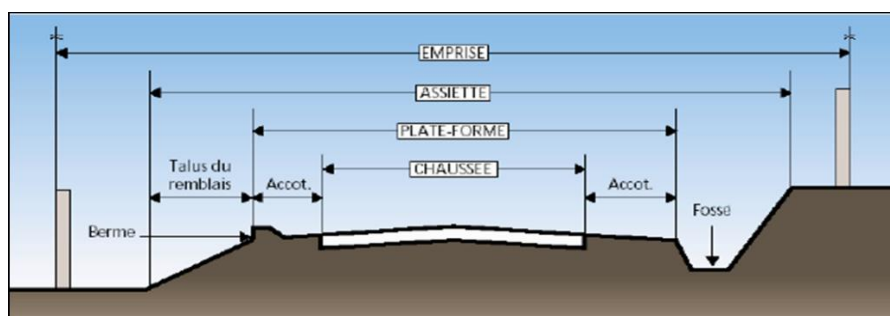


Figure 2-4 profil en travers [15]

2.5 Généralités sur la Géodésie et la Topographie [12] [13]

La géodésie est une des sciences de base nécessaires au topographe. Sa maîtrise n'est pas indispensable : elle relève du domaine du spécialiste mais un aperçu centré sur les incidences de la forme et des caractéristiques de la terre sur la topographie est indispensable.

Ceci permet d'introduire et de justifier les problèmes de projection plane et leurs incidences sur la carte de base, les choix de points et de surfaces de référence pour un système de coordonnées général, etc.

Mais, définissons dans un premier temps, le vocabulaire de base. Topométrie, du grec « topos » signifiant le lieu et « métrie » signifiant l'opération de mesurer.

C'est donc l'ensemble des techniques permettant d'obtenir les éléments métriques indispensables à la réalisation d'un plan à grande ou très grande échelle.

Ces éléments nécessitent différentes mesures sur le terrain suivi de nombreux calculs, schémas et croquis. C'est un domaine vaste qui demande de nombreuses compétences auxquelles l'outil informatique est aujourd'hui indispensable.

Topographie, association de « topos » et de « graphein » qui, en grec, signifie décrire.

C'est donc la science qui donne les moyens de représentation graphique ou numérique d'une surface terrestre.

La nuance entre ces deux techniques réside dans le fait qu'en topographie les détails de la surface de terre sont prélevés sur les terrains alors qu'en topométrie les calculs et reports sont des phases ultérieures au travail sur le site.

Topologie est la science qui analyse les lois générales de la formation du relief par les déformations lentes des aires continentales appelées mouvements épirogéniques.

2.5.1 Finalité de la topographie

Comme souvent, il est pratique de partir de la finalité pour remonter aux techniques mises en œuvre et les justifier ainsi.

En schématisant, on peut dire que la topographie a pour objectifs principaux de permettre l'établissement de cartes et de plans graphiques sur lesquels sont représentées, sous forme symbolique, toutes les informations ayant trait à la topologie du terrain et à ses détails naturels et artificiels.

Cette cartographie de données existantes permettra par exemple de s'orienter sur le terrain ou bien d'étudier un projet de construction routière.

2.6 Méthodes de dimensionnement

2.6.1 La méthode américaine de dimensionnement (AASHTO)

La méthode américaine de dimensionnement des chaussées AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official) est basée sur une analyse empirique des résultats des essais de l'AASHTO Road tests réalisés à la fin des années 1950 sur plus de 500 sections tests de chaussées. À l'heure actuelle, la dernière version du guide de dimensionnement date de fin 2002, mais la version de 1993 reste encore la plus utilisée.

Dans cette version de 1993, aussi bien pour les chaussées souples que rigides, le dimensionnement se fait à l'aide d'équations de régression traduites sous forme d'abaques et de permettant de choisir l'épaisseur de la chaussée en fonction du trafic cumulé considéré et la dégradation de la qualité d'usage de la route. La notion de qualité d'usage de la route est définie par l'indice PSI (*Present Service ability Index*) qui varie de zéro (chaussée impossible à circuler) à six (chaussée en parfait état). Cette échelle a été déterminée sur la base des dégradations de la chaussée et de leurs effets perçus par les usagers. Les données de trafic sont converties en nombre cumulé d'essieux standards W18. Enfin, pour une structure de chaussée choisie, un nombre structurel SN (*Structural Number*) est calculé et comparé à sa valeur minimale. Cette valeur minimale correspond à la somme pondérée des épaisseurs des différentes couches, et tient compte de la nature des matériaux et des conditions de drainage de chaque couche.

D'un point de vue mécanique, on remarque que la méthode américaine de dimensionnement AASHTO n'aborde pas, de manière explicite, la modélisation du plan de contact entre deux couches de matériaux. On peut cependant comprendre que dans cette méthode, le fait de pouvoir déterminer une épaisseur globale des couches bitumineuses sous-entend l'hypothèse qu'un collage parfait se développe à l'interface des couches en contact. En effet, l'épaisseur globale de ces couches dépend en partie de la rigidité globale de cet ensemble. Celle-ci est plus grande lorsque les couches sont parfaitement collées entre elles. Cependant, si cette hypothèse de collage parfait n'est pas satisfaite sur chantier, le fonctionnement mécanique de la chaussée est modifié.

2.6.2 La méthode basée sur le CBR

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

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

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

La détermination des épaisseurs des différentes couches d'une chaussée en matériaux divers est obtenue en utilisant les coefficients d'équivalence qui permettent de convertir l'épaisseur équivalente calculée en une épaisseur réelle de plusieurs couches.

Les valeurs usuelles du coefficient d'équivalence suivant le matériau utilisé sont données dans le tableau Tableau 2-2 ci-dessous :

Tableau 2-2 Valeurs usuelles du coefficient d'équivalence (CBR) [10]

Matériaux utilisés		Coefficient d'équivalence	
Béton bitumineux-enrobe dense :	Épaisseur (cm)	<5	1,7
		5	1,8
		5 à 7	2
		>7	2,2
Gave Bitume	Épaisseur (cm)	≤10	1,2
		>10	1,4
		15	1,6
		20	1,7
Grave ciment-grave laitier		1,5	
Sable ciment		1,00 à 1,20	

Grave concassée ou gravier	1
Grave roulée-grave sableuse-TVO	0,75
Sable	0,5
Tuf	0,6

2.6.3 La méthode CEBTP

Cette méthode tient compte de deux critères :

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

Elle décrit cinq classes de trafic exprimées en nombre cumulé de passage d'un essieu équivalent de 13 tonnes, et enfin cinq classes de portance de la plateforme. C'est ainsi qu'elle donne des épaisseurs en centimètres de corps de chaussée en graveleux latéritique amélioré ou non conformément au Tableau 2-3

Tableau 2-3 Classes de trafic définies par le CEBTP en Afrique Francophone [10]

Nombre équivalent de PL	Classe de trafic	Nombre équivalent de Véhicule/j
$< 5.10^5$	T1	< 300
De 5.10^5 à $1,5 10^6$	T2	De 300 à 1000
De $1,5.10^6$ à 4.10^6	T3	De 1000 à 3000
De 4.10^6 à 10^7	T4	De 3000 à 6000
De 10^7 à 2.10^7	T5	De 6000 à 12000

2.6.4 Méthode basée sur l'indice portant de la plateforme

Malgré le grand nombre d'essais réalisés depuis que les laboratoires existent, il n'est pas possible, compte tenu de la diversité des conditions climatiques et géologiques des territoires concernés par le Guide, de se référer aux seuls critères d'identification pour caractériser la portance des sols, aussi le CBR a-t-il été conservé ; il reste somme toute le meilleur moyen de différencier les sols sur la base de leur résistance au poinçonnement.

La valeur à retenir est la portance CBR des sols mis en œuvre dans les 30 cm supérieurs de la plateforme. Il peut s'agir :

- Des terrassements en déblais ;
- De la couche supérieure des remblais ;
- D'une couche de forme.

L'épaisseur de sol, prise en compte pour définir la portance de la plate-forme, est justifiée par les conditions climatiques qui sont celles des pays chauds dans lesquels les problèmes de gel ne se posent pas. L'atténuation des contraintes de surface est suffisante compte tenu de l'épaisseur de la chaussée pour que le poinçonnement des sols en profondeur soit ainsi évité.

La portance CBR sera déterminée en fonction des conditions de densité et de teneur en eau les plus défavorables subies à long terme par la plate-forme.

Il y a lieu de distinguer, de ce point de vue, pour ce qui concerne les pays dits « tropicaux », trois grandes unités climatiques majeures et trois grands types de sols :

1. Zone désertique et sahélienne à pluviométrie très faible (< 300 mm par an).

Les sols y sont rarement saturés ; la teneur en eau naturelle y est le plus souvent inférieure à celle de l'OPM ;

2. Zone tropicale à saison sèche bien marquée.

C'est la zone des savanes dans laquelle la teneur en eau naturelle excède, de quelques points, en saison humide, l'OPM ;

3. Zone équatoriale à très forte pluviométrie.

C'est la zone forestière dans laquelle les précipitations annuelles excèdent 1,2 m. les sols restent imbibés une grande partie de l'année à une teneur en eau très nettement supérieure à l'OPM.

Selon que les sols de ces trois zones climatiques seront :

- Pulvérulents et perméables ;
- Moyens ;
- Fins et très peu perméables,

Et compte tenu de la topographie, de l'efficacité et de la fiabilité du drainage prévu, les conditions d'exécution de l'essai CBR pourront être différentes ; la portance sera alors donnée en référence à des durées d'imbibition qui pourront varier de 0 heure à 7 jours. Il sera, d'autre part, essentiel d'établir les courbes iso-CBR des sols en fonction de différentes énergies de compactage et pour un large éventail de teneur en eau encadrant les valeurs réelles permanentes d'humidité de la plate-forme ou des matériaux du corps de chaussée.

En règle générale, la durée d'immersion des éprouvettes soumises au poinçonnement CBR sera de 4 jours ; on ne pourra diminuer le temps d'imbibition que si l'on a effectivement la preuve, après une campagne de mesures de teneur en eau sur le terrain, qu'il est légitime de le faire.

2.6.5 Méthode basée sur la classe de portance des sols

La portance d'un sol correspond à la mesure physique de sa capacité à supporter des charges mécaniques, rapportée à sa surface ; c'est la force de résistance déployée par le sol lorsque celui-ci est soumis au poids des ouvrages et des matériels qu'il supporte.

Cette méthode classe les sols suivant leur portance en cinq classes, commençant par la classe S1 jusqu'à S5 (sol de mauvaise portance jusqu'à sol de grande portance).

Souvent les sols de classe S1 sont des sols qui nécessitent un traitement avant tout aménagement. Ces traitements peuvent être des traitements aux liants hydrauliques ou aux liants hydrocarbonés.

Les classes sont réparties dans le Tableau 2-4 comme suit :

Tableau 2-4 Les classes de portance de la plate-forme (CEBTP, 1982) [10]

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
< 5	05 – 10	10 - 15	15 - 30	> 30

2.6.6 Méthode basée sur les classes du trafic [15]

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

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

✓ Trafic en nombre des véhicules par jour

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

Cinq classes de trafic sont distinguées :

Tableau 2-5 Classes de trafic en nombre de véhicules par jour [10]

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

T₁ inclut des routes à très faible trafic pour lesquelles le bitumage a cependant été décidé pour des raisons qui peuvent être indépendantes de critères purement économiques.

T₅ correspond à des chaussées de type autoroutier à 2 fois 2 vois ou 2 fois 3 vois.

✓ **Trafic en nombre cumule des poids lourds**

Si l'estimation du trafic cumulé en nombre de poids lourds – véhicules de charge totale supérieure à 3t – est possible, l'appréciation de ces paramètres sera meilleure que dans le premier cas.

Les classes retenues correspondent approximativement à celles définies par la méthode précédente, si la durée de vie de la chaussée est prise égale à quinze ans et si le pourcentage de poids lourds est voisin de 30%. Ces classes sont réparties dans le Tableau 2-6 suivant :

Tableau 2-6 Classes de trafic en nombre cumulé de poids lourds

$< 5.10^5$	T1
De 5.10^5 à $1,5 10^6$	T2
De $1,5.10^6$ à 4.10^6	T3
De 4.10^6 à 10^7	T4
De 10^7 à 2.10^7	T5

2.7 Terrassement

2.7.1 Mouvement de terre

C'est l'étude de cubes à transporter et de la longueur des transports.

Notons V le cube à transporter et d la distance de transport.

Dans ce 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.

2.8 Présentation logiciel civil 3D

Ici il sera question de présenter le logiciel civil 3D et une brève procédure utilisée jusqu'à obtenir les résultats suivants : le profil en long, le profil en travers, le tracé en plan et les courbes des niveaux et en enfin la cubature.

Développé par la société Autodesk, leader mondial dans l'édition des logiciels de D.A.O et C.A.O, AutoCAD ; Civil 3D est un logiciel de documentation et conception des infrastructures civiles. On peut le définir aussi comme étant un logiciel de conception des projets de travaux publics (routes, les chemins de fer, les tunnels...).

2.8.1 Fonctionnalités d'AutoCAD C3D [16]

- ✓ Topographie (Points et surfaces)

AutoCAD Civil 3D permet d'importer des données topographiques de différentes sources (fichier de points sous document texte ou Excel, DEM, LIDAR ou SHP). Une fois les données sont importées AutoCAD C3D offre une multitude de fonctionnalités pour traitement de ces données et pour le calcul des surfaces MNT (Modèle numérique de terrain).

Le logiciel permet de visualiser le terrain en 3D et d'afficher les courbes de niveau et leurs côtes.

- ✓ Calcul de cubatures (volumes déblais/remblais)

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

- ✓ Conception de projets 3D

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

- ✓ Réseaux d'assainissement

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

Pour prendre en charge le côté calcul, Autodesk propose une extension qui s'appelle Storm and Sanitary Analysis et qui permet le calcul des débits des eaux pluviales et le dimensionnement des canalisations.

- ✓ Réseaux d'alimentation en eau potable

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

2.8.2 Brève procédure

1. Création des points

- Barre d'outils, sélectionner points, clic gauche, sélectionner outils de création des points, dans la boîte de dialogue sélectionner importer des points, dans la boîte de dialogue sélectionner ajouter des fichiers, sélectionner les fichiers à importer, cliquer sur ouvrir puis OK.
- Sur une fenêtre d'outils, cliquer sur + se trouvant au niveau de groupe de points, sélectionner tous les points, faire un clic droit, sélectionner zoom.

2. Création de surface

- Barre d'outils, sélectionner surfaces, clic gauche, sélectionner créer surface, dans la boîte de dialogue, modifier le nom puis OK
- Sur fenêtre d'outils, cliquer sur + se trouvant au niveau de surface puis sur + se trouvant sur le menu de surface créée, puis sur + se trouvant au niveau de définitions puis sélectionner groupe de points clic droit puis ajouter puis sélectionner tous les points dans la boîte de dialogue, puis cliquer sur appliquer puis sur OK.

3. Ajouter les courbes de niveaux

- Sélectionner surface, cliquer sur propriétés de la surface de la barre d'outils, dans la boîte de dialogue au niveau de style de la surface, sélectionner contours 1m dans 5m (design) de la liste qui s'affiche là puis cliquer sur appliquer puis sur OK.

4. Ajouter des étiquettes

- Sélectionner ajouter étiquettes dans la barre d'outils, puis sélectionner dans la barre d'outils courbes de niveau-plusieurs, sélectionner les extrémités de la surface pour ajouter des étiquettes.

5. Création d'axe

- Sélectionner Axe de la barre de la barre d'outils, sélectionner ensuite outils de création d'axe dans la boîte de dialogue, modifier le nom de l'alignement puis OK
 - Dans la boîte de dialogue, sélectionner tangente-tangente (avec courbes)
 - Dessiner l'axe en suivant les différents points de l'itinéraire.
6. Création de profil en longs
- Sélectionner Lg profil long de la barre d'outils, sélectionner créer une ligne de profil en long de surface, dans la boîte de dialogue cliquer sur suivant au niveau de général jusqu'au niveau de la bande où il faut sélectionner no bands ou Cut and fill puis suivant puis au niveau de option hachures de ligne de profil en long, toujours niveau de la boîte de dialogue, sélectionner les hachures qu'on veut donner à la surface de déblais ou de remblais, puis cliquer sur crée un dessin de profil en long et enfin faire un clic gauche sur la fenêtre de travail où on veut voir apparaître le profil en long.
7. Création profil en long projet
- Même procédure que précédemment mais ici sélectionner outils de création de ligne de profil en long après sélectionner Lg profil en long de la barre d'outils. En suite sélectionner la ligne du profil en long du terrain naturel, dans la boîte de dialogue qui va apparaître, modifier le nom du profil en long puis cliquer OK. La suite comme précédemment ; sélectionner dessiner des tangentes avec courbes puis tracer le profil.
8. Génération de remblais et déblais
- Sélectionner le profil, sélectionner propriétés du dessin de profil en long, dans la boîte de dialogue, sélectionner bandes, ajouter Cut data puis full data, puis cliquer sur appliquer puis OK.
9. Créer tabulations
- Sélectionner tabulations de la barre d'outils, puis sélectionner l'axe du projet qui se trouve dans la surface créée, dans la boîte de dialogue, modifier le nom puis cliquer sur OK.
 - Dans la fenêtre qui s'ouvre sélectionner méthodes de création de tabulation, dans la liste, sélectionner par intervalle puis OK. Dans la boîte de dialogue, modifier la taille de l'intervalle puis cliquer sur entrée.
10. Dessiner le profil en travers
- Sélectionner dessiner profils en travers de la barre d'outils, puis cliquer sur créer plusieurs vues, cliquer sur suivant, sélectionner brouillon puis appliquer puis OK
 - Sélectionner un endroit voulu dans la fenêtre de travail où vont apparaître les profils en travers

11. Créée un profil en travers type

- Sélectionner création profil type de la barre d'outils, pointer où tracer son profil, cliquer sur palette d'outils, dans palette d'outils choisir la vois, la barre, l'accotement, ... puis faire miroir en sélectionnant miroir de la barre d'outils.

12. Créer projet 3D

- Sélectionner projet 3D de la barre d'outils, puis sélectionner corridor dans la liste qui apparait en suite modifier le nom.
- Sélectionner en suite propriétés ensuite surface, ensuite créer surface projet 3D, ensuite dans la boite de dialogue sélectionner indiquer le code, sélectionner, base puis ajouter en cliquant sur + puis sur limites de contours enfin sur appliquer.

2.8.3 Présentation des résultats

Les résultats obtenus avec le logiciel civil 3D sont les suivants et seront présentés dans la suite de ce travail :

- Profil en long du projet,
- Profil en travers,
- Tracé en plan et courbe de niveau,
- Profils en travers type,

2.9 Conclusion partielle

Dans ce chapitre il a été question de présenté le terrain qui va recevoir et supporter la structure.

Le but était de faire une représentation du projet a l'aide d'une vue aérienne généré par le logiciel google earth pro, et nous avons effectué le terrassement a l'aide du logiciel CIVIL 3D.

Chapitre 3

DIMENSIONNEMENT ET PRESENTATION DES RESULTATS

3.1 Introduction

Pour que le tronçon en étude soit conforme aux normes et aux exigences voulues (attendues), les différentes parties de la chaussée doivent être choisies selon le résultat obtenu moyennant le catalogue et cela de façon optimale.

Le dimensionnement est l'une des étapes fondamentales, un passage obligé d'un projet routier car il permet de déterminer les épaisseurs des couches qui donneront à la chaussée la capacité à résister aux agressivités du trafic généralement, et du climat dans des cas particuliers.

3.2 Levés topographiques [11]

L'étude topographique du tronçon en étude a été l'étape primordiale qui a permis de déterminer la position et l'altitude des points situés dans la zone étudiée.

Les procédés topographiques permettent de mesurer les détails de la surface de la terre et d'établir des cartes et des plans afin de les représenter. Il s'agit soit d'objets naturels, tels que plaines, collines, montagnes, cours d'eau, formations rocheuses ou forêts, soit d'objets créés par l'homme, tels que chemins, routes, bâtiments, villages ou étangs d'élevage. Une carte topographique peut également indiquer la pente du terrain. En effet, elle mentionne les points dont le niveau est élevé et ceux dont le niveau est bas, mais aussi la pente du terrain entre ces mêmes points.

Les descentes faites sur le tronçon en étude et grâce aux logiciels Google Earth et Civil 3D, ont permis de trouver les données topographiques, utiles pour cette étude.

Tableau 3-1 Levés topographiques [14]

Alignment Name: Axe Prison Munzenze			
Description:			
Station Range : Start : 0000.00, End : 62052.00			
Station Increment : 25.00			
Station	Northing	Easting	Tangential Direction
0000.00	9815184.5822m	748647.5387m	N85° 12' 50.28"W
0025.00	9815186.6681m	748622.6259m	N85° 12' 50.28"W
0050.00	9815188.7540m	748597.7131m	N85° 12' 50.28"W
0075.00	9815191.1950m	748572.8371m	N81° 47' 24.39"W
0100.00	9815194.9761m	748548.1247m	N81° 16' 59.03"W
0125.00	9815198.7649m	748523.4135m	N81° 16' 59.03"W
0150.00	9815202.5537m	748498.7023m	N81° 16' 59.03"W
0175.00	9815206.3391m	748473.9905m	N81° 37' 21.57"W
0200.00	9815209.5467m	748449.1973m	N82° 42' 39.72"W
0225.00	9815212.7185m	748424.3994m	N82° 42' 39.72"W
0250.00	9815216.0827m	748399.6285m	N81° 01' 17.24"W
0275.00	9815219.9843m	748374.9348m	N81° 01' 17.24"W
0300.00	9815224.0151m	748350.2624m	N80° 11' 07.69"W
0325.00	9815228.2766m	748325.6283m	N80° 11' 07.69"W
0350.00	9815233.7853m	748301.2914m	N69° 25' 12.38"W
0375.00	9815243.7777m	748278.3846m	N68° 56' 14.40"W
0400.00	9815252.7625m	748255.0549m	N68° 56' 14.40"W
0425.00	9815259.9325m	748231.2029m	N83° 57' 25.94"W
0450.00	9815256.9543m	748206.5907m	S71° 52' 20.72"W
0475.00	9815249.3021m	748182.7938m	S76° 13' 28.31"W
0500.00	9815248.7441m	748157.9764m	N80° 45' 10.53"W
0525.00	9815252.7614m	748133.3013m	N80° 45' 10.53"W
0550.00	9815256.3534m	748108.5612m	N81° 52' 39.11"W
0575.00	9815260.4207m	748083.9147m	N75° 34' 08.88"W
0600.00	9815265.4120m	748059.4483m	N81° 25' 58.09"W

3.3 Caractéristiques géométriques [16]

3.3.1 Courbe de niveau du site

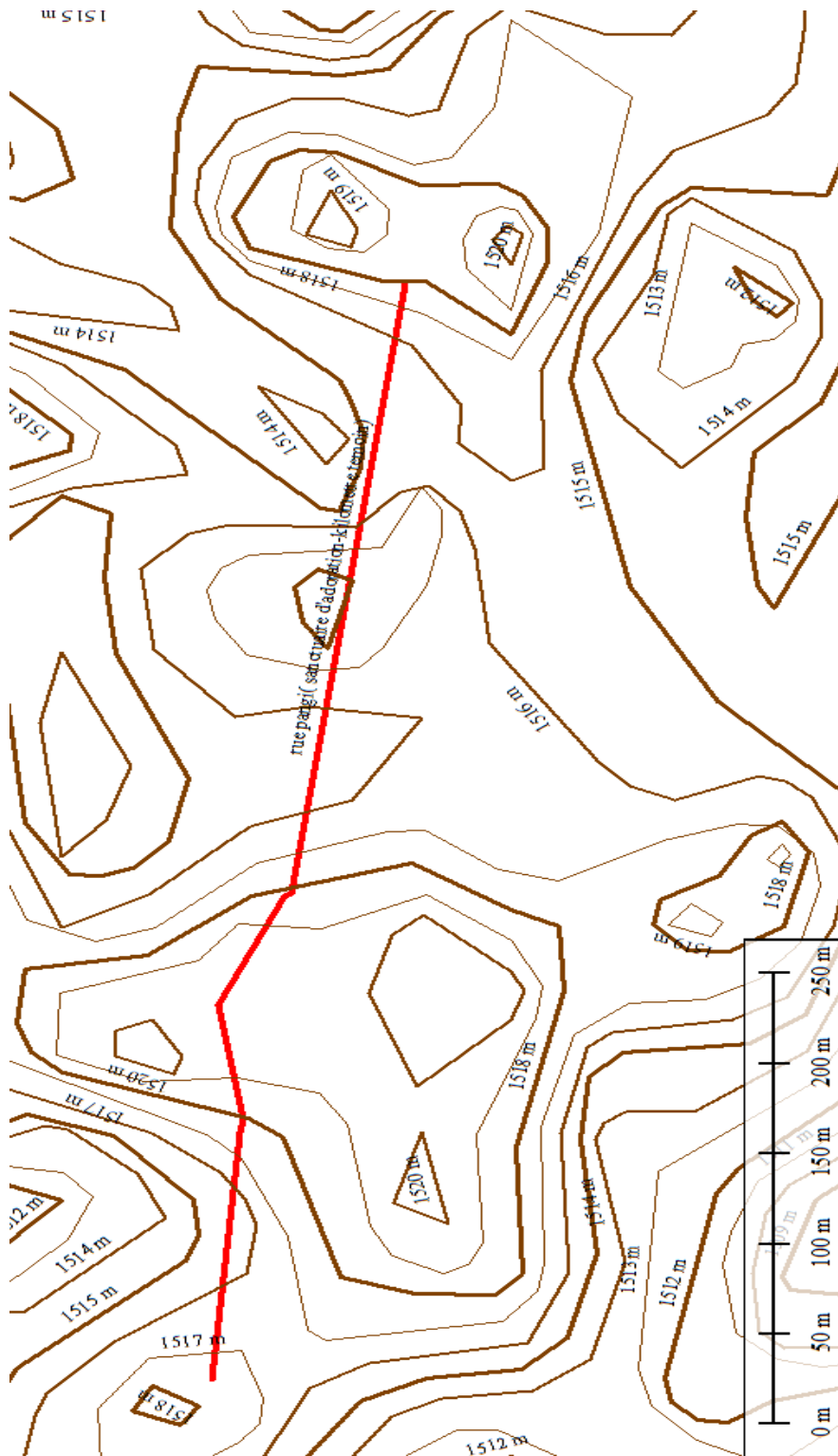


Figure 3-1 Courbe de niveau du site [16]

3.3.2 Vue en plan

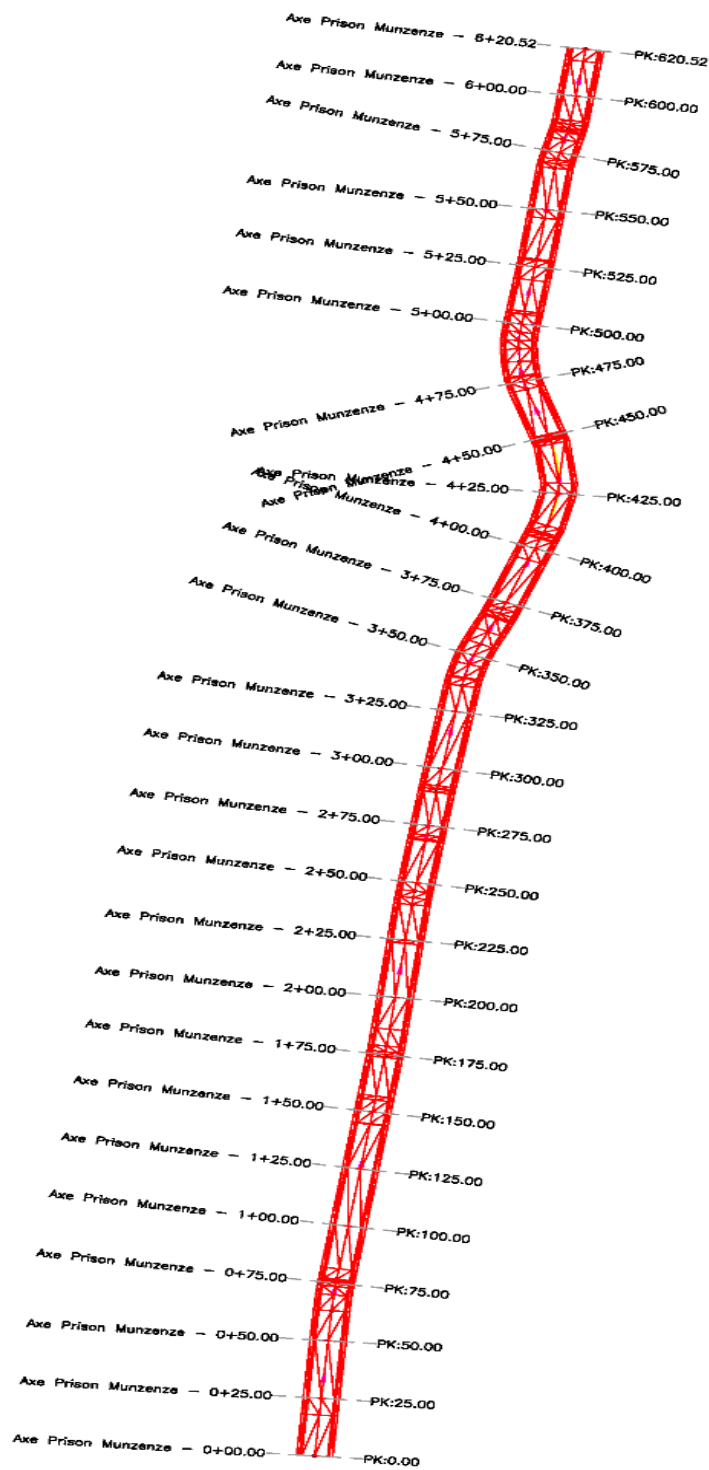


Figure 3-2 Vue en plan de la rue pangi [16]

3.3.3 Profil en long

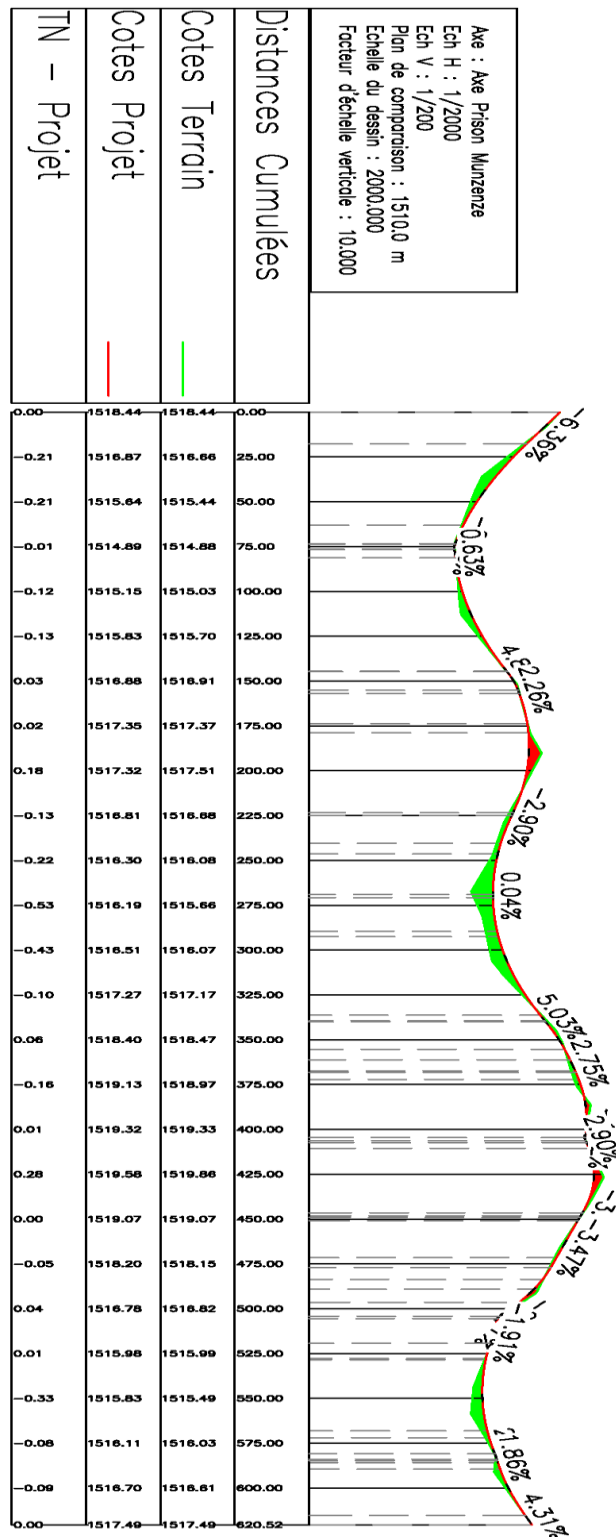


Figure 3-3 Profil en long de la rue Pangi [16]

3.3.4 Profil en travers type

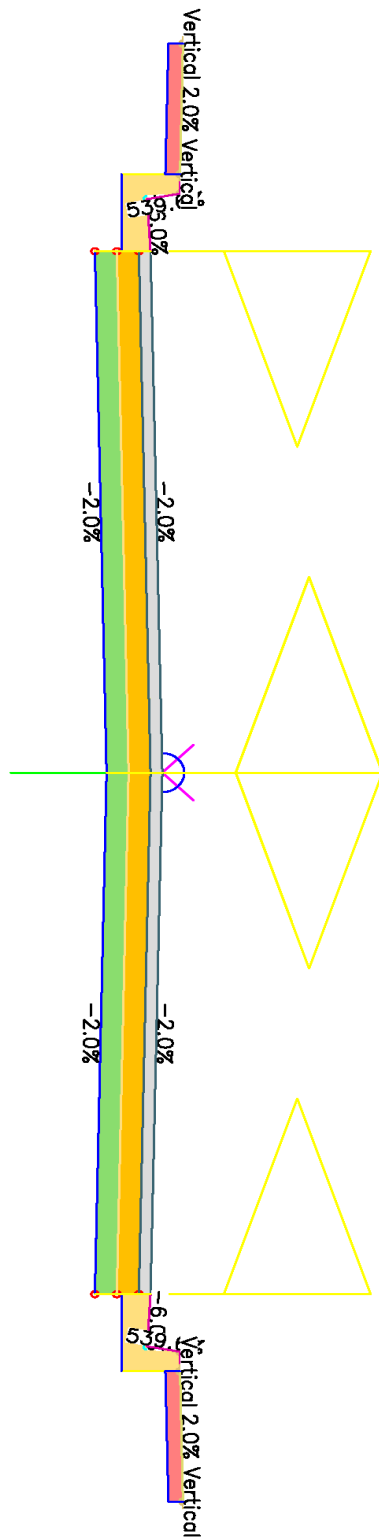


Figure 3-4 Profil en travers type [16]

3.3.5 Profil en travers courant PK0+00.00

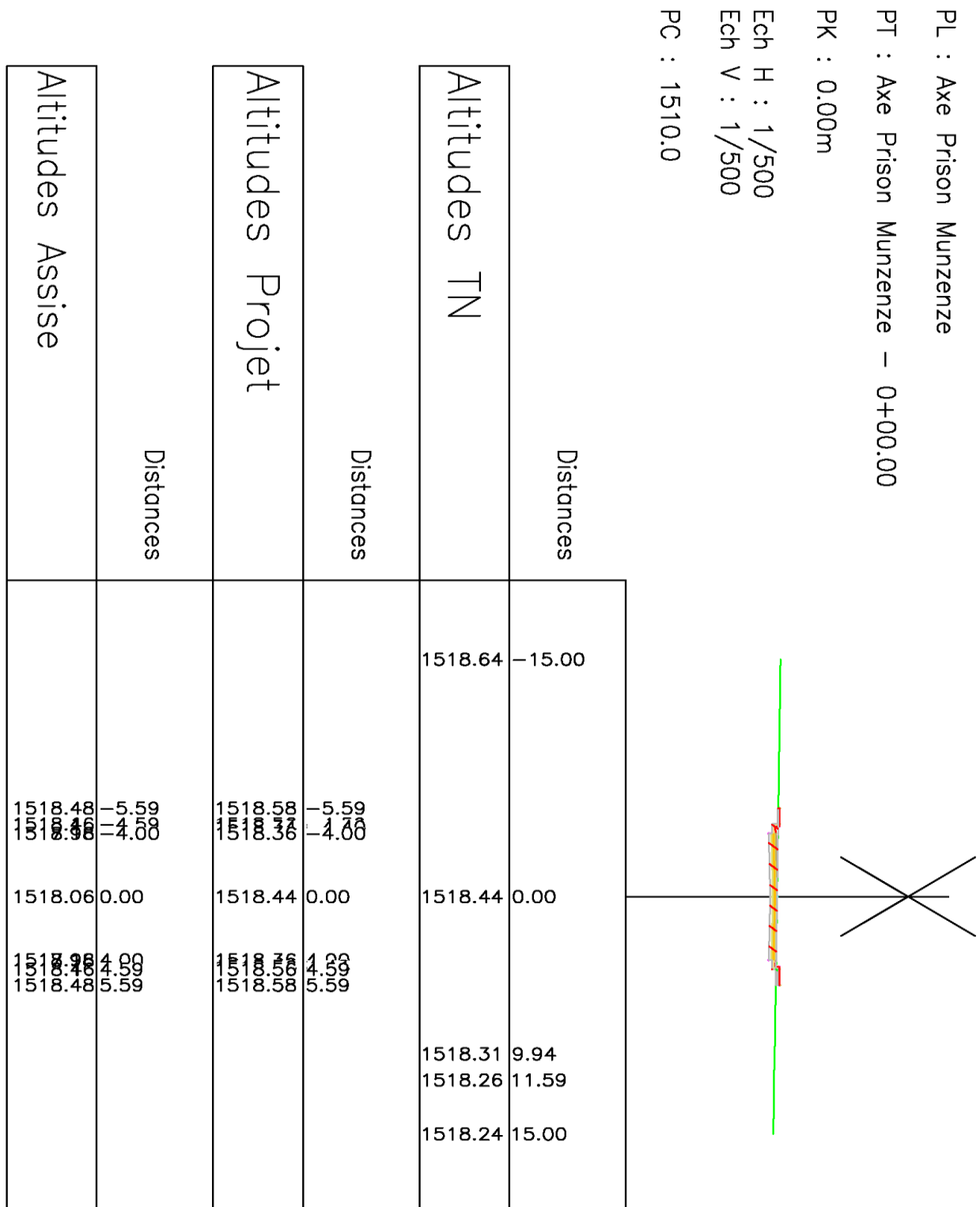


Figure 3-5 Profil en travers courant [16]

3.4 Dimensionnement

3.4.1 Méthode de dimensionnement utilisé

Toutes les méthodes énumérées ci-dessus prennent en compte le trafic (actuel et future), la durée de service et le coefficient d'agressivité ; celle qui sera utilisée pour dimensionner notre projet est **la méthode CEBTP** (Centre d'Essais du Bâtiment et des Travaux Publics) qui est l'une de méthodes empiriques, utilisant les abaques qui à partir du trafic, de la portance du sol support et de la zone climatique, détermine les épaisseurs des couches de fondation, de base et de revêtement en proposant les matériaux à utiliser.

3.4.2 Facteurs pris en compte pour le dimensionnement par la méthode CEBTP [15]

3.4.2.1 Le trafic

Le trafic est le facteur le plus agressif pour la route. Il entraîne le polissage des granulats de la couche de roulement, le frottement inter granulaire dans le corps de chaussées, l'apparition des fissures longitudinales et transversales dans la couche de roulement, la formation des ornières à certains points, d'où sa considération est impérative dans le dimensionnement.

Le trafic exprime pour une voie de circulation le nombre de passages de véhicules dans une période bien déterminée.

Le trafic reste le paramètre du dimensionnement des chaussées le plus mal connu, il faudrait que les autorités responsables fassent effectuer des enquêtes portant sur le nombre et la répartition des véhicules et de leur charge, des campagnes de comptage et de pesage sont indispensables pour lever les incertitudes dans ce domaine.

Les taux de croissance du trafic doivent être appréciés avec suffisamment de précision pour que les calculs de trafics cumulés sur la durée de vie supposée de la chaussée à construire puissent être crédibles.

Les chaussées sont dimensionnées par rapport au trafic poids lourds (PL) [5], car seuls les véhicules lourds, plus de 50 KN ou 5 Méga grammes (Mg) ou 5 tonnes de charge utile (CU), Soit environ plus de 90KN ou 9 Méga grammes (Mg) ou 9 tonnes de poids total en charge autorisé (PTCA), ont un effet significatif sur la fatigue des chaussées.

Cet effet est très largement fonction de la charge par essieu des véhicules : un essieu chargé à 130KN ou 13 Méga grammes (Mg) ou 13 tonnes est en moyenne 4 à 5 fois plus agressif qu'un essieu chargé à 100 KN ou 10 Méga grammes (Mg) ou 10 tonnes.

Ceci est démontré par formule d'équivalence d'essieux [3] :

- C est l'équivalence d'essieux, exprimant la capacité de destruction d'un type quelconque d'essieu, en comparaison à l'essieu de référence ;
- est la charge sur un essieu quelconque ;
- est la charge sur l'essieu de référence ;
- α est le coefficient d'équivalence d'essieu dépendant des matériaux avec des valeurs du Tableau 3-2 suivant

Tableau 3-2 coefficient d'équivalence d'essieu de LIDDLE et VERSTRAETEN

Matériau/Couche	LIDDLE	VERSTRAETEN
Chaussée souple	4,00	-
Chaussée rigide	8,00	-
Chaussée semi rigide	4,00 à 8,00	-
BB de revêtement	-	4,17
BB de couche de base	-	5,00
Sol de fondation	-	4,00

1) Pour une chaussée souple on a :

$$C = \left(\frac{10}{13}\right)^4 = 0,35 \text{ Et } C = \left(\frac{13}{13}\right)^4 = 1 ;$$

1/0,35=2,85 (l'essieu de 13 tonnes est 2,85 fois plus agressif que l'essieu de 10 tonnes pour une chaussée souple)

2) Pour une chaussée rigide

$$C = \left(\frac{10}{13}\right)^8 = 0,12 \text{ Et } C = \left(\frac{13}{13}\right)^8 = 1$$

1/0,12=8,33 (l'essieu de 13 tonnes est 8,33 fois plus agressif que l'essieu de 10 tonnes pour une chaussée rigide)

3) Pour une chaussée avec un revêtement en béton bitumineux

$$C = \left(\frac{10}{13}\right)^{4,17} = 0,33 \text{ Et } C = \left(\frac{13}{13}\right)^{4,17} = 1$$

1/0,33=3 (l'essieu de 13 tonnes est 3 fois plus agressif que l'essieu de 10 tonnes pour une chaussée avec un revêtement en béton bitumineux)

4) Pour une chaussée avec une couche de base en en béton bitumineux

$$C = \left(\frac{10}{13}\right)^{5,0} = 0,26 \text{ Et } C = \left(\frac{13}{13}\right)^{5,0} = 1$$

1/0,26=3,8 (l'essieu de 13 tonnes est 3,8 fois plus agressif que l'essieu de 10 tonnes pour une chaussée avec une couche de base en en béton bitumineux)

5) Pour un sol de fondation

$$C = \left(\frac{10}{13}\right)^4 = 0,35 \text{ Et } C = \left(\frac{13}{13}\right)^4 = 1 ;$$

1/0,35=2,85 (l'essieu de 13 tonnes est 2,85 fois plus agressif que l'essieu de 10 tonnes pour un sol de fondation)

En faisant la moyenne de ces 5 résultats nous trouvons : $\frac{2,85+8,33+3+3,8+2,85}{5} = 4,16$

Les véhicules légers, c'est-à-dire dont le poids est inférieur à 3 tonnes, par contre, ont un effet négligeable sur les chaussées, ils provoquent uniquement une usure de la couche de roulement et éventuellement une pollution de celle-ci.

Le seul trafic qui sera pris en compte est le trafic lourd : utilitaires et transport en commun (TC).

a. Les classes de trafic poids lourds [5]

La classe de trafic (Ti) est déterminée à partir du trafic poids lourds (P.T.C.A. > 35 KN ou 3,5 Méga grammes (Mg) ou 3,5 tonnes) journalier moyen (MJA) de la voie la plus chargée pendant l'année de mise en service.

(P.T.C.A. = Poids Total en Charge Autorisé)

Remarque :

Il s'agit de poids lourds, au sens du Code de la Route : P.T.C.A. supérieur ou égal à 35 KN ou 3,5 Méga grammes (Mg) ou 3,5 tonnes et de véhicules de transport en commun (TC).

Pour cela, le CEBTP propose les classifications des trafics pour les pays tropicaux :

➤ **Classification des trafics Poids Lourds par essieux standard**

Tableau 3-3 trafics Poids Lourds par essieux standard [10]

Classe de trafic	NE (essieux standard de 13 t)	Trafic moyen journalier-Annuel
T1	≤ 5 .	300
T2	5. – 1,5.	300 – 1000
T3	1,5. – 4.	1000 – 3000
T4	4. –	3000 – 6000
T5	– 2.	6000 – 12000

➤ **Classification des trafics poids lourds par jour et par sens**

On distingue donc, six classes de trafic en fonction du nombre total de poids lourds :

- soit par voie de circulation,
- soit sur la voie la plus chargée,
- soit sur la voie concernée,

Tableau 3-4 Classes de trafics poids lourds par jour et par sens [10]

Les classes de trafic Poids Lourds (PL)	La Moyenne Journalière Annuelle (MJA)
T0	$T0 \geq 750 \text{ PL/jour/sens}$
T1	$300 \text{ PL/jour/sens} \leq T1 < 750 \text{ PL/jour/sens}$
T2	$150 \text{ PL/jour/sens} \leq T2 < 300/\text{jour/sens}$
T3	$50 \text{ PL/jour/sens} \leq T3 < 150 \text{ PL/jour/sens}$
T4	$25 \text{ PL/jour/sens} T4 < 50 \text{ PL/jour/sens}$
T5	$T5 < 25 \text{ PL/jour/sens}$

Les classes de trafic les plus élevées T0 et T1 ne peuvent se rencontrer que sur les voies les plus importantes :

- T0 sur les voies de transit interurbaines ou périurbaines,
- T1 sur ces mêmes voies ainsi que sur les voies de liaison ou structurantes.

A l'opposé, sur les voies de desserte, de lotissement et les voies rurales, les 2 seules classes rencontrées sont T4 et T5.

➤ **Trafic en nombre cumule Poids lourds**

Tableau 3-5 Classes de trafic en nombre cumulé de poids lourds [10]

< 5.10 ⁵	T1
De 5.10 ⁵ à 1,5 10 ⁶	T2
De 1,5.10 ⁶ à 4.10 ⁶	T3
De 4.10 ⁶ à 10 ⁷	T4
De 10 ⁷ à 2.10 ⁷	T5

APPLICATION

La détermination du trafic dans le cadre de ce travail a été effectuée par le comptage manuel, et cela sur une période de 14 Jours en commençant de 8h30 à 17h30. Comme c'est une route a deux entrées nous avons divisé notre prélèvement en 2 car tous les véhicules qui circulent sur la route n'arrivent pas nécessairement à l'autre bout du tronçon, nous avons pris 7 jours pour chaque extrémité du tronçon, et nous avons trouvé les données suivantes :

Tableau 3-6 Prélèvement du trafic par comptage manuel

DONNEES RECUEILLIS PAR COMPTAGE MANUEL POUR DETERMINER LE TRAFIC	
EXTREMITE 1 : SANCTUAIRE D'ADORATION	EXTREMITE 2 : KILOMETRE TEMOIN
DIMANCHE 13/3/2022 PL :4 ; TC :5 ; VL :43	SAMEDI 26/3/2022 PL :4 ; TC :4, VL :17
MERCREDI 16/3/2022 PL :10 ; TC :6 ; VL :30	DIMANCHE 27/3/2022 PL :0 ; TC :13 ; VL :17
VENDREDI 18/3/2022 PL :3 ; TC :4 ; VL :20	JEUDI 7/4/2022 PL :3 ; TC :12 ; VL :18
SAMEDI 19/3/2022 PL :9 ; TC :7 ; VL :13	DIMANCHE 10/4/2022 PL :0 ; TC :10 ; VL :32

LUNDI 21/3/2022 PL :0 ; TC :6 ; VL :18	MERCREDI 13/4/2022 PL :8 ; TC :3 ; VL :17
MARDI 22/3/2022 PL :8 ; TC :2 ; VL :13	SAMEDI 16/4/2022 PL :6 ; TC :5 ; VL :19
MERCREDI 23/3/2022 PL :9 ; TC :8 ; VL :14	MERCREDI 20/4/2022 PL :3 ; TC :0 ; VL :13

Avec ces chiffres nous trouvons que la moyenne journalière des Poids lourds est de 4.7 donc 5 qui correspond à une voie de lotissement rural et dont la durée de service est de 15 ans. [5]

Le nombre des passages est donné par la formule [4] :

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

Si on applique la formule du trafic cumulé ci-haut avec

- A : Coefficient d'agressivité, $A = (\frac{P}{13})\delta$, avec $\delta = 4.5$
- P : Charge de référence par essieu, P=13 tonnes (RDC)
- r : le taux d'accroissement géométrique de 7%
- n : la durée de service de 15 ans
- T : moyenne journalière des trafics poids lourds

On prévoit un dépassement de charge de 15% comme marge de sécurité pour raison de surcharge, on aura :

$$A = (\frac{P+0.1P}{13})\delta = (\frac{13+0.15 \times 13}{13}) \times 4.5 = 5.17$$

En faisant l'application numérique de la formule on a :

$$N = 365 \times 5 \times 5.17 \times \frac{(1+0.07)^{15}-1}{0.07} = 237098.6 \text{ Passages} = 2,370986.10^6 \text{ passages}$$

En se référant au Tableau 3-5 **2,370986.10⁶ passages** poids lourds avec essieux standard de 13t est un trafic de classe **T1** selon le catalogue CEBTP.

3.4.2.2 L'agressivité du trafic et le coefficient d'agressivité [4]

Pour dimensionner une chaussée on doit également tenir compte de l'agressivité du trafic qu'elle subit. Cette agressivité est due en grande partie au passage des véhicules poids lourds.

On va définir successivement : l'agressivité, l'agressivité d'un essieu d'un poids lourd, d'un trafic et enfin le coefficient d'agressivité.

Le terme *agressivité* désigne les dommages causés à une chaussée par le passage d'un ou plusieurs essieux.

L'agressivité d'un essieu est le dommage relatif causé à un type de chaussée donné par le passage d'un ou plusieurs essieux de poids P rapporté à l'essieu standard de référence.

L'agressivité d'un poids lourd, c'est la somme arithmétique des agressivités des essieux du poids lourd.

L'agressivité d'un trafic c'est la somme arithmétique des agressivités de l'ensemble des poids lourds passant sur une chaussée.

Le coefficient d'agressivité permet de déterminer par une méthode simplifiée de calcul d'une chaussée, l'agressivité d'un trafic de poids uniquement par le nombre de passages de poids lourds sans connaître les charges par essieu. Ce coefficient est déterminé empiriquement, jusqu'à ce jour.

3.4.2.3 La durée de service [4]

On définit la durée de service, comme la durée pour laquelle l'ouvrage réalisé n'entraînera aucun entretien structurel.

La durée de vie est un facteur est un facteur directement proportionnel au trafic attendu et donc, d'office proportionnel au cout de mise œuvre de la chaussée. En d'autres termes, plus la durée de vie est élevée, plus la route est de classe élevé en terme de trafic. Généralement il est admis que la chaussée soit construite pour une durée de 15 ans avant que ses caractéristiques progressivement ne rendent nécessaire son renforcement. Toutefois, en fonction du trafic équivalent en nombre d'un essieu standard, il est possible de dimensionner une chaussée pour une durée de vie quelconque.

3.4.2.4 Portance de la plate-forme [4]

Généralement la plate-forme est considérée comme la couche supérieure des terrassements. Il est indispensable de disposer d'une bonne assise pour que le corps de la chaussée soit mis en place dans des conditions satisfaisantes et pour qu'il conserve dans le temps une indéformabilité suffisantes et pour qu'il conserve dans le temps une indéformabilité suffisante.

APPLICATION

Dans le cas du tronçon en étude, selon la Figure 3-6 Catalogue CEBTP les essais effectués au laboratoire de l'OVD indiquent que le sol en place (scories volcaniques) a une valeur moyenne de CBR à 95% de l'OPM de 17 (à 25 coups par couche et après 4 jours d'immersion), ce sol constitue la plate-forme de notre route.

D'après le guide CEBTP, le tableau des sols le Tableau 3-7 montre qu'on retient la portance **S4**

Tableau 3-7 Classe des sols selon la classification française CEBTP [10]

N°	CBR de la plate-forme	Classe des sols
1	CBR <5	S1
2	5 < CBR < 10	S2
3	10 < CBR < 15	S3
4	15 < CBR < 30	S4
5	30 < CBR	S5

3.4.3 Epaisseur des différentes couches retenues pour la chaussée [15]

Selon le catalogue CEBTP à sa page 39 dont voici l'extrait Figure 3-6 Catalogue CEBTP, il nous est recommandé d'utiliser les épaisseurs des couches suivantes :

Tableau 3-8 Epaisseur des couches recommandées par le CEBTP [10]

Couche	Epaisseur en Cm	Matériau
Revêtement	8	Pavé en Basalte
Base	15	Scorie volcanique
Fondation	15	Scorie volcanique

3.4.4 Volume des couches [16]

Les volumes des couches dans le Tableau 3-9 Cubature ont été automatiquement générés par le logiciel CIVIL 3D dans le but de pouvoir utiliser les données récoltées pour faire un devis estimatif des coûts des matériaux.

Tableau 3-9 Cubature [16]

Roulement: Volume				Base : Volume				Form	
PK	Surface	Volume	Vol cumulé	PK	Surface	Volume	Vol cumulé	PK	Surf
0.00	0.64	0	0	0.00	1.20	0	0	0.00	
25.00	0.64	16	16	25.00	1.20	30	30	25.00	
50.00	0.64	16	32	50.00	1.20	30	60	50.00	
75.00	0.64	16	48	75.00	1.20	30	90	75.00	
100.00	0.64	16	64	100.00	1.20	30	120	100.00	
125.00	0.64	16	80	125.00	1.20	30	150	125.00	
150.00	0.64	16	96	150.00	1.20	30	180	150.00	
175.00	0.64	16	112	175.00	1.20	30	210	175.00	
200.00	0.64	16	128	200.00	1.20	30	240	200.00	
225.00	0.64	16	144	225.00	1.20	30	270	225.00	
250.00	0.64	16	160	250.00	1.20	30	300	250.00	
275.00	0.64	16	176	275.00	1.20	30	330	275.00	
300.00	0.64	16	192	300.00	1.20	30	360	300.00	
325.00	0.64	16	208	325.00	1.20	30	390	325.00	
350.00	0.64	16	224	350.00	1.20	30	420	350.00	
375.00	0.64	16	240	375.00	1.20	30	450	375.00	
400.00	0.64	16	256	400.00	1.20	30	480	400.00	
425.00	0.64	16	272	425.00	1.20	30	510	425.00	
450.00	0.64	16	288	450.00	1.20	30	540	450.00	
475.00	0.64	16	304	475.00	1.20	30	570	475.00	
500.00	0.64	16	320	500.00	1.20	30	600	500.00	
525.00	0.64	16	336	525.00	1.20	30	630	525.00	
550.00	0.64	16	352	550.00	1.20	30	660	550.00	
575.00	0.64	16	368	575.00	1.20	30	690	575.00	
600.00	0.64	16	384	600.00	1.20	30	720	600.00	
620.52	0.64	13	397	620.52	1.20	25	745	620.52	

3.5 Assainissement

L'eau constitue le principal ennemi des chaussées. La première des dispositions à prendre consiste à donner à la chaussée une pente transversale suffisante (en général >2%) ou un bombement afin de chasser les eaux de ruissellement vers les caniveaux qui les évacuent vers des collecteurs et/ou des points bas.

Les caniveaux de drainage et d'évacuation des eaux de ruissellement seront disposés dans l'axe de la chaussée.

La collecte des eaux du caniveau central peut alors s'effectuer au moyen de bouches d'égout protégées par des grilles.

Pour ce projet, nous avons opté pour un fossé avec un revêtement en béton.

Forme : Nous optons pour une forme rectangulaire

Pour dimensionner le fossé de drainage nous allons utiliser la formule de dimensionnement des fossés de MANNING :

$$Q = V * A \rightarrow Q = \frac{1}{\eta} * R_h^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}} * A \quad [3]$$

V : la vitesse de l'écoulement en m/s (elle est limitée par la normalisation) : 3m/s

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

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

R : le rayon hydraulique pour une section rectangulaire (il traduit la puissance hydraulique de l'ouvrage) : $R_h = \frac{bh}{b+2h}$ avec h la profondeur hydraulique : 0,2m et b la largeur du fossé : 0,3m.

$$R_h = \frac{0,3 * 0,2}{0,3 + 2 * 0,2} = 0,085 \text{ m}$$

A : la surface ; $L * l = 0,4 * 0,3 = 0,12 \text{ m}^2$

$$Q = \frac{1}{0,015} * 0,085^{\frac{2}{3}} * 1^{\frac{1}{2}} * 0,12 = 7,177 \text{ m}^3$$

Les dimensions de la section rectangulaire du fossé sont : Longueur 0,4m et largeur 0,3m

3.6 Cubature

Le Tableau 3-10 ci-dessous a été généré à partir du logiciel Autocad CIVIL 3D, il représente les volumes des remblais et déblais

Tableau 3-10 Volume des cubes de terre [14]

Table des volumes déblai/remblai totaux							
PK	Surface déblai	Vol déblai	Vol déblai cumulé	Surface remblai	Vol remblai	Vol remblai cumulé	Vol net
0.00	3.72	0	0	0.10	0	0	0
25.00	1.82	69	69	0.51	8	8	62
50.00	1.82	45	115	0.50	13	20	95
75.00	3.72	69	184	0.20	9	29	155
100.00	2.79	81	266	0.24	6	34	231
125.00	2.44	65	331	0.39	8	42	288
150.00	4.08	82	412	0.08	6	48	364
175.00	3.93	100	512	0.06	2	50	462
200.00	5.68	120	632	0.00	1	51	582
225.00	2.49	102	735	0.32	4	55	680
250.00	1.65	52	786	0.52	11	65	721
275.00	0.00	21	807	2.31	35	101	706
300.00	0.16	2	809	1.36	46	147	662
325.00	2.74	36	845	0.27	20	167	678
350.00	4.22	87	933	0.20	6	173	760
375.00	2.40	83	1015	0.44	8	181	834
400.00	3.85	78	1094	0.11	7	188	906
425.00	6.75	132	1226	0.00	1	189	1037
450.00	3.71	131	1357	0.09	1	190	1166
475.00	3.24	87	1444	0.16	3	194	1250
500.00	4.27	95	1538	0.19	4	198	1341
525.00	3.94	103	1641	0.32	6	204	1437
550.00	0.98	61	1702	1.09	18	222	1481
575.00	3.00	50	1752	0.28	17	238	1514
600.00	2.83	73	1825	0.25	7	245	1580
620.52	3.69	67	1892	0.12	4	249	1643

3.7 Conclusion partielle

Dans ce chapitre, il s'agissait de montré à l'aide du logiciel CIVIL 3D, les données topographiques que nous avons relevées, nous avons présentes les résultats obtenus via les abaques CEBTP et nous avons généré les caractéristiques géométriques de la chaussée en étude

3.8 Devis estimatif des couts des travaux

En nous servant des données recueillis dans le Tableau 3-10 Volume des cubes de terre, nous pouvons faire un devis estimatif des couts des matériaux à utiliser pour la réalisation de la structure.

Tableau 3-11 devis estimatif du cout des travaux

Désignation	Unité	Quantité	P.U (\$)	P.T (\$)
Compactage de matériaux	m ²	1465	23	33695
Matériaux couche de base	m ³	780	55	42900
Sable lit de pose	m ³	113	18,33	2071,29
Pavés	Pavé	226800	0,25	56700
Bordure préfabriquée	Bordure	1102	8	8816
Ciment	Sac	130	14	1820
Total				149302,3
Installation du chantier 1%				1642,32
Imprévus 10%				14930,23
Main d'œuvre 30%				4976,23
Total général				165874,85

Le montant estimatif pour la réalisation théorique de la structure est de 165874,85 \$.

Conclusion générale

Dans cette étude, il a été question de présenter une conception et un dimensionnement d'une chaussée longue de 0,63 Km allant du croisement entre la rue Pangi et le boulevard Julien Paluku jusqu'à 2 lampes.

La construction d'une chaussée s'effectue sur base d'un ensemble des principes et connaissances et prend place dans une délimitation temporelle bien précise. Les principes guident les études et ces dernières mènent à l'exécution pour obtenir une structure.

Cette étude nous a permis de répondre aux différents problèmes rencontrés qu'on a énumérés dans l'introduction comme la gestion des eaux stagnantes et ses conséquences sur la santé, les embouteillages, les inconforts suites aux nids des poules, etc. ...

Nous nous sommes proposés de faire la construction d'une chaussée avec un trottoir de 1m de largeur, des ouvrages de drainage des eaux pour l'évacuation des eaux superficielles.

Ce travail a été pour nous une occasion d'étude et de fixation d'idées novatrices en matière des infrastructures routières en générale et plus particulièrement les chaussées revêtues en pavés.

Grâce à ce travail nous sommes désormais capables de dimensionner une chaussée en tenant compte de plusieurs facteurs comme le trafic, la portance du sol et la durée de vie avec lesquels nous avons atteint nos objectifs.

Pour que la praticabilité d'une chaussée pavée dure longtemps, nous recommandons que l'entretien se fasse régulièrement surtout le débouchage des caniveaux, le respect de la charge recommandée par les essieux, ceci nous amène à instruire les autorités chargées des voies de communication d'accomplir leur tâche de sensibilisation de contrôle des charges et surcharge sur les chaussées.

Nos recommandations s'adressent aussi à la population, les principaux usagers, d'éviter les pratiques inciviques sur les chaussées.

La porte de recherche est grandement ouverte à ceux qui nous lisons et voudront poursuivre nos recherches dans ce vaste domaine afin de l'améliorer et l'approfondir dans le but de désenclaver de

notre pays la République Démocratique du Congo et particulièrement la ville de Goma qui ne cesse d'observer une croissance démographique exponentielle.

Bibliographie

- [1] A. BRESSON, *PROPOSITION D'UNE MÉTHODE DE CONCEPTION DES CHAUSSÉES REVÊTUES DE PAVÉS DE BÉTON EN ZONE URBAINE ET NORDIQUE*, Quebec: Université LAVAL, 2010.
- [2] CHARQUIN, "wikipedia," wiki, 9 octobre 2022. [Online]. Available: fr.wikipedia.org/wiki/special:history/voie_appienne. [Accessed 21 novembre 2022].
- [3] D. G. KASHALA, *Cours de route G3 Genie Civil*, Goma: Ulpgl/Goma, 2022.
- [4] C. BABILOTTE, C. SOULIE and CETE DE LYON, *DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES FASCICULE 2*, lyon: Guide technique communautaire, 1998.
- [5] A. Jean-Pierre , Christian BABILOTTE, Antoine DE BOISSOUDY, Gilbert CAROFF and Jean-Luc DELORME, *CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES DE CHAUSSÉE*, Paris: le laboratoire Central des Ponts et chaussee, 1994.
- [6] M. MULOLWA, *conception d'une chaussée revêtue de pavés en pierre volcanique de Goma:*, GOMA/DRC: ULPGL-GOMA, 2012.
- [7] O. D. Myttenaere, "Code de bonne pratique pour la mise en oeuvre des revêtements en pavés de béton," *Wegecongres*, Bruxelles, 2009.
- [8] D. & UNICEM, "Carrières des roches massives et potentielles écologiques," Unicem, Paris, 2012.
- [9] S. BIBAGENTYO MUGISHO, *USAGE DE PIERRES VOLCANIQUES TAILLÉES DANS LA CONSTRUCTION DES ROUTES PAVÉS (Cas du tronçon RN2-Stade moderne de Mugunga*, Goma: Ulpgl/Goma, 2018.
- [10] D.Normand, "slideshare," 4 mai 1974. [Online]. Available: shf-lhb.org. [Accessed 9 novembre 2022].
- [11] Googleearth, *rue pangi*, Goma: Google, 2022.
- [12] K.Nouria, "Topographie Partie1-Notions des bases," Liana levi, Paris, 2010.
- [13] J.P-ROY, "Dictionnaire professionnel du BTP," groupe Eyrolles, Lyon, 2011.
- [14] G.LIAUTAUD and E.BAGARRE, *GUIDE PRATIQUE DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES POUR LES PAYS TROPICAUX*, Paris: La documentation française, 1984.

- [15] K. B. Bruno, conception et dimensionnement d'une route en pavé sise tronçon college Mwanga-boulevard enock Nyamwisi Muvungi, GOMA: ULPGL/DRC, 2020.
- [16] *Autodesk CIVIL 3D*, Goma: Autodesk, 2022.
- [17] JUnit.org. [Online]. Available: <http://www.junit.org>. [Accessed 2 Janvier 2019].

Annexes

Catalogue CEBTP et fiche de l'essais CBR [10]

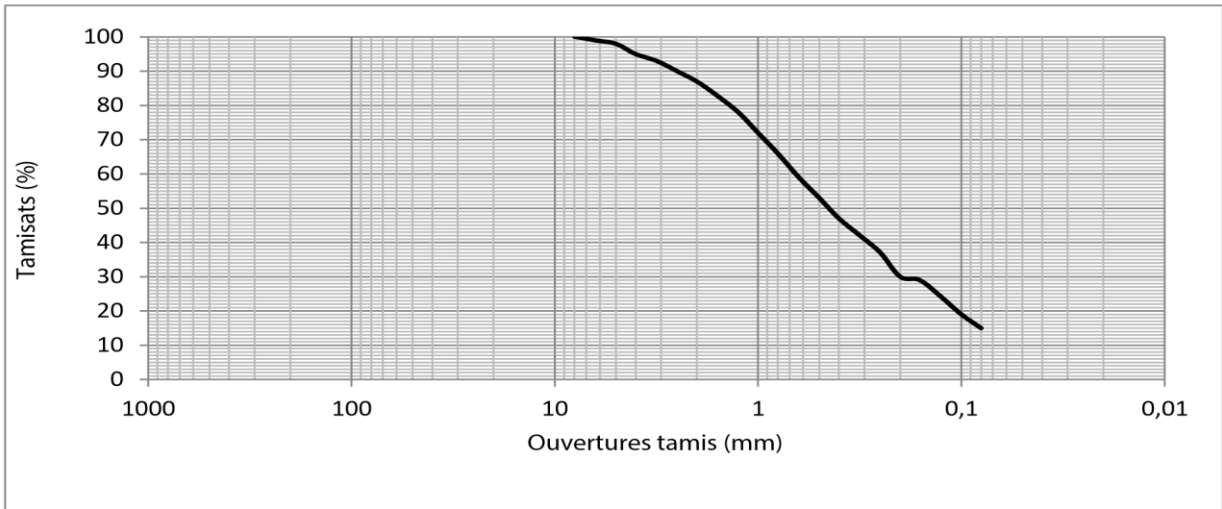
TRAFICS T₁ - T₂		S₁		S₂		S₃		S₄		S₅	
		T₁	T₂	T₁	T₂	T₁	T₂	T₁	T₂	T₁	T₂
REVÊTEMENT		Bc ou 3E	4E ou Tc	Bc ou 3E	4E ou Te	Bc ou 3E	4E ou Te	Bc ou 3E	4E ou Te	Bc ou 3E	4E ou Te
B	Sable bitume *	12	15	12	15	12	15	12	15	12	15
F	Sable argileux	40	45	30	30	20	25	15	20	0	0
B	Sol chaux *	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20
F	Sable argileux	40	45	30	30	20	25	15	20	0	0
B	Sable bitume *	12	15	12	15	12	15	12	15	12	15
F	Sol chaux	20	20	15	20	15	20	15	15	0	0
B	Concassé o/d	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
F	Sol chaux	20	20	15	20	15	20	15	15	0	0
B	Scories volcaniques sélectionnées * ou concassé o/d	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20
F	Scories volcaniques ou pouzzolanes	45	50	30	40	25	25	15	20	0	0
B	Béton de sol (graveleux latéritique + O/D ou + d/D concassé)	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20
F	Graveleux latéritique	45	45	35	35	25	25	15	20	0	0
B	Banco-coquillage amélioré au bitume *	10	☒	10	☒	10	☒	10	☒	12	☒
F	Banco-coquillage	45	☒	30	☒	20	☒	15	☒	0	☒

Figure 3-6 Catalogue CEBTP



DIRECTION PROVINCIALE
LABORATOIRE NATIONAL
DES TRAVAUX PUBLICS
ANTENNE DE GOMA

Chantier: MUNZENZE	Limites d'Atterberg (NF P 98 - 05)	classification
client: PK1+50	WL : 43.8%	NRC
Sondage:	WP :	
Echantillon:	IP :	HRB
Profondeur:		



ESSAI PROCTOR (NF P 98 - 093)		Correct. en f(m)	ESSAI CBR (NF P 98 - 078)			CBR à 95% de l'OPM		
$\gamma_{dmax}(t/m^3)$			Nbre cps	$\gamma_d(t/m^3)$	CBR	γ_d	0 jour	4 JOURS
	1,79	-	55	1,79	25	1,70		17
$W_{opm}(\%)$	15,8	-	25	1,70	17			
			10	1,61	14			

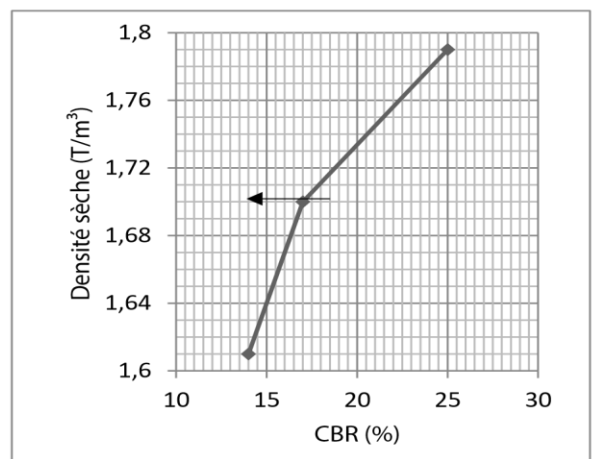
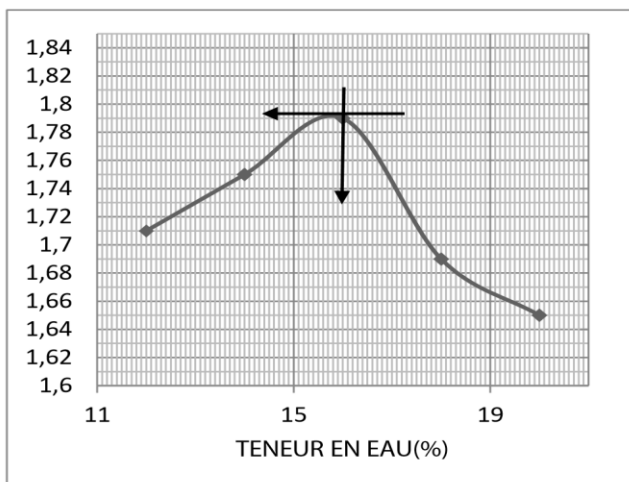


Figure 3-7 Essai CBR (laboratoire national des travaux publics)

