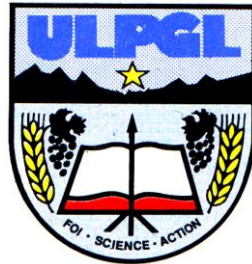


UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
APPLIQUEES



BP. 368 GOMA

www.ulpgl.net

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

AMENAGEMENT D'UNE CHAUSSEE EN BETON
BITUMINEUX (Application sur le tronçon CAJED-Station
Amani jm drc)

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

Par : **LUTU VATSURAKI Grâce**

Option : Génie Civil

Directeur : CT.Ir.BISHWEKA BIRYONDEKE C.

Encadreur : Ass. SYAITSUTWA Patrick

ANNEE ACADEMIQUE 2021 – 2022

DEDICACE

A tous les membres de ma famille, tant rapproché qu'éloigné, et de façon particulière à KANYERE VATSURAKI Germaine.

LUTU VATSURAKI Grâce

REMERCIEMENTS

Nous exprimons un profond sentiment de gratitude envers notre SEIGNEUR pour le souffle de vie qu'il continue de nous accorder.

Nous adressons également un sentiment de gratitude au CT.Ir. BISHWEKA BIRYONDEKE Chérif, directeur du travail, et à l'Ass. SYAITSUTSWA Patrick, encadreur du travail, pour nous avoir suivis tout au long de notre travail.

Nous remercions également le personnel de la Faculté des Sciences et Technologies Appliquées pour cette initiative qui enrichit nos connaissances.

Nous n'oublions pas de remercier notre mère KANYERE VATSURAKI Germaine pour le soutien tant moral que matériel qu'elle nous a apporté.

Nous ne pouvons pas terminer ce paragraphe sans pour autant remercier tous nos frères et sœurs ainsi que nos amis et connaissances à leurs titres respectifs, de façon particulière : PALUKU TEMBO Oscar, WASINGYA ZAWADI Synthiche, SADIKI JOSCELYN Noé, KATUNGU KOMBI Gisèle.

LUTU VATSURAKI Grâce

RESUME

Le présent travail consiste à faire une étude d'aménagement d'une chaussée revêtue en béton bitumineux. Après une étude documentaire des travaux antérieurs et du projet en cours à l'OR/GOMA, ce travail propose une application technique du tronçon CAJED-Station amani drc, cela permettant d'une part un raccordement entre les deux parties aménagées de la RN2 et d'autre part une contribution aux problèmes de circulation observés sur ce tronçon, mais aussi la diminution des embouteillages. Pour y parvenir, non seulement les logiciels AUTOCAD, COVADIS et CIVIL 3D ont été utilisés, qui ont généré tous les profils et la cubature de cette chaussée, mais également la méthode CEBTP pour le dimensionnement de la chaussée.

Après dimensionnement, nous avons fait le choix des matériaux qui constitueront notre chaussée : revêtement en béton bitumineux (7cm), couche de base et couche de fondation en concassés 0/D (35cm).

Mots clés : Aménagement, chaussée, béton bitumineux.

LISTE DES ABBREVIATIONS

BA : Béton Armé

BB : Béton Bitumineux

BBM : Béton Bitumineux Mince

BBTM : Béton Bitumineux Très Mince

CBR: Californian Bearing Ratio

CEBTP : Centre Expérimental de Recherche et d'Étude du Bâtiment et Travaux Publics

D.V.D.A : Direction de Voies de Desserte Agricole

GNT : graves non traités

Ir : Ingénieur

MTLH : matériaux traités aux liants hydrauliques

O.R : Office des Routes

O.V.D : Office des Voiries et Drainages

PF : Plate-Forme

PK : Point Kilométrique

R.D.C : République Démocratique du Congo

RAS : Rien à Signaler

TFC : Travail de Fin de Cycle

TPC : Terre-Plein-Central

U.L.P.G.L : Université Libre des Pays des Grands Lacs

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1. Avantages et inconvénients de l'asphalte</i> [5].....	13
<i>Tableau 2. Schéma d'itinéraire</i>	18
<i>Tableau 3. Capacité max en (l/s) des fossés triangulaires revêtues pour (h=0,60m)</i> [6]	33
<i>Tableau 4. Levés topographiques</i> [12]	34
<i>Tableau 5. Classes de trafic</i>	41
<i>Tableau 6. Classification française des sols</i>	42
<i>Tableau 7. Structure du trottoir</i>	44
<i>Tableau 8. Les matériaux de différentes couches</i>	46
<i>Tableau 9. Résultats des cubatures</i> [12]	46

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Eléments structuraux de la chaussée.....	5
Figure 2. Subdivision de la chaussée	6
Figure 3. Les éléments connexes à la chaussée	9
Figure 4. Chaussée souple	9
Figure 5. Chaussée semi-rigide	10
Figure 6. Chaussée rigide	11
Figure 7. Résumé de la classification des chaussées	11
Figure 8. Image satellite du tronçon et l'allure du terrain naturel [7]	18
Figure 9. Raccordement progressif.....	22
Figure 10. Profil en long.....	23
Figure 11. Profil en travers en remblai	24
Figure 12. Profil en travers en déblai.....	24
Figure 13. Profil en travers mixte	25
Figure 14. Estimation des cubatures en APS.....	26
Figure 15. Algorithme de la moyenne des aires.....	26
Figure 16. Epure de LALANNE	27
Figure 17. Fossé triangulaire à 1/2 et à 2/3	31
Figure 18. Courbe de niveau [12]	36
Figure 19. Profil en long [12].....	37
Figure 20. Profil en travers type [12].....	38
Figure 21. Profil en travers courant [12].....	39
Figure 22. Classes de trafic PL retenues pour les différentes vocations des voies	41

SOMMAIRES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME.....	iii
LISTE DES ABBREVIATIONS	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	v
LISTE DES FIGURES.....	vi
SOMMAIRES	vii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre I: GÉNÉRALITÉS.....	3
I.1. GENERALITES SUR LA ROUTE	3
I.1.1. Définition	3
I.1.2. Historique.....	3
I.1.3. Sortes.....	4
I.1.4. Importance	4
I.1.5. Le réseau routier congolais	4
I.1.6. Compréhension de la chaussée du point de vue structural	5
I.1.7. Classification des chaussées	9
I.2. GENERALITE SUR LE BETON BITUMINEUX	12
I.2.1. Composition.....	12
I.2.2. Types.....	12
I.2.3. Avantages et inconvénients.....	13
I.2.4. Application.....	14
I.2.5. Entretien	14
I.4.GENERALITE SUR L'ASSAINISSEMENT ROUTIER.....	14
I.4.1. Aperçu.....	14

I.4.2. Domaine d'activité.....	15
I.4.2. Eaux pluviales.....	15
Chapitre II : ETUDES TOPOGRAPHIQUES ET NOTIONS HYDRAULIQUES	17
II.1. PRESENTATION DU SITE	17
II.1.1. Présentation	17
II.1.2. Schémas d'itinéraire	18
II.2. ETUDES TOPOGRAPHIQUES	19
II.2.1. Finalité de la topographie	19
II.2.2. Terminologie	19
II.1.3. Tracé routier	20
II.3. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES D'UNE ROUTE	21
II.3.1. Tracé en plan et courbe de niveau	21
II.3.2. Profil en long	22
II.4. METHODES DE DIMENSIONNEMENT	28
II.5. NOTIONS HYDRAULIQUES	29
II.2.1. Fossé de drainage.....	29
II.2.2. Calcul des fossés latéraux.....	31
Chapitre III. DIMENSIONNEMENT ET PRESENTATION DES RESULTATS	34
III.1. LEVES TOPOGRAPHIQUES.....	34
III.2. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES.....	36
III.2.1. Courbe de niveau.....	36
III.2.2. Profil en long.....	37
III.2.3. Profil en travers type	38
III.2.4. Profil en travers courant	39
III.3. DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE DE LA CHAUSSEE	39
III.3.1. Paramètres pris en compte.....	39
III.3.2. Eléments de dimensionnement.....	42
III.3.3. Proposition de structure selon le guide CEBTP.....	43

III.3.4. Proposition de la structure du trottoir.....	44
III.3.5. Dimensionnement des ouvrages d'assainissement.....	44
III.4. CHOIX DES MATERIAUX.....	45
III.5. RESULTATS DES CUBATURES.....	46
CONCLUSION GENERALE.....	49
BIBLIOGRAPHIE.....	50
ANNEXES.....	Erreur ! Signet non défini.0

INTRODUCTION GENERALE

En créant l'univers, Dieu a légué une grande richesse à l'homme, pour qu'il en prenne soin, en l'occurrence la terre. C'est ainsi que le domaine de route constitue une partie très importante du patrimoine d'un pays. Elle est alors un facteur très important pour le développement économique et social ; entre villes, des provinces et des pays.

Mais aussi elle devient une infrastructure de grande importance construite dans le but d'assurer la circulation des véhicules dans les conditions suffisantes de confort et sécurité durant les années d'exploitation et au cours desquelles elle devra résister à l'agressivité du trafic et à la perturbation provoquée par les agents atmosphériques.

Dans les régions où ses infrastructures sont soit inexistantes soit mal construites, la population rencontre toujours différents problèmes surtout celui d'approvisionnement de la région concernée ; c'est le cas de la RDC où les infrastructures ne sont pas à leurs places et plus particulièrement celles routières.

C'est ainsi que ce travail est basé sur l'aménagement par asphaltage de l'un des tronçons non revêtu de la ville de Goma (le tronçon CAJED-Station Amani jm drc).

Comme nous le savons tous, toute recherche scientifique a un but et un intérêt. Il en est de même pour celle-ci, à savoir : apporter notre contribution à terme de proposition pour une bonne circulation sur ce tronçon routier qui est au bénéfice de la population de Goma et ses environs.

C'est sous cette optique que ce travail présente un intérêt sur le plan socio-économique en permettant aux usagers de circuler aisément, tout en évitant les accidents de circulation, de faciliter l'accès rapide à la population de cette entité à d'autres entités, et enfin ce travail permet de mettre à la disposition des chercheurs un document à consulter pour les travaux similaires.

En R.D.C, le manque de la voie de communication routière, de son entretien ou de sa construction est un grand défi pour la circulation des biens et des personnes.

C'est ainsi que le choix de ce sujet fut motivé par l'état de ce tronçon, ne répondant à aucune norme de construction des routes contemporaines. Ceci se démontre par l'absence d'ouvrages d'assainissement pour évacuer les eaux de précipitation, l'insoluble problème de dégradation des matériaux utilisés sur ce tronçon, et une circulation inconfortable du trafic. Il y a donc intérêt de songer à son aménagement de par son importance tant urbaine qu'infra structurale.

Au regard de ce problème, les questions fondamentales ci-après se posent :

- Quel type d'ouvrage d'assainissement sera adopté pour ce présent travail ?
- Quels types de matériaux pouvons-nous utiliser pour cet aménagement ?

Pour répondre aux différentes questions posées, nous recourons aux hypothèses.

Claude BERNARD définit l'hypothèse comme étant une réponse anticipée aux problèmes soulevés.

Au regard des questions fondamentales susmentionnées, les réponses proposées sont les suivantes :

- Nous allons utiliser l'une des méthodes empiriques, la méthode CEBTP.
- Pour ce présent travail, nous allons dimensionner un fossé triangulaire de type 2/1 et 1/2.
- Nous allons utiliser le guide CEBTP tout en se basant sur les résultats obtenues après dimensionnement pour faire un choix judicieux des matériaux à utiliser.

Dans ce présent travail, nous tiendrons compte des causes qui seraient à l'origine de la dégradation de ce tronçon.

Cependant, il est utile de signaler que nous ne traçons pas une nouvelle route mais nous faisons une étude de sa structure et de sa réhabilitation dans le but d'obtenir un revêtement capable de supporter le trafic actuel et futur suivant l'âge présumé. Il est souhaitable que cela soit exécuté dans un bref délai possible.

Pour la parfaire ce travail, nous avons utilisés les techniques et les méthodes suivantes :

- La technique d'observation : ici nous avons visité le tronçon routier de notre étude afin de nous rendre compte de son état.
- La méthode déductive par l'application de certaines relations physiques et mathématiques.
- La technique documentaire : qui consistera à la consultation des ouvrages trouvés dans les bibliothèques et aux informations récoltées sur internet ayant des liens avec notre travail.
- Les logiciels : Google earth (pour faire ressortir l'image satellite du tronçon ainsi que l'allure du terrain naturel), Covadis et Civil 3D (pour avoir les tracés du tronçon en étude).

Mis à part l'introduction générale et la conclusion, ce travail est subdivisé en trois chapitres:

- Le chapitre premier qui traite des généralités
- Le chapitre deuxième qui traite des études topographiques et notions hydrauliques
- Le chapitre troisième qui traite du dimensionnement et de la présentation des résultats.

Chapitre I: GÉNÉRALITÉS

I.1. GENERALITES SUR LA ROUTE

I.1.1. Définition

Le mot route vient du mot Latin « viarupta » qui signifie « voie frayée » ; c'est donc une voie de communication terrestre permettant de relier un point à un autre, un village à un autre,... Nous allons également définir la route moderne comme étant un espace correctement aménagé pour recevoir un ou plusieurs courants de circulations, construite dans les règles d'art.

I.1.2. Historique

Les réalités historiques permettent d'affirmer que la route est née du passage répété d'hommes et d'animaux empruntant un même itinéraire.

Depuis l'époque préhistorique, en passant par l'antiquité et l'ancien régime, les pistes créées par le simple piétinement se sont consolidées superficiellement en vue de faciliter les portages lourds par des animaux en faisant rouler les chariots.

L'histoire de l'humanité a surtout été marquée par la technique primitive romaine basée sur l'empierrement sporadique d'abord, jointif en une seule couche ensuite, et enfin étagé et maçonné.

Au Moyen-Age, l'homme a accordé une attention particulière à la route, grâce à la création de la poste et du désir de découvrir des lieux lointains à travers le voyage.

Le XVIII^e siècle s'est particulièrement caractérisé par l'utilisation du hérisson calé latéralement et couverts par une couche d'usure en pierres dures.

L'évolution la plus remarquable date du XIX^e siècle entre 1820 et 1840, période au cours de laquelle le français POLONCEAU expérimenta le cylindrage, le macadam mortier et plusieurs autres procédés de grandes valeur mais qui n'eurent pas de lendemains immédiats.

A la même époque, précisément en 1930, l'écossais MAC Adam expérimenta avec succès l'emploi de la pierre cassée en petit échantillon régulier, développa aussi la technique de cylindrage ainsi que la théorie de la pente transversale pour assurer l'écoulement des eaux.

L'histoire permet de considérer que le progrès le plus spectaculaire et le plus fructueux dont ont bénéficié les routes modernes est celui relatif aux rechargements, au cylindrage, au

goudronnage et à l'assainissement du terrain naturel. Par ailleurs, il a aussi été noté l'importance que prie la notion de stabilisation dans la réalisation des routes modernes[1].

I.1.3. Sortes

Sur le plan technique, nous avons quatre sortes de route [2]:

- **Les pistes saisonnières** : sont des routes tracées à partir des sentiers reliant les villages. Elles sont utilisées pendant des périodes déterminées ; leur largeur est souvent de 4m. sur ces pistes, il n'y a pas d'ouvrages d'art ni de terrassement.
- **Les pistes améliorées** : c'est le cas de plusieurs pistes rencontrées aujourd'hui.
- **Les routes en terre** : sont des pistes améliorées ayant fait l'objet d'une réhabilitation complète ; on y apporte les caractéristiques géométriques (rampe, pente, drainage des eaux,...)
- **Les routes revêtues** : considérées comme définitives, elles exigent une surveillance accrue du corps de la chaussée et plus précisément de la couche de roulement, des accotements, fossés, caniveaux, et exutoires.

I.1.4. Importance

L'importance de la route est très capitale sur plusieurs plans [3]:

- Sur le plan social, la route facilite la communication et la fréquentation entre les hommes, l'implantation et l'accessibilité des infrastructures communautaires (école, église, marché,...).
- Sur le plan économique, elle permet l'évacuation des produits agricoles vers les centres villes, l'approvisionnement de la campagne en produit manufacturé.
- Sur le plan sanitaire, elle rapproche les structures médicales.
- Sur le plan politico-administratif, la route facilite le contact entre les autorités politico-administratifs et leurs administrés.

I.1.5. Le réseau routier congolais

En ce qui concerne le réseau routier congolais, il compte 153209km qui sont réparties en 4 grandes catégories gérées par trois organismes gouvernementaux qui sont [2] :

- La 1^{ère} et 2^{ème} qui comprend 58509km des routes d'intérêt général (route, nationale et provinciale, reliant les provinces entre elles et desservant les grandes villes du Pays). Elle est gérée par l'Office des routes (OR).
- La 3^{ème} qui compte 7400km des routes urbaines qui sont gérées par l'office des voiries et drainage (O.V.D).

-La 4^{ème} qui est la plus vaste et comprend 87300km des routes d'intérêt local dite « Route de dessert agricole » et qui sont à la charge de la direction de voies de desserte agricole (D.V.D.A). Ainsi donc, on appelle route nationale en R.D.C, des voies importantes qui relient des portions considérables du territoire. Ces routes sont aussi gérées par O.R.

I.1.6. Compréhension de la chaussée du point de vue structural

La compréhension de la chaussée peut s'établir selon que l'on réfléchisse suivant son comportement géométrique ou sa composition structurale.

Du point de vue géométrique, la chaussée est la partie de la route sur laquelle les véhicules circulent.

D'un point de vue structurale, la chaussée est un ouvrage à grande envergure constituant un système multicouche où chacune des couches joue un rôle important. [2]

Une chaussée est du point de vue structurale, La chaussée qui est constituée de plusieurs couches superposées comprend l'infrastructure et la structure.

En effet, la structure est la composante de la chaussée formée de la couche de fondation, couche de base et celle de revêtement. Tandis que l'infrastructure est l'ensemble des couches inférieures obtenues suite aux opérations de remblayage et déblayage, on cite dans cette idée le sol support.

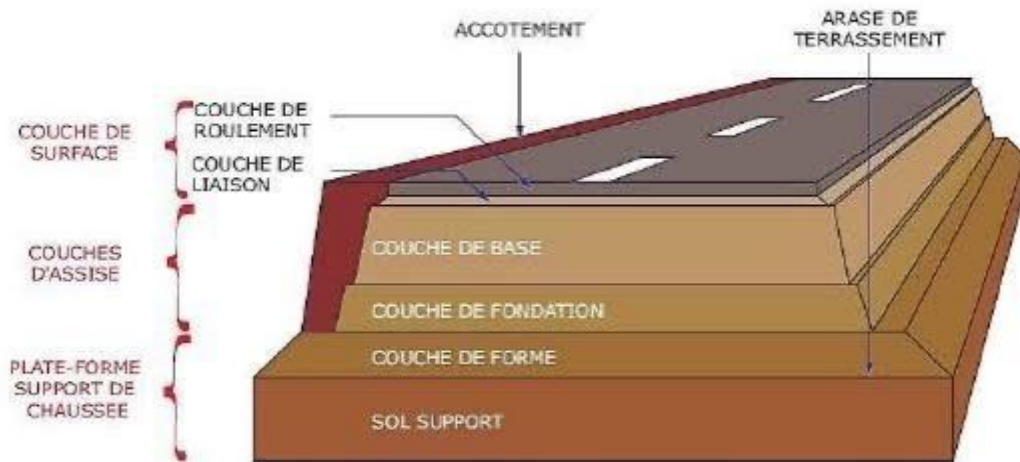


Figure 1. Eléments structuraux de la chaussée

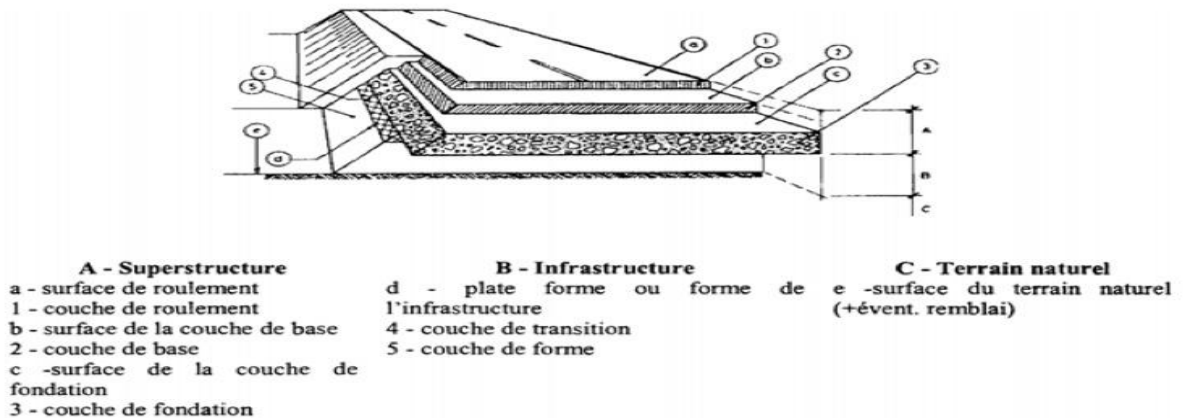


Figure 2. Subdivision de la chaussée

Ainsi donc, la nécessité s'impose dans la suite de connaître la nature, les rôles et autres informations sur chacune des couches de la chaussée.

a. Couche de revêtement

Le revêtement ou couche de roulement est une couche de surface qui est généralement faite dans nos pays en béton bitumineux.

On peut faire aussi cette couche en béton de ciment, cela dans les pays du nord où il faut excessivement froid. Il peut aussi être en traitement superficiel (enduit superficiel).

Les rôles du revêtement sont tant structuraux que fonctionnels:

-Rôles structuraux: Distribution de la charge (diffusion de la contrainte)

Étanchéité : le bitume est imperméable, il empêche l'infiltration de l'eau.

-Rôles fonctionnels: Confort au roulement

Adhérence pneumatique-chaussée

Le revêtement devrait également offrir à la chaussée une bonne apparence et un support au marquage[2].

b. Couche de base

Dans les pays tropicaux, la couche de base est généralement faite de latérites (non-traitées). Si le niveau de trafic est plus élevé, on peut recourir à la latérite ciment. Ce n'est qu'en cas de nécessité qu'on peut recourir aux graves bitumes.

Cette couche présente plusieurs rôles, entre autres:

- Distribution des charges

- Drainage (si matériau non lié)

- Surface de travail pour la mise en place du revêtement.

c. Couche de fondation

Les exigences en couche de fondation n'étant pas élevées, la latérite pourra faire un bon matériau.

La couche de fondation joue les rôles suivant:

- Drainage de la couche de base
- Empêcher la contamination du sol support à la couche de base
- Distribuer les charges
- Atténuer les effets gel-dégel
- Assurer le passage infrastructure -couche de base.

d. Sol de l'infrastructure

Le sol de l'infrastructure résulte des opérations de terrassement. Il s'agit évidemment du terrain naturel, c'est à dire du sable, argile, ... ou alors des matériaux de remblai, c'est à dire sol ou roc.

Il a comme rôles:

- Offrir une plate-forme pour la construction et le support de la chaussée
- Assurer le drainage au moyen de sa pente en surface
- Compliquer la vie du concepteur.

e. Les sous-couches

Les sous couches sont des couches qui, dans certains cas particuliers, jouent le rôle de constituer un écran entre les matériaux mis en œuvre dans le terrassement et ceux employés au niveau de la couche d'assise.

On distingue alors deux types de sous couches:

- **Sous couche anti-contaminant** : empêche la pénétration des matériaux fins de la plate-forme à travers les vides d'une couche de fondation à structure ouverte.

Sa granulométrie doit respecter la règle des filtres vis-à-vis du sol.

-**Sous couche drainante et anticapillaire**: elle joue un double rôle, assurer un drainage efficace des chaussées et arrêter les remontées capillaires dans les zones marécageuses où à nappe phréatique peu profonde.

f. Les éléments connexes

Les éléments connexes à la structure de la chaussée sont notamment[4] :

(1) **Les talus**: jouant le rôle de stabilité du remblai routier mais également de la sécurité et l'embellissement.

- (2) **L'accotement** : est une partie de la plateforme aménagée entre la chaussée et le talus, et dont la largeur varie entre 1 et 3 mètres.
- (3) **La plate-Forme** : est la surface de la route comprenant une ou plusieurs chaussées, les accotements et éventuellement une TPC (Terre-Plein-Central). Structuralement, la PF est la couche de ± 30 cm au-dessus de l'arase de la partie supérieure de terrassement.
- (4) **L'assiette** : est la surface de terrain réellement occupée par la route et ses annexes.
- (5) **L'emprise** : est la surface du terrain affectée à la route et ses dépendances de manière juridique.
- (6) **Le fossé** : est une excavation aménageable de chaque côté d'une PF et dont le rôle est d'assainir la PF en collectant les eaux de ruissèlement.
- (7) **Routes-en déblais ou en remblais** : une route est dite en déblais lorsqu'elle est construite en dessous du terrain naturel, et en remblais dans l'autre cas.
- (8) **Le devers** : est une inclinaison transversale de la route.
- (9) **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.
- (10) **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.
- (11) **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.
- (12) **Trottoirs** : habituellement séparés de la chaussée par des bordures surélevées, ce sont des accotements particulièrement conçus pour la mobilité piétonne.
- (13) **Bordure** : dispositifs en béton utilisés pour séparer la chaussée des trottoirs.
- (14) **Banquette** : est une surélévation aménagée à la limite extérieure de l'accotement pour la sécurité des usagers.

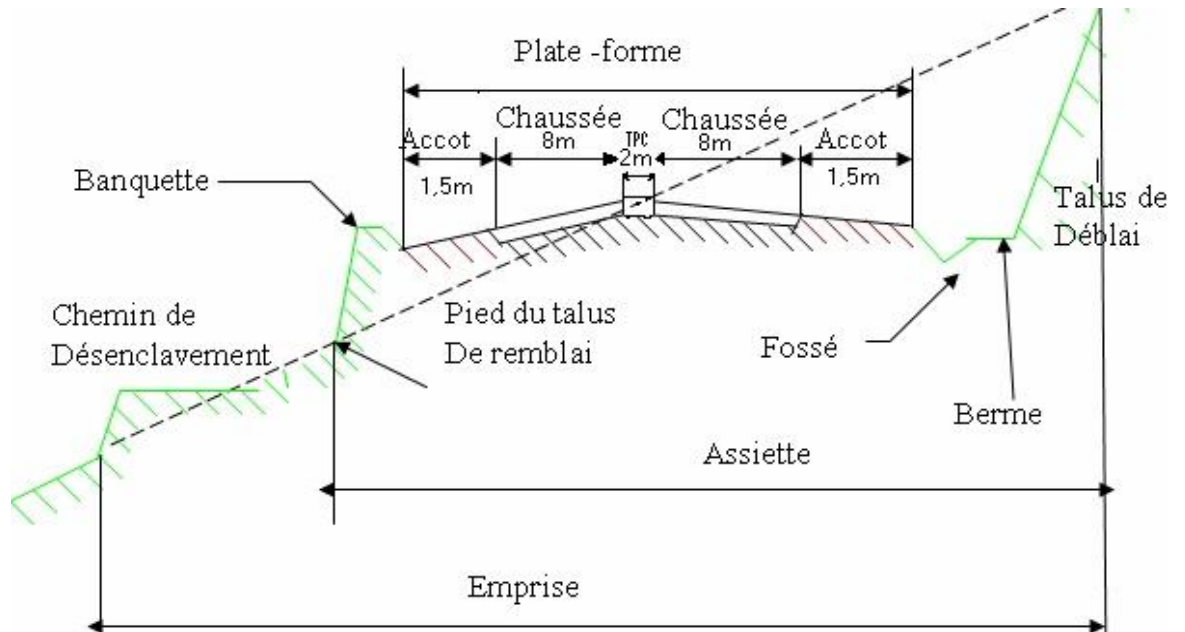


Figure 3. Les éléments connexes à la chaussée

I.1.7. Classification des chaussées

Selon la norme française, on distingue 6 catégories de chaussées [2]:

(a) Chaussées ou structures souples

L'épaisseur totale de la couverture bitumineuse est inférieure ou égale à 12 cm. Elle repose sur une assise constituée d'une ou plusieurs couches de graves non traités ou GNT d'épaisseur totale supérieure ou égale à 15cm.

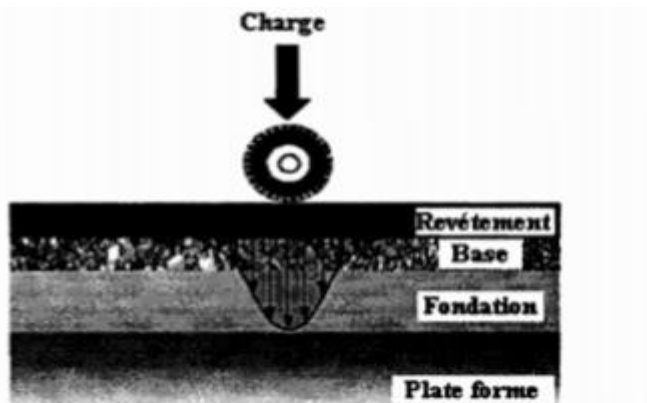


Figure 4. Chaussée souple

(b) Chaussées ou structures bitumineuses

Ici, les couches de surface et de base sont en matériaux bitumineux. La couche de fondation peut éventuellement être en matériaux bitumineux ou en GNT.

(c) Chaussées semi-rigide

Ici les couches de surface, de roulement et éventuellement de liaison sont constituées de matériaux bitumineux, elles reposent sur une assise constituée de matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH).

Structure type d'une chaussée semi-rigide



Figure 5. Chaussée semi-rigide

(d) Structures mixtes

Ici les couches d'assise sont constituées de deux matériaux différents. La couche de base est en matériaux bitumineux à l'exclusion des enrobés à module élevé et la couche de fondation est en MTLH.

(e) Structures inverses

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

(f) Structures rigides (structures à béton de ciment)

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

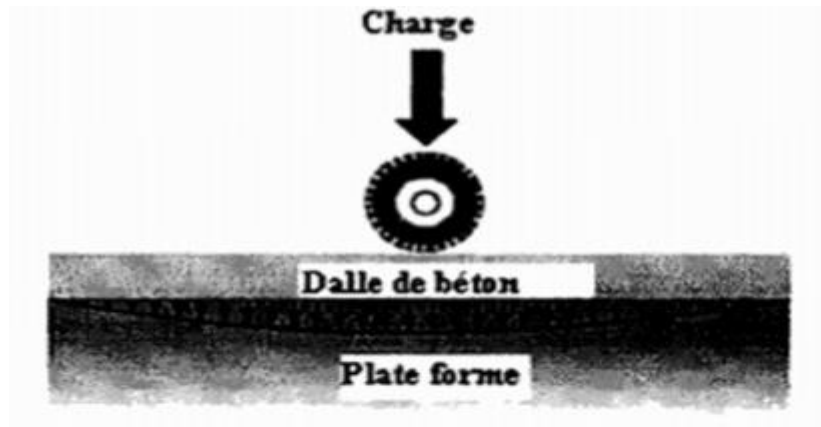


Figure 6. Chaussée rigide

Ainsi donc, nous avons :

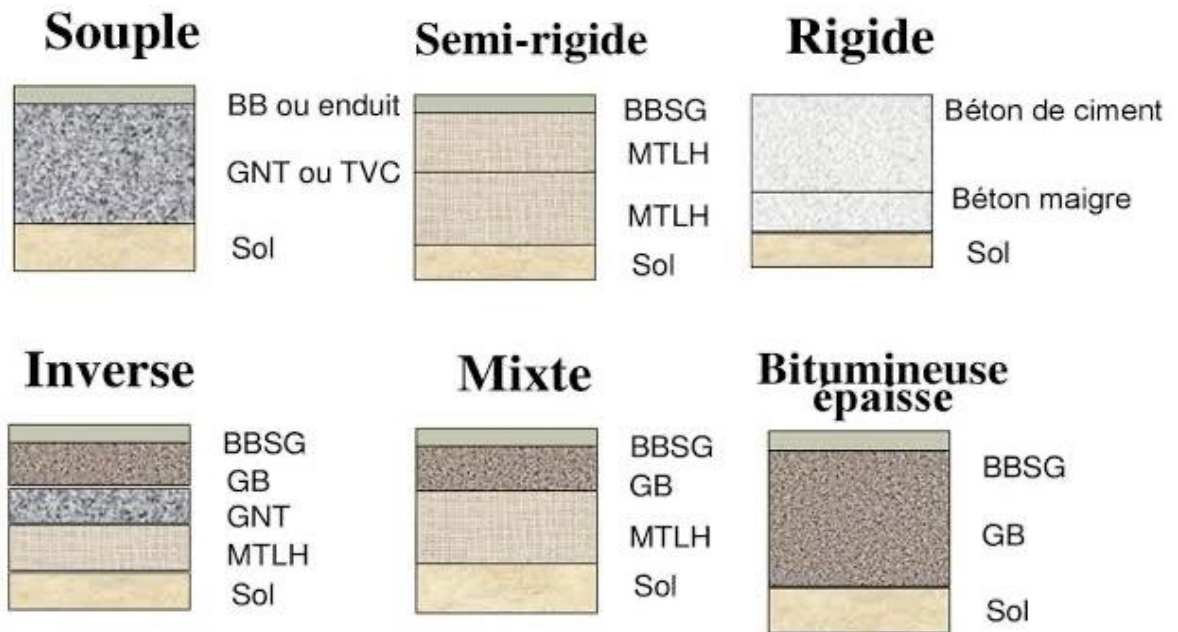


Figure 7. Résumé de la classification des chaussées

I.2. GENERALITE SUR LE BETON BITUMINEUX

Egalement appelé asphalte ou enrobé bitumineux, le béton bitumineux est composé de sable, de gravillons, de filler et d'un dérivé du pétrole qui est le *brai*. Ce type de béton est principalement utilisé pour les routes, mais il peut être idéal pour une allée de jardin ou de garage.

Ce type de revêtement peut être posé à chaud comme à froid[5].

I.2.1. Composition

Le béton bitumineux est constitué d'un agrégat d'asphalte et de matériaux minéraux (mélange de différentes tailles d'agrégats et de fines) qui sont mélangés, étalés en couches et compactés. C'est le matériau le plus courant dans les projets de construction d'autoroutes' d'aéroports' de trottoirs et de parkings.

Les mélanges de béton bitumineux sont généralement composés de 5% de ciment bitumineux et de 95% de granulats (pierre, sable et gravier). En raison de sa nature très visqueuse, le ciment bitumineux doit être chauffé avant de pouvoir être mélangé avec les granulats dans l'installation de mélange d'asphalte. Les composants du liant d'asphalte comprennent quatre classes principales de composés : les naphthènes aromatiques (naphtalène) ; les aromatiques polaires, constitués de phénols et d'acides carboxyliques de haut poids moléculaire produits par oxydation partielle du matériau ; hydrocarbures saturés et asphaltènes, constitués de composés hétérocycliques et de phénols de haut poids moléculaire.

I.2.2. Types

On distingue de nombreux types de béton bitumineux, chacun avec ses caractéristiques propres [5]:

- **Le béton bitumineux mince (BBM)** : possède une granulométrie de 0/10 ou 0/14. Ce béton bitumineux est facilement compactable et est parfaitement imperméable. Principalement utilisé pour les parkings ou les trottoirs, son épaisseur varie de 2.5 à 5cm.
- **Le béton bitumineux très mince (BBTM)** : c'est sans doute l'enrobé le plus intéressant en termes de rapport qualité-prix. En effet, il dispose d'une très bonne durée de vie ainsi que d'une facilité de mise en œuvre. Quelle que soit la granulométrie (0/10 ou 0/6), le BBTM dispose d'une épaisseur comprise entre 1.5 et 3 cm.

- **Le béton bitumineux ultra mince (BBUM)** : destiné à une couche de roulement, c'est-à-dire en contact direct avec les pneumatiques des véhicules, il est tout indiqué pour un parking par exemple. Son épaisseur varie de 1 à 1.5 cm.
- **Le béton bitumineux souple (BBS)** : comme son nom l'indique, ce béton est constitué d'un bitume assez mou pour obtenir un enrobé déformable. Cependant, il possède une faible résistance à l'orniérage.
- **Le béton bitumineux étanche (BBE)** : est le plus couramment utilisé, car il présente très peu de vides et ceux-ci communiquent rarement entre eux. Ainsi, par temps de pluie, les risques d'aquaplaning sont quasi nuls.
- **Le béton bitumineux drainant (BBD)** : l'avantage principal de ce type de béton bitumineux réside dans son excellente adhérence, aussi bien par temps de pluie ou de forte chaleur. De plus, il réduit le bruit de roulement. Pour une allée de jardin, il est alors parfaitement adapté.
- **Le béton bitumineux semi-grenu (BBSG)** : celui-ci est l'enrobé à chaud de référence. En effet, il répond des nombreux besoins et est très adapté pour un trafic aussi bien moyen que lourd. Son épaisseur varie de 3 à 9 cm, suivant la granulométrie.
- **Le béton bitumineux à modules élevés (BBME)** : ce béton bitumineux fait partie des enrobés structurants. Il possède une excellente rigidité, une durée de vie importante et une bonne résistance à l'orniérage. Son épaisseur peut varier de 4 à 9 cm par couche.
- **Le SMA (Stone Mastic Asphalt)** : ressemble à un compromis entre le BBE et le BBD. En effet, il présente la même structure superficielle ouverte que le BBD, mais est dépourvu de creux.

I.2.3. Avantages et inconvénients

Le béton bitumineux, comme tout type de béton, dispose d'atouts et d'inconvénients qu'il vous faut prendre en compte avant la réalisation de votre ouvrage :

Tableau 1. Avantages et inconvénients de l'asphalte[5]

Avantages	Inconvénients
Les enrobés sont 100% recyclables	Impossible de stocker le béton bitumineux à froid

Excellente adhérence	Le dosage des constituants doit être effectué précisément pour ne pas être défectueux
Très bonne résistance	Prix assez élevé
Facilité de mise en oeuvre	
Importante durée de vie : entre 10 et 15 ans	

I.2.4. Application

Pour appliquer le béton bitumineux, il est indispensable de faire appel à une entreprise. En effet, les professionnels disposent du matériel (centrale d'enrobage et de malaxage) et des connaissances adéquates. Ils sont également en mesure de vous conseiller le type d'enrobé bitumineux à choisir pour votre projet. Toutefois, avant de faire appel à des professionnels, vous devez vous assurer de la propreté de votre surface à enrobé[5].

I.2.5. Entretien

Avant toute chose, il est fortement recommandé de vérifier régulièrement la surface de béton bitumineux. En effet, pour éviter tout risque de nids de poules, l'étendue doit être plane et régulière. Sachez que la couche de roulement est à refaire tous les 12 ans environ.

Notons aussi que les prix du béton bitumineux dépendent de plusieurs critères[5] :

- Le type d'enrobé bitumineux (enrobé à chaud ou à froid)
- L'épaisseur du béton bitumineux
- L'étendue du béton
- L'accessibilité au chantier.

I.4.GENERALITE SUR L'ASSAINISSEMENT ROUTIER

I.4.1. Aperçu

L'assainissement de la route a pour but d'éloigner l'eau de la chaussée, tant pour le confort des usagers que pour la pérennité des structures. Il doit également contribuer à la préservation des ressources en eau et à la lutte contre la pollution. Il doit maintenir la prévention du contact humain avec des substances dangereuses, spécialement les fèces en mettant en place des systèmes de traitement et d'évacuation des déchets. Les dangers issus d'un mauvais

assainissement sont multifactoriels, pouvant être à la fois physique, microbiologique, biologique ou encore chimique.

Des systèmes d'assainissement plus hygiéniques peuvent s'appuyer sur des solutions technologiques telles que les égouts ou les stations de traitement des eaux usées. Fournir un assainissement respectant les standards de base requiert une approche systémique à l'inverse de seulement se concentrer sur la toilette en elle-même ou à l'autre extrémité l'usine de traitement des eaux usées[6].

I.4.2. Domaine d'activité

De manière générale, l'assainissement comprend l'évacuation et le traitement des eaux et des solides usagés. Ces matières incluent les eaux de pluie, les eaux de ruissellement, de drainage, de lavage, les eaux usées et ou provenant de toilettes, les excréments, et les déchets solides ; ces derniers ont différentes origines (domestique, agricole, industrielle, médicale...).

I.4.2. Eaux pluviales

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

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

Les réseaux d'égouts séparatifs à faible diamètre permettent de soulager grandement les coûts d'investissement et d'entretien et la charge sur le système d'épuration (en ne transportant en principe que les eaux usées). Les eaux pluviales peuvent rester en surface si les caniveaux et les canaux à ciel ouvert sont correctement aménagés. Dans le cas contraire (en ville par exemple), les eaux pluviales empruntent un autre réseau, d'un diamètre important.

Une difficulté est de veiller à ce que les artisans et industriels ne versent pas d'eaux polluées par des huiles minérales, des métaux lourds, des biocides ou d'autres produits indésirables dans l'égout. Ainsi, les méthodes d'évacuation et de traitement des eaux pluviales diffèrent

selon la taille de la ville, selon le type de zone (urbaine, péri-urbaine, communauté urbaine), selon les moyens disponibles et les habitudes culturelles[6].

Chapitre II : ETUDES TOPOGRAPHIQUES ET NOTIONS HYDRAULIQUES

II.1. PRESENTATION DU SITE

II.1.1. Présentation

Le tronçon concerné par cette étude se trouve dans la ville de Goma, capitale administrative de la province du Nord-Kivu. S'élevant à environ 1500 mètres d'altitude dans la vallée du Rift, Goma s'étend sur la rive nord du lac Kivu, au centre d'un amphithéâtre dessiné par la chaîne volcanique de Virunga, elle est bâtie sur les anciennes coulées de lave du volcan Nyiragongo qui la domine de près de 2000 mètres plus au nord ; c'est pourquoi la plate-forme de la ville est une roche basaltique très dure servant généralement de couche de fondation lors des implantations des routes revêtues. Au sud de la ville, c'est le lac Kivu (l'un des lacs les plus gazeux au monde) qui sert d'exutoire principal pour toutes les eaux de ruissellement. À l'Est, nous avons la république du Rwanda et à l'Ouest le territoire de *Masisi*. La ville est dans la zone tempérée avec un climat de montagne. Son climat étant montagneux, on comprend qu'il y fait plus froid que chaud.

Elle comprend deux communes à savoir :

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

Le tronçon faisant l'objet de cette étude se trouve dans la commune de Karisimbi, quartier Ndosho et fait partie de la RN2. La figure ci-dessous présente l'image satellite obtenu au moyen du logiciel Google earth du tronçon en étude.



Figure 8. Image satellite du tronçon et l'allure du terrain naturel [7]

II.1.2. Schémas d'itinéraire

Cette route a une emprise moyenne de 12 mètres avec une longueur de 1099 mètres. Notre PK0+00 nous l'avons placé juste au début de notre projet, là où s'arrête la partie asphaltée de la route.

Dans le tableau 1, nous présentons le schéma d'itinéraire.

Tableau 2. Schéma d'itinéraire

PK	SOL	HYDOLOGIE	EMPIETEMENT
PK0+00-PK0+100	Scorie volcanique	Eau stagnante	RAS
PK0+100-PK0+200	Scorie volcanique	RAS	RAS
PK0+200-PK0+300	Scorie volcanique	Eau stagnante	RAS

PK0+300-PK0+400	Scorie volcanique	RAS	RAS
PK0+400-PK0+500	Scorie volcanique	RAS	RAS
PK0+500-PK0+600	Scorie volcanique	Eau stagnante	RAS
PK0+600-PK0+700	Scorie volcanique	RAS	RAS
PK0+700-PK0+800	Scorie volcanique	Eau stagnante	RAS
PK0+800-PK0+900	Scorie volcanique	Eau stagnante	RAS
PK0+900-PK0+1000	Scorie volcanique	Eau stagnante	RAS
PK0+1000-PK0+1099	Scorie volcanique	RAS	RAS

II.2. ETUDES TOPOGRAPHIQUES

Les études topographiques ont pour but de déterminer les caractéristiques de la surface d'un terrain, et dans le cas d'un projet renouvelable, elles permettent de vérifier si l'implantation de tous ses éléments est viable, en obtenant à la fois l'altimétrie et la planimétrie de la zone à étudier[8].

II.2.1. Finalité de la topographie

La topographie a pour objectif principale de permettre l'établissement des cartes et 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 des données existantes permettra par exemple de s'orienter sur le terrain ou bien d'étudier un projet de construction routière.

II.2.2. Terminologie

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

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

II.1.3. Tracé routier

Les tracés d'une route comprennent plusieurs opérations dont les plus importantes sont les suivantes[2]:

- 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.

II.3. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES D'UNE ROUTE

Les caractéristiques géométriques d'une route sont illustrées par le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers[9].

II.3.1. Tracé en plan et courbe de niveau

➤ 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 courbe, une courbe maîtresse est dessinée en gras avec une indication de son étude. Ses chiffres étant toujours indiqués dans le sens de la montée.

➤ Tracé en plan

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

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

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

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

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

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

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

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

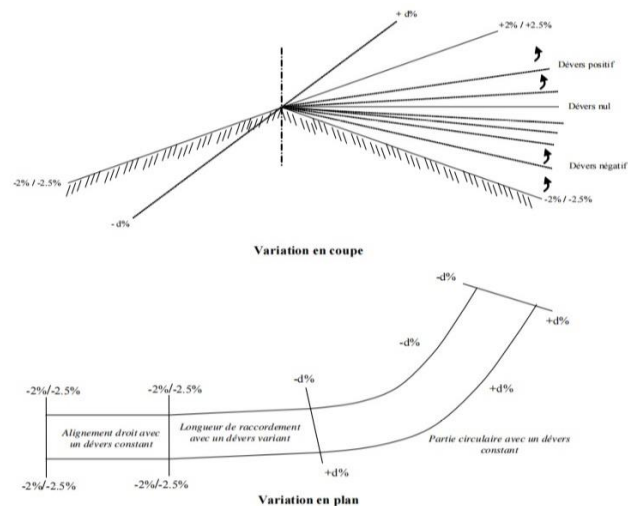


Figure 9. Raccordement progressif

II.3.2. Profil en long

C'est la représentation des éléments, définis en altitude, de la route suivant le cheminement du tracé en plan ; c'est la ligne rouge.

Le profil est constitué de succession de rampes (montées) et de pentes (descentes) raccordées par des éléments circulaires ou paraboliques.

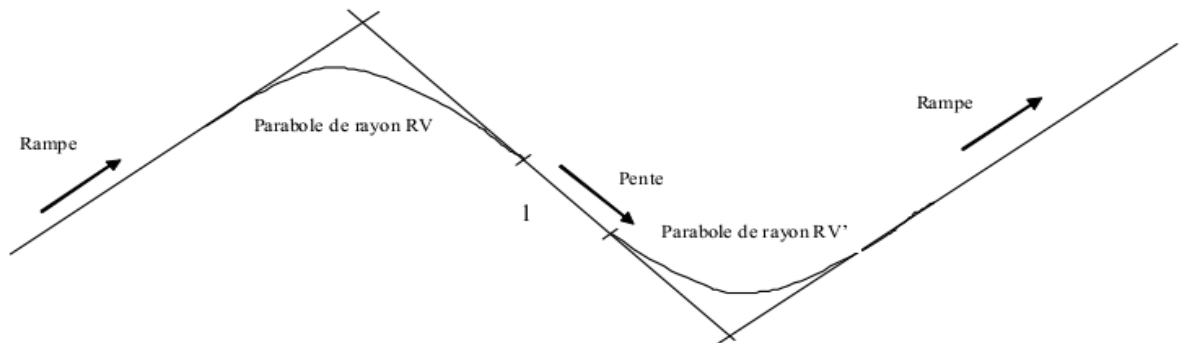


Figure 10. Profil en long

Les raccordements convexes en point haut sont appelés raccordements en angle saillant et les raccordements concaves en point bas sont appelés raccordements en angle rentrant.

Les rampes et les pentes sont appelées déclivité et leurs valeurs sont fonction de la vitesse de référence[8].

II.1.5.3. Profil en travers

Le profil en travers de la route est représenté par le tracé de chaussée et du terrain naturel sur un plan vertical orthogonal à l'axe de la route. Pendant la représentation du profil en travers l'œil de l'observateur est fixé vers l'origine du projet.

Nous distinguons deux types de profil en travers[8] :

a. Le profil en travers type

Les tracés routiers ont chacun leur profil en travers type. C'est un modèle qui sert de guide pour le tracé des profils en travers courants. Il est rare de rencontrer plus d'un profil en travers type sur un tracé mais cela dépend des critères économiques, environnemental et technique qui peuvent amener le technicien à modifier ce profil. En tout état de cause, pour le faire, il faudrait s'assurer que ce changement ne mettra pas en danger les usagers.

b. Le profil en travers courant

C'est le profil en travers des différents profils rencontrés sur le tracé en plan et les profils en long. Le nombre dépend aussi bien de la longueur du tracé que des distances inter profils.

Ici nous avons aussi trois types dont :

- **Le profil en travers en remblai** : c'est le profil qui a un déficit des matériaux et qui nécessite un apport de matériaux à toutes ses différentes parties, autrement-dit, l'assiette de la route se trouve en remblai.

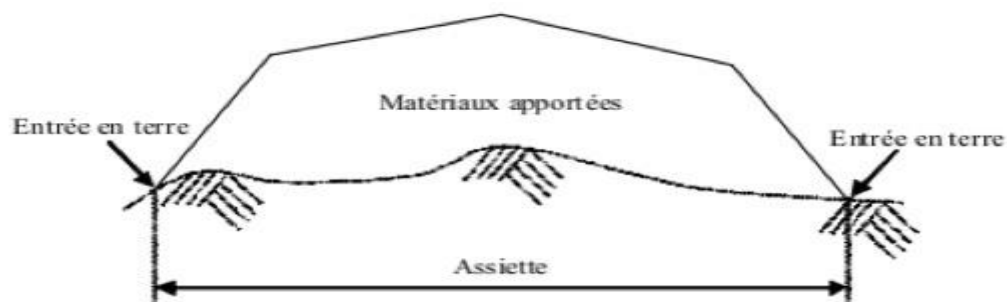


Figure 11. Profil en travers en remblai

- **Le profil à travers en déblai** : c'est le profil qui a un excédent de matériaux qu'il faudrait enlever à toutes ses différentes parties, autrement-dit, toute l'assiette de la route se trouve en déblai.

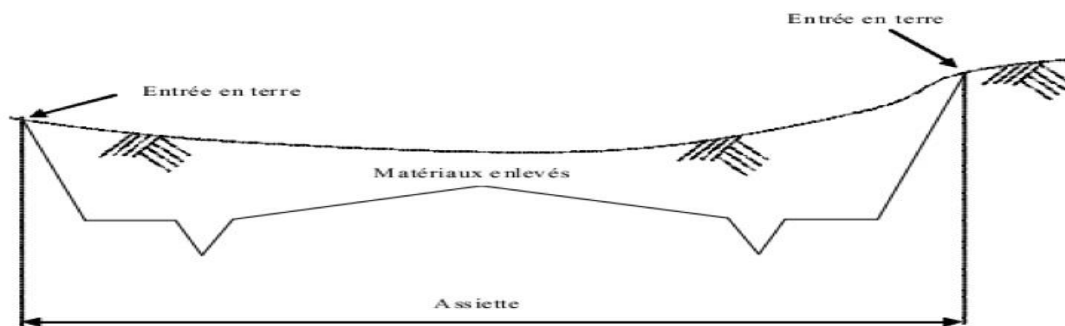


Figure 12. Profil en travers en déblai

- **Le profil en travers mixte** : c'est le profil en travers qui a un déficit des matériaux sur une de ses parties et un excédent sur l'autre, autrement-dit, une partie de l'assiette est en remblai et l'autre en déblai.

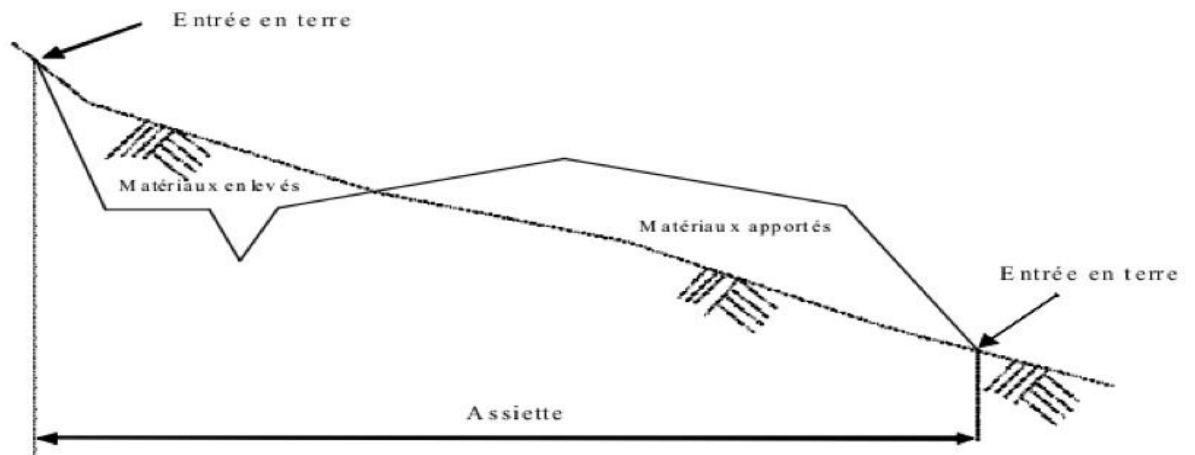


Figure 13. Profil en travers mixte

II.1.5.4. Terrassement et mouvement de terre

Le terrassement représente l'ensemble d'opérations relatives aux mouvements de terre dans la construction de l'infrastructure routière. Il s'agit notamment à partir du tracé de la route de dégager les zones de déblais et remblais et par la suite :

- Estimer les cubatures de déblais et remblais ;
- Quantifier la compensation de déblais et de remblais en fonction de leurs caractéristiques géométriques ;
- Localiser et quantifier les cubatures des gites d'emprunt de terre, matériaux et le point de dépôt de l'excédent de déblais ;
- Choisir les équipements et méthodes appropriées d'excavation, de mise en œuvre et de transport ;
- Apprécier et limiter l'impact sur l'environnement ;
- Planifier les travaux ;
- Estimer me cout de travaux.

Pour se faire, nous avons trois différentes méthodes[2] :

- **Estimation des cubatures en APS**

Dans le calcul de cubature, on calcul les surfaces de déblais et de remblais, en suite on les multiplie par la largeur moyenne de l'assiette de travaux ou à défaut par la largeur de la plate-forme.

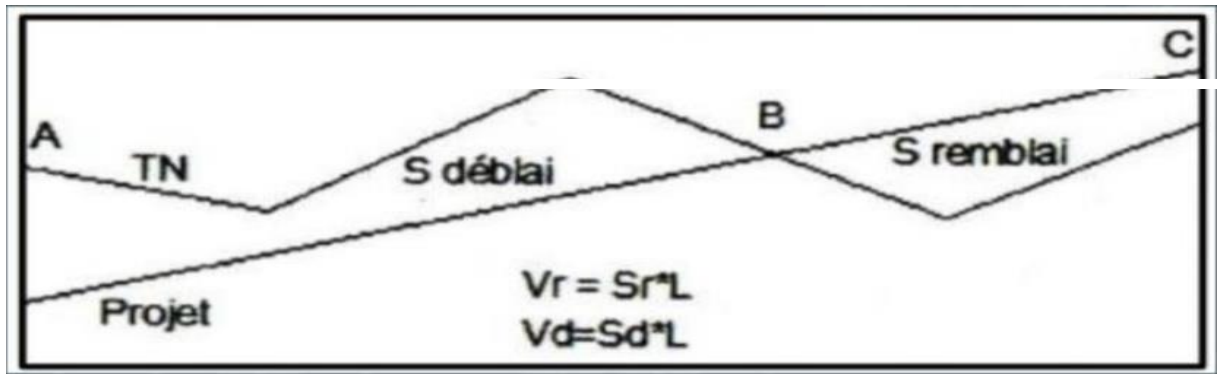


Figure 14. Estimation des cubatures en APS

Cette méthode est une simplification en APS dans le but principal d'effectuer une comparaison entre cubatures des remblais et déblais de variantes précédemment choisies.

▪ **Méthode et algorithme de la moyenne des aires**

Cette méthode consiste à calculer la cubature en multipliant la moyenne des profils concernés par l'entre-distance.

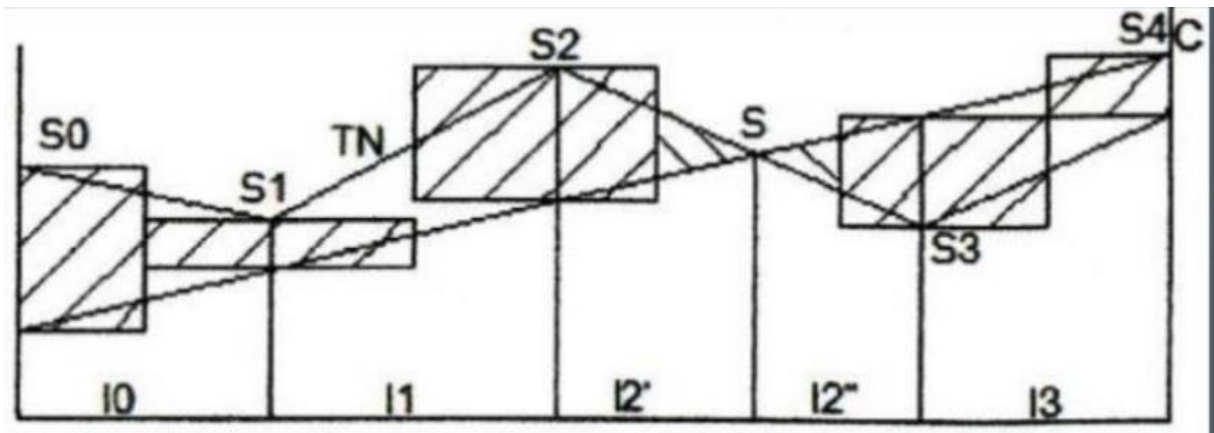


Figure 15. Algorithme de la moyenne des aires

▪ **Epure de LALANNE**

L'épure de LALANNE est une méthode de recherche de l'optimum de transport de terres pour des chantiers routiers linéaires.

Elle permet de trouver, de façon simple et rapide, la meilleure ventilation des masses de déblais et remblais.

Pour passer à la construction de l'épure de LALANNE, on émet l'hypothèse selon laquelle le volume du terrassement d'une masse est concentré à son centre de gravité.

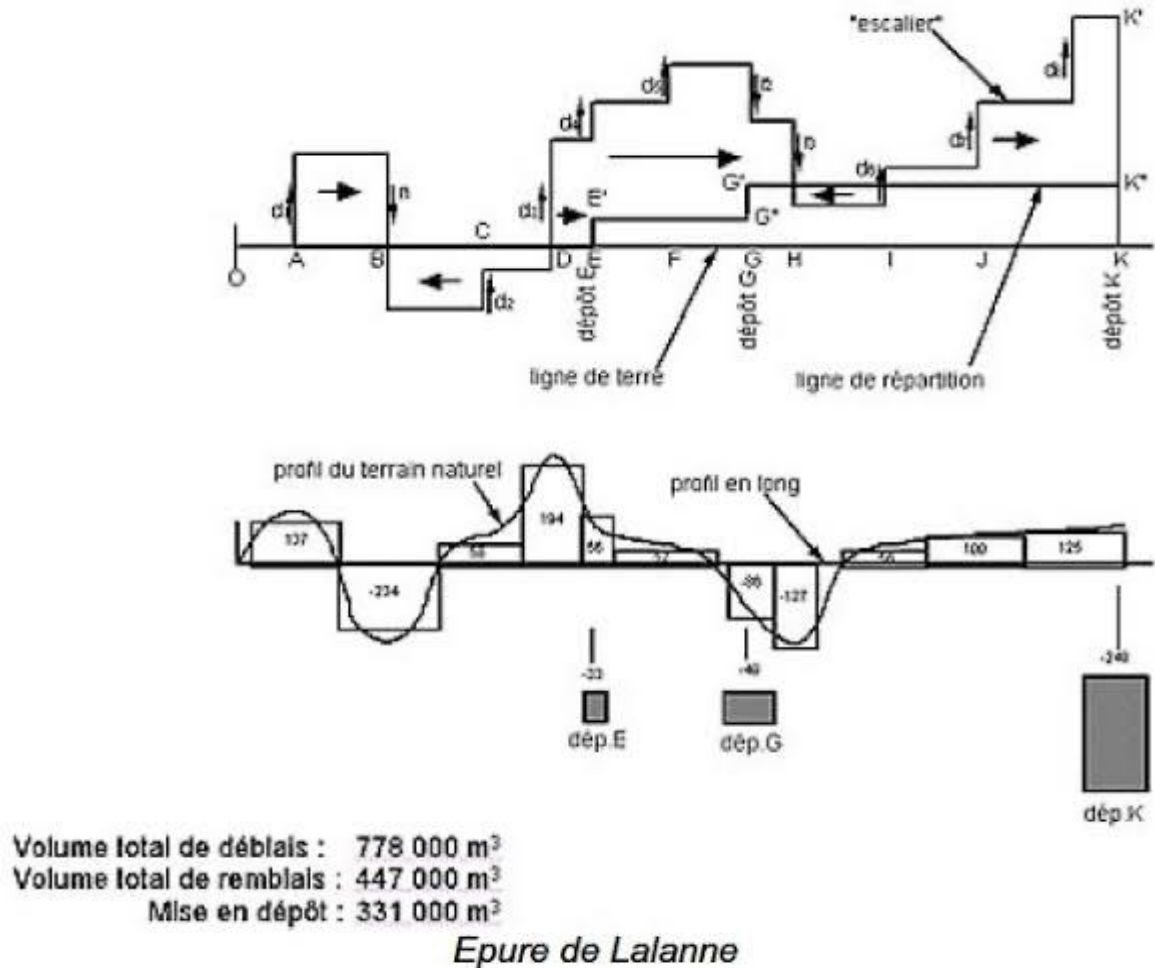


Figure 16. Epure de LALANNE

II.1.5.5. Le dévers

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

En section courante, le profil de la chaussée est en toit, la pente de chaque versant résulte d'un compromis entre la recherche d'un écoulement rapide des eaux de pluie et la limitation de l'instabilité des véhicules lorsqu'ils passent d'un versant à l'autre. Pour la chaussée on adopte les pentes transversales suivantes [10] :

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

En courbe, le profil ne comporte plus qu'un seul versant, dont la pente est le dévers évoqué précédemment, le passage d'une situation à l'autre nécessitant une zone de transition. Cette zone doit être très soigneusement étudiée, particulièrement pour les chaussées de grande largeur, pour éviter les accumulations d'eau génératrices d'aquaplanage [6].

II.4. METHODES DE DIMENSIONNEMENT

Dimensionner une structure de chaussée renvoie à décider de l'épaisseur des couches en tenant compte des exigences des trafics et de la nature du sol d'infrastructure.

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

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

Le dimensionnement d'une chaussée dépend de ces différents paramètres :

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

Différentes méthodes de dimensionnement structural de la chaussée se sont développées : Soit à partir d'une observation expérimentale d'aspect de la chaussée sous le trafic (méthodes partiellement ou entièrement empiriques), soit à partir de fondements spéculatifs fondés sur l'analyse des contraintes et déformations générées au sein de la structure de la chaussée et du sol, en rapport avec les caractéristiques des matériaux (méthodes analytiques ou mécanistiques ou rationnelles) [2].

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

La méthode CEBTP

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

Le CEBTP, après inventaire de matériaux routiers utilisables dans les pays tropicaux ; inventaire comprenant leur caractéristiques physiques et mécaniques et leur critères d'acceptabilité, a dressé plusieurs abaques des structures multicouches constitués notamment de la couche de fondation, la couche de base et du revêtement. Ces structures ont été dimensionnées en fonction de trafics lourds, de sols en place et d'épaisseurs technologiques. Le CEBTP a ainsi dressé un catalogue comprenant une liste des structures où l'ingénieur routier peut choisir les structures de la chaussée en fonction de deux entrées : **le CBR de la PF et le trafic.**

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

II.5. NOTIONS HYDRAULIQUES

Elle porte bien attendu sur l'inventaire des cours d'eau et de tous les écoulements de surface.

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.

L'eau est le premier ennemi de la chaussée et même des travaux publics en général. Il est donc impérieux de protéger la route contre les eaux superficielles[11].

II.2.1. Fossé de drainage

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

Les protections contre ces dégradations peuvent être[6] :

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

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

On distingue en général deux types de fossés :

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

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

Les fossés peuvent être :

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

Les dimensions peuvent être très variables, notamment pour les fossés extérieurs qui peuvent être amenés à véhiculer des débits importants. Pour les fossés latéraux, on ne dépasse pas en général une profondeur de 0,60 m pour des problèmes de sécurité à moins que des dispositifs spéciaux (glissières.) ne soient mis en place. La **Figure 17** illustre respectivement le fossé triangulaire à 1/2 et le fossé triangulaire à 2/3.

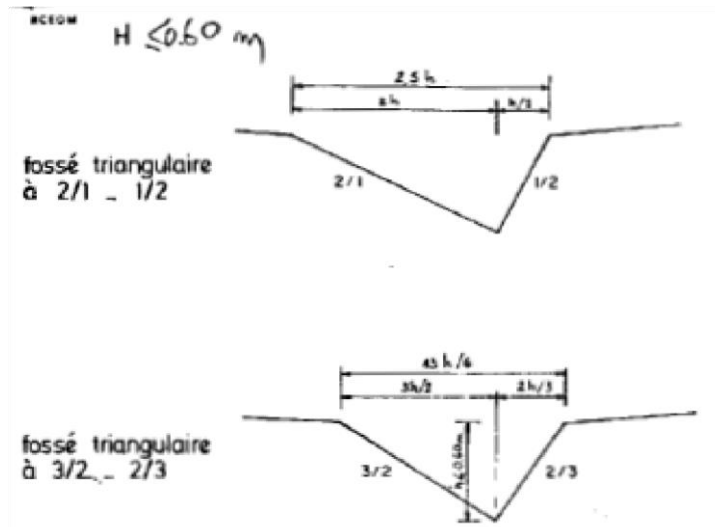


Figure 17. Fossé triangulaire à $1/2$ et à $2/3$

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

II.2.2. Calcul des fossés latéraux

a. Capacité des fossés latéraux

Les débits des fossés latéraux sont donnés par les formules de MANNING STRICKER suivantes:

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

Avec : $-Q = \text{Débit en } m^3/s$

$-V = \text{Vitesse en } m/s$

$-K = \text{Coefficient de rugosité de MANNING}$

$-R = \text{Rayon hydraulique en } m$

$-i = \text{Pente longitudinale}$

D'où

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

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

Fossés en terre K= 33 ;

Fossés en rocheux K= 25 ;

Fossés en béton K= 67.

Etant donné que le fossé auquel ce travail s'intéresse est en béton, la valeur retenue pour le coefficient K est de 67.

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

Pour les zones rocheuses et dans le cas des fossés bétonnés, les affouillaiement ne sont pas à craindre. Néanmoins, les vitesses supérieures à 3.5 m/s sont à déconseiller à cause des débordements dès qu'il y a un obstacle éventuel dans le fossé (rochers, branchages, etc.). Ces vitesses fixent par conséquent une capacité maximale pour les fossés revêtus ou non revêtus, débit à ne pas dépasser pour une pente longitudinale donnée.

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

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

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

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

D'où

$$Q = SV = \frac{9V^2}{K^3 i^{\frac{3}{2}}} \quad (5)$$

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

$$R = \frac{h\sqrt{13}}{10} = \left(\frac{V}{K\sqrt{i}}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (6)$$

$$S = \frac{13h^2}{12} \quad (7)$$

D'où

$$Q = SV = \frac{50}{6} \frac{9V^2}{K i^{\frac{3}{2}}} \quad (8)$$

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

Tableau 3. Capacité max en (l/s) des fossés triangulaires revêtus pour ($h=0,60\text{m}$) [6]

Pente % Talus	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
2/1, 1/2	<u>785</u>	<u>1 110</u>	<u>1 571</u>	864	561	402	306	198	142
3/2, 2/3	<u>666</u>	<u>942</u>	<u>1 332</u>	800	520	372	283	184	131

Les chiffres soulignés correspondent aux fossés entièrement remplis.

Chapitre III. DIMENSIONNEMENT ET PRESENTATION DES RESULTATS

Pour que les structures de la chaussée aient un comportement satisfaisant, il faut que les matériaux constituant les diverses couches aient certaines exigences minimales de qualité. C'est ainsi que dans ce chapitre nous allons présenter les résultats susceptibles pour le dimensionnement de la chaussée et des petits fossés à partir des catalogues préétablis par un guide technique routier de CEBTP compte tenu des classes de plate-forme et de trafic.

III.1. LEVES TOPOGRAPHIQUES

Une étude topographique de l'ensemble de la zone du projet a été effectuée conformément à la norme. L'ensemble des levés a été traité sur ordinateur à l'aide des logiciels google earth, covadis et autocad. Le *tableau 4* nous indique l'ensemble des levés topographiques.

Tableau 4. Levés topographiques [12]

Station	Northing	Easting	Tangential Direction
0000.00	9817758.1396m	743348.7395m	N50° 12' 32.39"W
0025.00	9817774.1394m	743329.5299m	N50° 12' 32.39"W
0050.00	9817790.1391m	743310.3203m	N50° 12' 32.39"W
0075.00	9817806.1388m	743291.1107m	N50° 12' 32.39"W
0100.00	9817822.1385m	743271.9011m	N50° 12' 32.39"W
0125.00	9817838.1383m	743252.6915m	N50° 12' 32.39"W
0150.00	9817854.1380m	743233.4819m	N50° 12' 32.39"W
0175.00	9817870.1377m	743214.2723m	N50° 12' 32.39"W
0200.00	9817886.1374m	743195.0627m	N50° 12' 32.39"W
0225.00	9817902.4411m	743176.1155m	N47° 51' 37.91"W
0250.00	9817919.2146m	743157.5777m	N47° 51' 37.91"W
0275.00	9817935.9880m	743139.0398m	N47° 51' 37.91"W
0300.00	9817952.7615m	743120.5020m	N47° 51' 37.91"W
0325.00	9817969.5349m	743101.9642m	N47° 51' 37.91"W
0350.00	9817986.3083m	743083.4263m	N47° 51' 37.91"W
0375.00	9818002.9168m	743064.7436m	N50° 08' 01.56"W
0400.00	9818018.9417m	743045.5551m	N50° 08' 01.56"W

0425.00	9818034.9666m	743026.3665m	N50° 08' 01.56''W
0450.00	9818051.2370m	743007.3861m	N49° 14' 25.59''W
0475.00	9818067.5592m	742988.4497m	N49° 14' 25.59''W
0500.00	9818083.8814m	742969.5133m	N49° 14' 25.59''W
0525.00	9818100.2608m	742950.6270m	N48° 13' 09.58''W
0550.00	9818116.9178m	742931.9845m	N48° 13' 09.58''W
0575.00	9818133.5749m	742913.3420m	N48° 13' 09.58''W
0600.00	9818150.2319m	742894.6995m	N48° 13' 09.58''W
0625.00	9818166.8889m	742876.0570m	N48° 13' 09.58''W
0650.00	9818183.5459m	742857.4144m	N48° 13' 09.58''W
0675.00	9818200.1833m	742838.7546m	N49° 08' 50.33''W
0700.00	9818216.0433m	742819.4303m	N50° 49' 05.34''W
0725.00	9818231.8379m	742800.0517m	N50° 49' 05.34''W
0750.00	9818247.6325m	742780.6731m	N50° 49' 05.34''W
0775.00	9818263.4271m	742761.2945m	N50° 49' 05.34''W
0800.00	9818279.4268m	742742.0875m	N49° 10' 20.22''W
0825.00	9818295.7715m	742723.1705m	N49° 10' 20.22''W
0850.00	9818312.1162m	742704.2535m	N49° 10' 20.22''W
0875.00	9818328.4608m	742685.3366m	N49° 10' 20.22''W
0900.00	9818344.8055m	742666.4196m	N49° 10' 20.22''W
0925.00	9818361.1502m	742647.5026m	N49° 10' 20.22''W
0950.00	9818377.4916m	742628.5828m	N49° 12' 36.57''W
0975.00	9818393.8237m	742609.6551m	N49° 12' 36.57''W
1000.00	9818410.1559m	742590.7273m	N49° 12' 36.57''W

III.2. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES

III.2.1. Courbe de niveau

La courbe de niveau indiqué à la *figure 18* a été générer par le logiciel covadis.

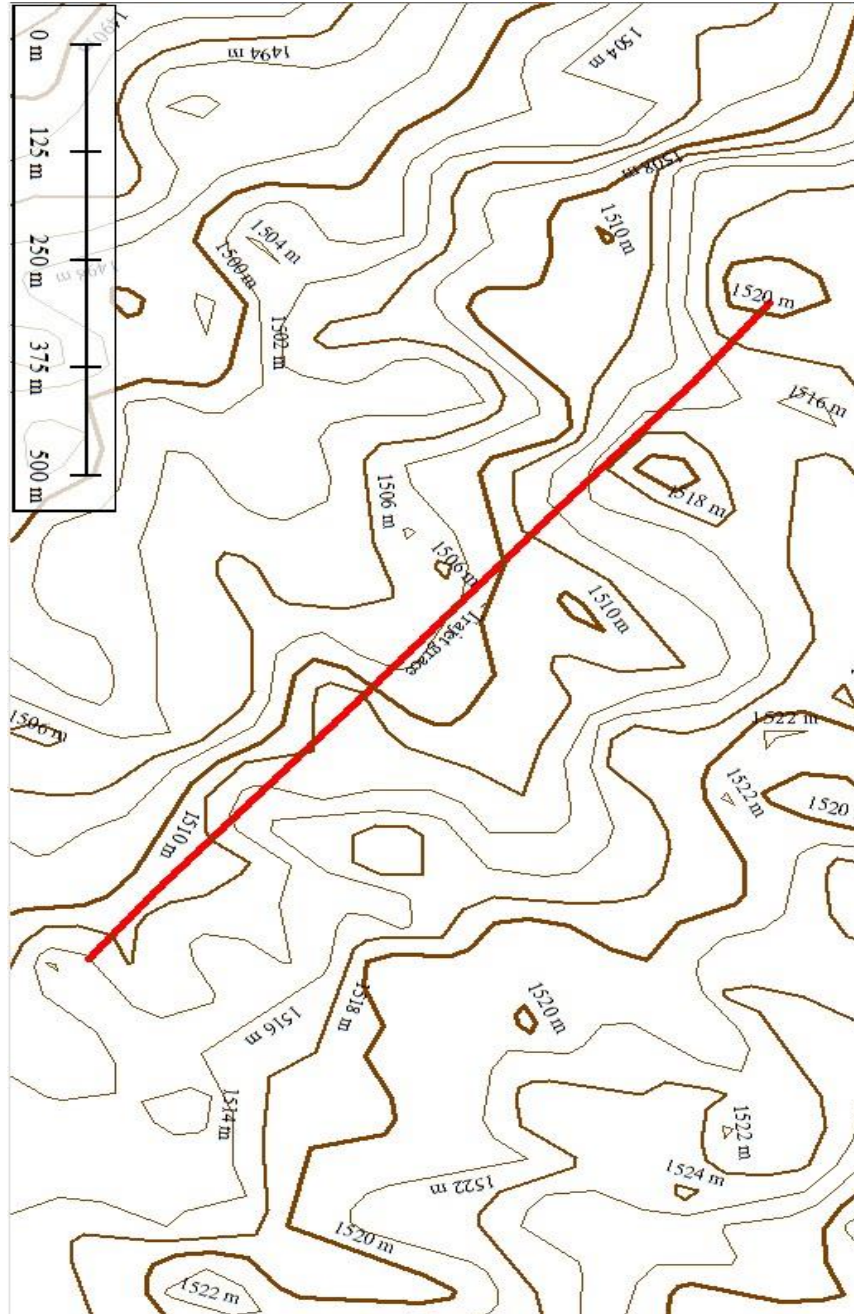


Figure 18. Courbe de niveau [12]

III.2.3. Profil en travers type

Le profil en travers type indiqué à la *figure 20* a été généré par le logiciel covadis

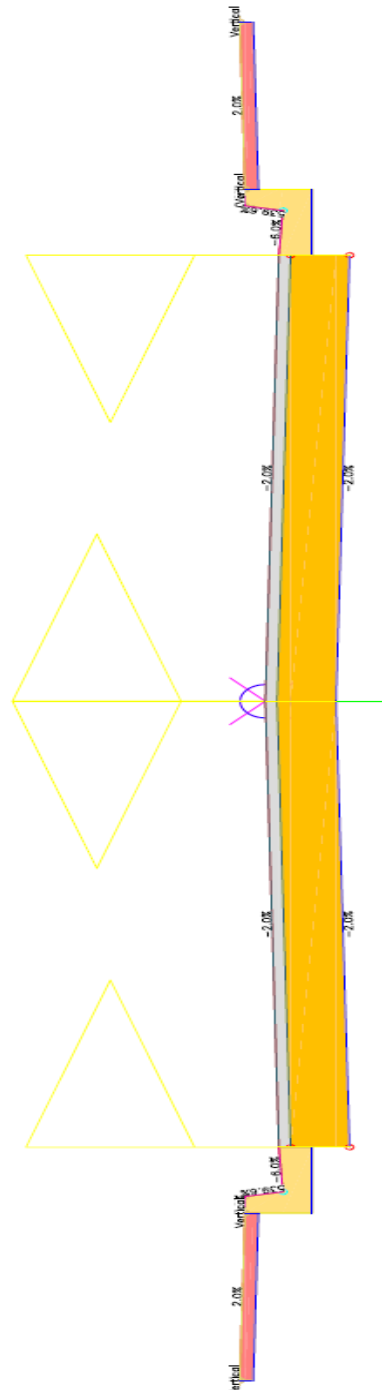


Figure 20. Profil en travers type [12]

III.2.4. Profil en travers courant

Comme pour le profil précédent, ce profil a été également généré par le logiciel covadis.

PL : Axe CAJED-NDOSHO - (1)
 PT : Axe CAJED-NDOSHO - (1) - 0+00.00
 PK : 0.00m
 Ech H : 1/500
 Ech V : 1/500
 PC : 1506.0

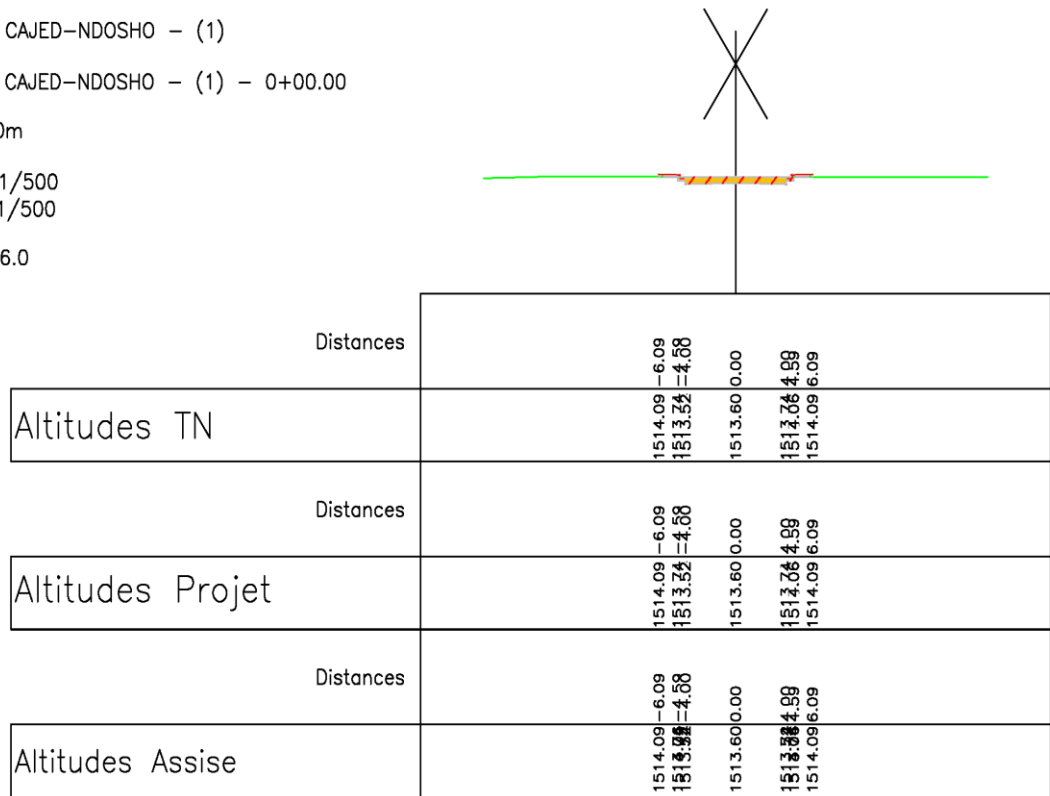


Figure 21. Profil en travers courant [12]

III.3. DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE DE LA CHAUSSEE

III.3.1. Paramètres pris en compte

En technique routière, il y a des paramètres incontournables à prendre en compte pour le dimensionnement. Il s'agit de la durée de vie de la chaussée, les caractéristiques du sol en place, les propriétés des matériaux à mettre en œuvre, le climat, le trafic et la charge de calcul.

- **La durée de vie**

Bien que fondamentale, l'importance du trafic qu'aura la route durant la période pour laquelle on la dimensionne est toujours difficile à appréhender. Il arrive que les conditions économiques locales se modifient rapidement entraînant des trafics dont l'accroissement avait été estimé, un renforcement est alors à envisager.

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

- **Le trafic**

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

L'étude du trafic est très importante pour le calcul du coût global de fonctionnement des véhicules, déterminant de manière essentielle la rentabilité du projet. De plus, l'entretien des routes et plus essentiellement celui des structures de chaussée est largement dépendant du trafic, non seulement pour la fréquence et les méthodes d'entretien mais aussi pour adapter l'organisation des services techniques aux différentes demandes d'entretien possible. Cette étude peut être plus ou moins détaillée en fonction du besoin, des moyens et du but recherché.

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

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

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

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

- la prévision de l'accroissement du trafic initial.

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

$$N = 365 \times T \times A \times \frac{[(1+r)^n - 1]}{r} \quad (9)$$

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

n : la durée de service en nombre d'années

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

P : charge de référence par essieu

r : taux d'accroissement géométrique

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

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

Figure 22. Classes de trafic PL retenues pour les différentes vocations des voies

Le trafic est classifié dans le **tableau 5** :

Tableau 5. Classes de trafic

Classe du trafic	Nombre de PL cumulés (N)
T1	$\leq 5.10^5$

T2	$5.10^3 < N \leq 1,5.10^6$
T3	$1,5.10^6 < N \leq 4.10^6$
T4	$4.10^6 < N \leq 10^7$
T5	$10^7 < N \leq 2.10^7$

- **La portance de la PF**

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

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

Tableau 6. Classification française des sols

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

III.3.2. Eléments de dimensionnement

i) **Trafic**

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

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

- Le trafic y est très important, avec une proportion de véhicules lourds très variable,
- Le pourcentage de véhicules de transport en commun, parmi les poids lourds, est relativement important,

- La circulation des véhicules de transport privé plus modéré que celle des véhicules de transport en commun.

Par opposition aux voies de distribution et de desserte, cette route n'a pas pour vocation la desserte, fine ou non, des quartiers. Elle permet à la fois de structurer les communes tout en assurant les liaisons internes à celle-ci ; c'est ainsi que nous pouvons la classer dans les voies de liaison structurantes.

Celle étant, elle sera dimensionnée en fonction d'un trafic poids lourd, car, comme préciser ci-haut, seuls les véhicules PL ont un effet significatif sur la fatigue de la chaussée. Cet effet est très largement fonction de la charge par essieu des véhicules : un essieu chargé à 130KN est moyennement 4 à 5 fois plus agressif qu'un essieu chargé à 100KN.

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

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

ii) La durée de service

Concernant les voies de liaison structurante, la politique sera axée sur un investissement à long terme. C'est ainsi que nous avons opté pour une durée de vie de **20 ans**.

iii) La plateforme

Dans le cas du tronçon en étude, le laboratoire de l'OR de Goma nous a indiqué que le sol en place est en scories volcanique et de la valeur moyenne de **CBR de 18%** pour un sol à valeur d'OPM égale à 95% après quatre jours d'imprégnation, constituant ainsi la PF de notre chaussée en béton bitumineux. Cela nous a permis de fixer la PF du projet dans la classe **S4** d'après le guide CEBTP (voir le *tableau 6*).

III.3.3. Proposition de structure selon le guide CEBTP

Partant des routes appartenant à la catégorie des voies de liaison structurante, par interprétation du tableau présentant le TMJA à la *figure 22*, nous nous retrouvons avec TMJA = 300PL /jour/sens.

Concernant le taux d'accroissement du trafic, le bureau de l'OVD Goma donne un taux d'accroissement géométrique du trafic de 7%.

Le trafic PL cumulés sur la durée du service de projet est donné par la formule (1) :

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

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

n : la durée de service de notre route est 20 ans

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

A : coefficient d'agressivité, $\left(\frac{P}{13}\right)^\delta = A$, avec $\delta = 4,5$ pour les chaussées souples. Nous prévoyons un dépassement de charge de 10% comme marge de sécurité pour raison de surcharge. Nous avons $A = \left(\frac{P+0,1P}{13}\right)^\delta = \left(\frac{13+0,1 \times 13}{13}\right)^{4,5} = 1,54$

r : taux d'accroissement géométrique de 7%

TMJA=T = 300 PL/Jour/sens

D'où $N = 365 \times T \times A \times \frac{[(1+r)^n - 1]}{r}$

$N = 365 \times 300 \times 1,54 \times \frac{[(1+0,07)^{10} - 1]}{0,07} = 6913069,87013$ passages

Ayant trouvé $4.10^6 < N < 10^7$, nous aurons pour notre projet, **la classe de trafic T4.**

Ainsi, le guide pratique du dimensionnement pour les pays tropicaux du CEBTP, concernant la classe de trafic T4 et la classe de PF S4, la structure se présente comme suit :

- Couche de revêtement en béton bitumineux de 7cm
- Couche de base et couche de fondation en concassés 0/D de 35cm

III.3.4. Proposition de la structure du trottoir

Dans le souci d'accorder une circulation plus aisée aux piétons, les accotements de la chaussée seront en trottoir de deux côtés de la chaussée. Le trottoir sera large de 1,5 m construit en pavés en pierres qui seront déposés sur une base en GNT. Les bordures de séparation de la chaussée avec les trottoirs seront des bordures caniveaux de 0,45m chacun pour permettre l'évacuation des eaux.

Tableau 7. Structure du trottoir

Pavés en pierres volcaniques	5 cm
Couche de base en scorie volcanique	20 cm
Couche de fondation en GNT	20 cm

III.3.5. Dimensionnement des ouvrages d'assainissement

Comme signalé au chapitre précédent, ce travail se focalisera sur le dimensionnement du fossé triangulaire de type 2/1 et 1/2 illustrée à la **Figure 17.**

III.3.1 Dimensionnement du fossé latéral

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

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

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

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

Pour le cas de ce travail, étant donné que notre fossé ne prendra que les eaux de la chaussée et non les eaux des fossés extérieurs, la vitesse maximale de 3.5 m/s [6] et la pente de 6% ont été retenues.

Se basant alors sur les résultats du **Tableau 3** qui présente les capacités max en (l/s) des fossés triangulaires revêtus pour (h=0,60m), la capacité du fossé qui est l'objet de ce travail sera de 306 l/s.

Pour éviter les éventuels débordements de l'eau quand les débits dépassent la capacité du fossé ou bien pour que les vitesses d'écoulement dans le fossé n'atteignent pas les limites d'affouillent, les fossés latéraux comporteront des ouvrages de décharges sur chaque 200 m.

III.4. CHOIX DES MATERIAUX

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

Notons que le choix des matériaux se fait suivant la classe de trafic trouvé ainsi que la classe de la plate-forme.

C'est ainsi qu'en se référant au guide CEBTP, guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, nous avons trouvé que pour la couche de fondation et la

couche de base les matériaux à utiliser sont respectivement les concassés 0/D et le béton bitumineux pour celle de roulement[13].

Tableau 8. Les matériaux de différentes couches

COUCHES	MATERIAUX
Revêtement	Béton bitumineux
Couche de base	Concassés 0/D
Couche de fondation	Concassés 0/D

III.5. RESULTATS DES CUBATURES

En tenant compte du concept de triangulation, les surfaces des profils en travers se décomposent aisément en surfaces des trapèzes et triangles dont le calcul est facile à partir de la levée des côtes du projet, ceux du terrain naturel et les distances partielles sur profils en travers. Pour les profils mixtes, les surfaces des déblais et celles des remblais ne peuvent être additionnées. Ainsi, l'étude des mouvements des terres serait essentielle.

Mouvement de terre

C'est l'étude des cubes à transporter et de la longueur de transport. Notons par V le volume des cubes à transporter et d la distance de transport.

Dans le souci de garantir l'économie des matériaux, les terres sont transportées des déblais vers les remblais et les excédents sont mis en dépôt. Lorsque les déblais sont déficients 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.

Tableau 9. Résultats des cubatures [12]

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	4.01	0	0	0.17	0	0	0
25 .00	4. 16	102	102	0 .3 2	6	6	96
50.00	4.17	104	206	0.32	8	14	192
75.00	4.01	102	308	0.17	6	20	288
100 .00	4.03	100	409	0.21	5	25	384
125 .00	4.32	104	513	0.47	9	33	480

150.00	4.32	108	621	0.48	12	45	576
175.00	4.16	106	727	0.32	10	55	672
200.00	4.18	104	831	0.34	8	64	768
225.00	4.04	103	934	0.24	7	71	863
250.00	4.08	101	1036	0.23	6	77	959
275.00	4.33	105	1141	0.74	12	89	1052
300.00	4.31	108	1249	0.49	15	104	1145
325.00	4.50	110	1359	0.68	15	119	1240
350.00	4.04	107	1466	0.20	11	130	1336
375.00	4.17	103	1568	0.44	8	138	1430
400.00	4.01	102	1670	0.17	8	145	1525
425.00	4.01	100	1771	0.18	4	150	1621
450.00	3.75	97	1868	0.42	8	157	1710
475.00	3.96	96	1964	0.30	9	166	1798
500.00	4.01	100	2064	0.17	6	172	1892
525.00	4.11	101	2165	0.33	6	178	1987
550.00	4.17	104	2269	0.33	8	186	2082
575.00	4.15	104	2373	0.59	11	198	2175
600.00	4.43	107	2480	0.59	15	213	2267
625.00	4.44	111	2591	0.40	12	225	2366
650.00	4.45	111	2702	0.61	13	237	2465
675.00	4.55	113	2815	0.49	14	251	2563
700.00	4.01	107	2922	0.17	8	259	2662
725.00	3.83	98	3020	0.35	7	266	2754
750.00	4.01	98	3118	0.17	7	273	2845
775.00	3.40	93	3210	0.69	11	283	2927
800.00	4.41	97	3308	0.75	18	301	3006
825.00	3.87	103	3411	1.27	25	327	3085
850.00	5.21	113	3525	1.36	33	360	3165
875.00	4.53	122	3646	0.55	24	384	3263
900.00	4.37	111	3758	0.53	14	397	3361
925.00	4.23	107	3865	0.32	11	408	3457
950.00	4.13	104	3970	0.28	8	415	3554
975.00	4.00	102	4071	0.34	8	423	3648
1000.00	4.01	100	4171	0.17	6	429	3742
1000.99	4.01	4	4175	0.17	0	430	3746

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de ce travail ayant été l'étude d'aménagement d'une chaussée revêtue en béton bitumineux, cette étude s'est portée sur le tronçon NOSHO-CAJED qui fera le raccordement entre les deux bords de la RN2 aménagés.

Après une étude documentaire des travaux antérieurs et du projet d'aménagement en cours par l'OR, il a été question de préconiser l'aménagement d'une chaussée en béton bitumineux avec une durée de vie de 20ans, cela pour répondre aux différents problèmes observé sur ce tronçon.

En termes de ce travail, il s'est avéré important de remarquer que l'avènement du béton bitumineux est une solution adéquate aux différents problèmes rencontrés sur les routes de la ville de GOMA où le trafic est élevé. Le choix de ce matériau a été fait non seulement pour son caractère esthétique mais aussi pour sa convenance technique. En effet, le béton bitumineux présente des caractéristiques physico-mécaniques très satisfaisant (résistance, adhérence,...).

Ce travail a été un champ d'étude et de fixation des idées innovatrices en matière des infrastructures routières en générale et de dimensionnement des chaussées en béton bitumineux en particulier.

Le travail établi étant une œuvre humaine, donc pourvu d'erreurs, il est du devoir de tout chercheur de compléter ou d'apporter des modifications éventuelles pouvant être nécessaire tout en continuant la recherche étant donné que le domaine routier est très vaste.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] <https://fr.scribd.com/document476267736/TFC-SUR-L-ETUDE-DE-LA-REHABILITATION-D-UNE-ROUTE-EN-CHAUSSEE-SOUPLE-à-Kisangani>
- [2] G. KASHALA. D, cours de routes G3 Génie Civil/FSTA, Goma: inédit, 2022.
- [3] <https://congovirtuel.com/age-rapport-travaux/tfc-inbtp/tfc-inconnu6.pdf>
- [4] G. M. LWANZO, Etude comparative entre une chaussée en souple et une chaussée en pierres cas u tronçon Terminus-Nyabushongo, ULPGL/FSTA
- [5] <http://www.guidebeton.com/beton-bitumineux>
- [6] K.K. Magloire, Etude d'aménagement d'une chaussée des pavées en pierres volcaniques : cas du tronçon Entrée hôtel Boneza- Musée, ULPGL/FSTA, 2020-2021.
- [7] Google earth
- [8] Y. E. BARACK, Etude d'aménagement de la route revêtu de béton bitumineux : cas de la rue Pangi/ Quartier Murara en ville de Goma, ULPGL/FSTA, 2016-2017.
- [9] Yamb Bell Emmanuel, cours de routes
- [10] S. Phinée, Aménagement d'une route revêtue : application sur le tronçon routier Katoyi-Kibarabara, TFC inédit, Goma, ULPGL/FSTA, 2017-2018
- [11] N. V. TUU, B. LEMOINE et J. POUPLARD, Route et Hydraulique, 1979, pp. 283-345
- [12] Covadis
- [13] CEBTP, Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, 1984
- [14] T. K. Elke, Etude d'une route revêtue de béton bitumineux dans l'avenue Kasindi à Goma, ULPGL/FSTA, 2015-2016.
- [15] N. François, Cours de mécanique de sols, G3 G.C FSTA/ ULPGL Goma, Inédit 2021-2022.

ANNEXES

ANNEXE 1 : VOLUMES DES COUCHES

Roulement : Volume				Base : Volume			
PK	Surface	Volume	Vol cumulé	PK	Surface	Volume	Vol cumulé
0.00	0.56	0	0	0.00	2.80	0	0
25.00	0.56	14	14	25.00	2.80	70	70
50.00	0.56	14	28	50.00	2.80	70	140
75.00	0.56	14	42	75.00	2.80	70	210
100.00	0.56	14	56	100.00	2.80	70	280
125.00	0.56	14	70	125.00	2.80	70	350
150.00	0.56	14	84	150.00	2.80	70	420
175.00	0.56	14	98	175.00	2.80	70	490
200.00	0.56	14	112	200.00	2.80	70	560
225.00	0.56	14	126	225.00	2.80	70	630
250.00	0.56	14	140	250.00	2.80	70	700
275.00	0.56	14	154	275.00	2.80	70	770
300.00	0.56	14	168	300.00	2.80	70	840
325.00	0.56	14	182	325.00	2.80	70	910
350.00	0.56	14	196	350.00	2.80	70	980
375.00	0.56	14	210	375.00	2.80	70	1050
400.00	0.56	14	224	400.00	2.80	70	1120
425.00	0.56	14	238	425.00	2.80	70	1190
450.00	0.56	14	252	450.00	2.80	70	1260
475.00	0.56	14	266	475.00	2.80	70	1330
500.00	0.56	14	280	500.00	2.80	70	1400
525.00	0.56	14	294	525.00	2.80	70	1470
550.00	0.56	14	308	550.00	2.80	70	1540
575.00	0.56	14	322	575.00	2.80	70	1610
600.00	0.56	14	336	600.00	2.80	70	1680
625.00	0.56	14	350	625.00	2.80	70	1750
650.00	0.56	14	364	650.00	2.80	70	1820
675.00	0.56	14	378	675.00	2.80	70	1890

700.00	0.56	14	392	700.00	2.80	70	1960
725.00	0.56	14	406	725.00	2.80	70	2030
750.00	0.56	14	420	750.00	2.80	70	2100
775.00	0.56	14	434	775.00	2.80	70	2170
800.00	0.56	14	448	800.00	2.80	70	2240
825.00	0.56	14	462	825.00	2.80	70	2310
850.00	0.56	14	476	850.00	2.80	70	2380
875.00	0.56	14	490	875.00	2.80	70	2450
900.00	0.56	14	504	900.00	2.80	70	2520
925.00	0.56	14	518	925.00	2.80	70	2590
950.00	0.56	14	532	950.00	2.80	70	2660
975.00	0.56	14	546	975.00	2.80	70	2730
1000.00	0.56	14	560	1000.00	2.80	70	2800
1000.99	0.56		561	1000.99	2.80	3	2803

ANNAXE 2 : VUE EN PLAN

