

UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS

FACULTE DE SCIENCES DE L'INGENIEUR

MENTION DE GENIE CIVIL



BP. 368 GOMA

www.ulpgl.net

**Etude d'une chaussée à pavée basaltique :
Application sur le tronçon entrée maman
gouverneur-kibwe à Goma**

Travail présenté et défendu en vue de l'obtention du
Diplôme de Bachelor en Sciences de l'ingénieur

Par : **KAMBALE TAVULYANDANDA Emery**

Directeur : Prof.Ing. BISHWEKA B. Cherif

Encadreur : CT. Ing. MASIKA MUHIWA Grace

ANNÉE ACADÉMIQUE 2022 - 2023

Epigraphe

“ Sur la route de la vie, chaque virage apporte une nouvelle perspective. Embrassez les détours et appréciez le voyage.”

Anonyme

Dédicace

A ma famille

KAMBALE TAVULYANDANDA Emery

Remerciements

Notre gratitude en premier lieu, s'adresse au tout puissant et père céleste qui écoute toujours nos prières avec tolérance. Nous disons merci pour le souffle de vie, l'intelligence et toutes les grâces qu'il nous accorde gratuitement.

Nos remerciements s'adressent également à l'université libre des pays des grands lacs, ULPGL/Goma, qui nous forme ainsi qu'à tout le personnel académique et administratif de la faculté des sciences appliquées, en particulier le Prof BISHWEKA Cherif, notre directeur, ainsi que la CT MASIKA MUHIWA Grace notre encadreur, qui nous ont guidé et accompagné dans la réalisation de ce dit travail, nous permettant ainsi d'acquérir des notions complémentaires à notre formation.

Nous remercions également nos parents, KAMBALE MUSAYI et KAVIRA SIHERIA pour l'amour, le soutien tant moral que matériel qu'ils ne cessent de nous apporter jusqu'à ce stade.

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

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

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

KAMBALE TAVULYANDANDA Emery

Résumé

La ville de Goma, située dans l'Est de la République Démocratique du Congo, a connu une croissance rapide de sa population ces dernières années. Cette croissance a entraîné une augmentation de la demande pour des infrastructures de transport de qualité, notamment pour les routes. C'est dans ce cadre qu'intervient le présent travail intitulé : « **Etude d'une chaussée à pavé basaltique : Application sur le tronçon entrée maman gouverneur-kibwe à Goma** », objet de notre travail de fin d'études.

L'objectif global de ce travail est de concevoir un projet techniquement admissible et financièrement acceptable. Pour ce faire, nous avons effectué des études préliminaires qui nous ont renseigné sur la topographie de la zone, trafic, ... Ainsi, la classe du sol obtenue est de type S4 et le trafic de classe T2. Ces derniers nous ont permis de procéder à la conception dans le logiciel civil 3D et de passer au dimensionnement structural de la chaussée à l'aide de la méthode CBR et des abaques du CEBTP. Nous avons retenu une structure de chaussée avec un revêtement en pavé basaltiques, un lit de pose en sable fin, une couche d'assise constituée de couche de fondation et de base en Grave concassé.

Enfin, nous avons fait une étude complémentaire comportant l'estimation du coût global du projet qui s'élève à cinq cent soixante-dix-huit mille trois cent soixante-dix-sept (578377) \$ prix hors taxe.

Mots Clés : trafic ; tracé routier ; dimensionnement ; pavée basaltique

Abstract

The city of Goma, located in the East of the Democratic Republic of Congo, has experienced rapid population growth in recent years. This growth has led to an increased demand for quality transportation infrastructure, particularly roads. It is within this context that the present project entitled: "**study of a basaltic paved road: Case of the section from Maman Gouverneur entrance to Kibwe in Goma**", the subject of our final year project, comes into play.

The overall objective of this work is to design a technically feasible and financially acceptable project. To achieve this, we conducted preliminary studies that informed us about the topography of the area, traffic, etc. The soil class obtained is of type S4 and the traffic class is T2. These parameters allowed us to proceed with the design in the civil 3D software and to move on to the structural dimensioning of the pavement using the CBR method and the CEBTP charts. We selected a pavement structure with a basaltic paving, a bedding layer of fine sand, a base layer consisting of foundation and crushed gravel base.

Finally, we conducted a supplementary study including the estimation of the total project cost, which amounts to five hundred seventy-eight thousand three hundred seventy-seven (578377) USD excluding taxes.

Keywords: traffic; road layout; dimensioning; basaltic paving.

Table des matières

Epigraphe.....	i
Dédicace	ii
Remerciements	iii
Résumé	iv
Abstract.....	v
Table des matières	vi
Liste des abréviations	ix
Liste des tableaux	x
Liste des figures.....	xi
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre I GENERALITES SUR LES ROUTES	3
I.1 Présentation du site.....	3
I.2 Généralités sur les routes.....	4
I.2.1 Origine de la route.....	4
I.2.2 Structure et géotechnique routière.....	6
I.2.3 Classification des routes.....	8
I.2.4 Matériaux pour les constructions routières	11
I.3 Cas particuliers des routes en pave	15
I.3.1 Origines des paves.....	15
I.3.2 Les éléments constitutifs d'une chaussée en pavés	16
I.3.3 Quelques caractéristiques des routes en pavé basaltique	17
I.3.4 Quelques matériaux utiliser dans la construction des routes en pave basaltiques	19

Chapitre II METHODOLOGIE DU TRAVAIL	22
II.1 Evaluation du trafic	22
II.1.1 La durée de service	22
II.1.2 Charges à l'essieu	22
II.1.3 Calcul de trafic cumulé	23
II.1.4 Détermination de la classe du trafic	24
II.2 Levés topographiques et conception géométrique de la route.....	24
II.2.1 Levés topographiques	24
II.2.2 Tracé plan.....	25
II.2.3 Profil en long.....	28
II.2.4 Profil en travers	29
II.3 Cubatures des terrassements et mouvement de terre.....	29
II.3.1 Méthodes de calculs des cubatures.....	30
II.3.2 Le mouvement de terre.....	31
II.4 Dimensionnement des chaussées	32
II.4.1 La méthode basée sur le CBR	32
II.4.2 La méthode du CEBTP	34
II.5 Dimensionnement des ouvrages de drainage	35
II.5.1 Définitions de base	35
II.5.2 Étapes du Dimensionnement.....	35
II.6 Evaluation du coût (devis estimatif).....	37
Chapitre III PRESENTATION DES RESULTATS	39
III.1 Trafic	39
III.1.1 Durée de service	39
III.1.2 Charges à l'essieu	39
III.1.3 Calcul de trafic cumulé	39
III.1.4 Détermination de la classe du trafic	40
III.2 Le tracé en plan	40

III.3	Le Profil en long du projet	41
III.4	Profil en travers	41
III.5	Dimensionnement des chaussées	42
III.5.1	Plate-forme	42
III.5.2	Proposition de la structure selon la méthode CEBTP	42
III.5.3	Dimensionnement suivant la méthode CBR	44
III.5.4	Les Cubatures des terrassements.....	45
III.6	Dimensionnement des ouvrages de drainage	48
III.6.1	Choix du type de canalisation géométrie	48
III.6.2	Estimation du débit de ruissellement	48
III.6.3	Éléments Géométriques du Caniveau en V	49
III.6.4	Calcul de la Section Hydraulique.....	49
III.6.5	Vérification de la vitesse et capacité	50
III.7	Évaluation du coût (devis estimatif).....	50
CONCLUSION GENERALE		52
Bibliographie		53
ANNEXES		1

Liste des abréviations

CBR : Californian Bearing Ratio

GNT : Granulats Non Traités

Pk : Point Kilométrique

PL : Poids Lourds

TMJA : Trafic Moyen Journalier Annuel

NE : Nombre d'Essieu

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

FF : frais forfaitaire

TN : Terrain naturel

ULPGL : Université Libre des Pays de Grands Lacs

Liste des tableaux

Tableau I-1 Vitesse en fonction des catégories de route [4].	10
Tableau II-1 Tableau illustrant la classe du trafic en fonction de PL/Jour/sens [7]	24
Tableau II-2 Valeurs usuelles du coefficient d'équivalence (CBR) [9]	34
Tableau III-1 Classification du trafic en fonction de PL/Jour/sens.	40
Tableau III-2 Classe de plate-forme guide CEBTP [7]	42
Tableau III-3 Choix de l'épaisseur du pavé en fonction du trafic [1]	43
Tableau III-4 Dimensionnement avec CEBTP	44
Tableau III-5 différentes couches avec leurs épaisseurs	45
Tableau III-6 déblais et râblais	46
Tableau III-7 cubature des différentes couches	47
Tableau III-8 Devis estimatif (HT)	50
Tableau III-9 Devis estimatif (TTC)	51

Liste des figures

Figure I.2.1-I Plan de situation.....	3
Figure I.2.1-I Sentier routier	4
Figure I.2.1-II La voie romaine [2]	5
Figure I.2.2-I Représentation schéma structural d'une chaussée [4].	6
Figure I.3.3-I Les paves esthétiquement attrayant [2].....	18
Figure I.3.4-I Les Paves basaltique [2]	19
Figure I.3.4-II Le sable [2]	20
Figure I.I.3.4-III les graviers [2]	21
Figure I.I.3.4-IV les graves non traites [2]	21
Figure II.2.2-I Elément de la Clothoïde [8].....	27
Figure III.1.4-I Tracé en plan	40
Figure III.1.4-I Profil en long	41
Figure III.1.4-I Profil en travers type	41
Figure III.5.4-I épures de LALANNE.....	48

INTRODUCTION GENERALE

Les routes sont des axes de communication nécessaire au développement économique et social d'un pays, l'homme cherche à se développer et à rendre ses conditions de vie meilleures. Ainsi, ce développement ne saurait voir le jour qu'en passant par la construction et la réhabilitation des voies de communications terrestres qui constituent le facteur clé pour un développement économique et social [1]. La ville de Goma, située dans l'Est de la République Démocratique du Congo, a connu une croissance rapide de sa population ces dernières années. Cette croissance a entraîné une augmentation de la demande pour des infrastructures de transport de qualité, notamment pour les routes. Cependant, les routes actuelles sont souvent en mauvais état et ne répondent pas aux besoins de la population et des entreprises locales, parmi ces routes nous pouvons citer les tronçons entrée maman gouverneur-kibwe, Ila-kibwe, entrée CBCA Virunga-deux lampes, entrée bingombe - kisoko katoyi, etc...

L'état actuel de cette route qui est une route non revêtue et qui fait souffrir les usagés surtout après la pluie où on observe des eaux qui stagnent pendant des heures voir même de jours ; rendant ainsi cette route impraticable. Ce phénomène ; a attiré notre curiosité et a motivé le choix et l'intérêt de notre sujet de recherche qui est une Etude d'une chaussée à pavée basaltique : Application sur le tronçon entrée maman gouverneur-kibwe à Goma qui pourra offrir une solution viable pour améliorer les conditions de vie des usages ainsi que la connectivité de la ville.

De ce fait les questions suivantes méritent d'être posées ; notamment : Pour que la structure réponde aux normes exigées d'une route ; quels types de matériaux doit on utiliser ? ; Quel serait l'impact environnemental de l'utilisation de cette route en pavés basaltique ? et Quel serait le coût de construction de cette route en pavés basaltique ?

Nos réponses aux préoccupations soulevées ci-haut sont les suivantes : Notre chaussée sera en pavés basaltiques car les pavés basaltiques résistent mieux plus que les béton bitumineux et

l'abondance des pierres des basaltes dans la ville de Goma qui en fait un matériau de choix économique ; Cette route en pavées basaltique pourra faciliter la circulation après la pluie et pourra aussi réduire la quantité de poussière générée par la circulation, améliorant ainsi la qualité de l'air et la santé des résidents et bien que le coût initial puisse être plus élevé, les avantages à long terme des routes en pavées basaltique justifient cet investissement.

L'objectif général de cette étude est d'évaluer la faisabilité technique et économique de la construction d'une route en pavée basaltique. Et de façon spécifique, il s'agira d'évaluer le trafic, faire le tracé routier, faire le dimensionnement et évaluer le coût global.

Pour bien aborder cette étude, Nous nous sommes servis : de la méthode de comptage du trafic pour l'évaluation du trafic, de certains instruments topographiques tels que le GPS pour faire les levées topographiques, des logiciels : global mapper et civil 3D pour le traitement de données topographiques (conception), des méthodes CBR et les méthodes de CEBTP pour les calculs de dimensionnement et la méthode des quantités pour l'évaluation du coût global. Pour ce travail nous serons limités par la conception, le dimensionnement et l'estimation du devis.

Hormis l'introduction et la conclusion générales ; Ce présent travail sera subdivisé en trois chapitres ; qui sont définis comme suit : le premier traite des généralités sur les routes et plus particulièrement les routes en pavé ; le deuxième traite la méthodologie du travail et le troisième la présentation des résultats (conception, dimensionnement et étude économique)

Chapitre I GENERALITES SUR LES ROUTES

Dans ce chapitre, nous commencerons par la présentation du site ; suivront ensuite les généralités sur les routes et nous finiront par le cas particulier des routes en pavé.

I.1 Présentation du site

Le tronçon en étude se trouve dans la ville de Goma, capitale administrative de la province du Nord-Kivu. S'élevant à environ 1500 mètres d'altitude dans la vallée du Rift, Goma s'étend sur la rive nord du lac Kivu, la plate-forme de la ville est une roche basaltique très dure servant généralement de couche de fondation lors des implantations des routes revêtues. Au sud de la ville, c'est le lac Kivu qui sert d'exutoire principal pour toutes les eaux de ruissellement. À l'Est, nous avons la république du Rwanda et à l'Ouest le territoire de Masisi. Elle comprend deux communes à savoir : La commune de Goma et La commune de Karisimbi. Le tronçon faisant l'objet de cette étude se trouve dans la commune de Karisimbi. Elle mesure 1527 m de long (source : civil 3D). Elle n'est pas revêtue et présente des inégalités des surfaces par endroit. Elle possède une largeur moyenne de 12m et peu de courbure et ne possède pas d'ouvrages hydrauliques, ce qui serait la cause majeure de l'apparition des flaques d'eaux stagnantes lors des pluies qui nuisent parfois à la circulation des piétons et des véhicules. La figure I.1 présente l'image satellite obtenue au moyen du logiciel Google earth Pro du tronçon en étude.



Figure I.2.1-I Plan de situation

I.2 Généralités sur les routes

Les routes sont des voies de communication terrestres qui permettent le déplacement des véhicules et des personnes d'un endroit à un autre. Elles sont essentielles pour le développement économique et social d'un pays. Dans cette section nous allons présenter : l'Origine de la route, Structure et géotechnique routière, Classification des routes et Matériaux pour les constructions routières.

I.2.1 Origine de la route

Les premières voies de communication terrestres étaient de simples sentiers. Ils se formaient naturellement et ne demandaient aucun entretien particulier. Voyager et se déplacer était compliqué, il fallait se frayer des chemins. De ce fait, les transports étaient principalement fluviaux et maritimes. Les autres convois de marchandises étaient transportés par des animaux ou des hommes sur des chemins composés exclusivement de terre. Les sentiers avaient été créés pour franchir des obstacles. C'est ainsi que certains aménagements apparurent : couper des arbres, dégager les passages ou encore aplanir les surfaces tel que présenter à la figure I.2



Figure I.2.1-I Sentier routier

A l'Antiquité, les routes principales reliaient les principales agglomérations. Nous devons ces constructions aux Romains. Certaines étaient pavées, d'autres en terre battue ou en graviers pilés. Les Romains mirent en place des techniques très avancées. Ils respectaient deux principes : s'adapter aux conditions locales et protéger les routes des infiltrations d'eau en alternant déjà plusieurs couches de matériaux et en bombant les surfaces, comme illustre la figure I.3

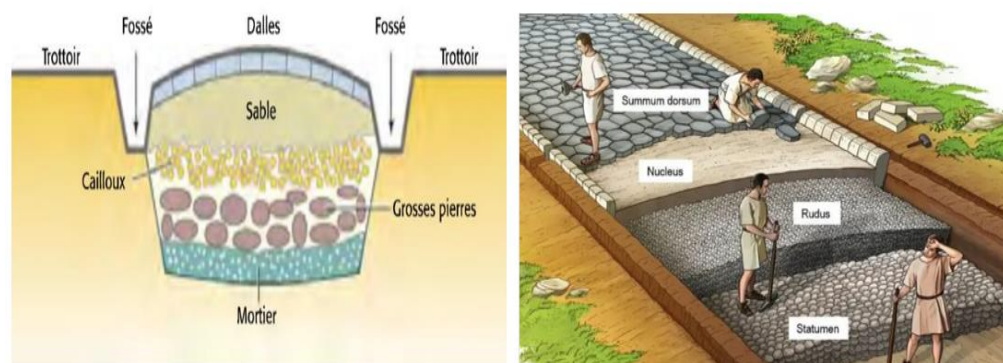


Figure I.2.1-II La voie romaine [2]

Au Moyen Age, les routes furent peu à peu détruites. C'est à l'époque industrielle que le monde assista au réveil de la construction routière. Il fit comprendre que le rôle principal de la couche la plus profonde était le transfert du poids de la route et la pression exercée par les charges. Par conséquent, c'est à ce moment-là que la fonction du revêtement externe apparue nettement. Ce qu'on appelle aujourd'hui couche de roulement n'est qu'une surface lisse qui protège toutes les couches inférieures.

À partir des années 1900, les voiries n'ont fait que prospérer. Les techniques de revêtement noirs (houille ou bitume) virent le jour puis progressivement le ciment, l'invention des pneumatiques et l'industrialisation des automobiles. Il a ensuite fallu répondre aux contraintes croissantes : les véhicules se multipliaient et il fallait plus de routes. Un nouveau type de réseau de communication apparaît alors : les autoroutes. Elles comportent encore aujourd'hui deux chaussées séparées à sens unique sans carrefour. Ce dernier point les différencie des voies rapides.

Avec l'avènement de l'industrialisation et de l'automobile, les routes ont connu une transformation majeure. Les technologies de construction routière ont évolué, permettant la création de routes plus larges et plus résistantes. Les autoroutes et les voies rapides ont été développées pour répondre aux besoins croissants de transport. Aujourd'hui, les routes sont essentielles à notre vie quotidienne. Elles facilitent le commerce, le tourisme et les déplacements. De plus en plus de pays investissent dans l'infrastructure routière pour améliorer la connectivité et stimuler le développement économique [3].

I.2.2 Structure et géotechnique routière

La structure et géotechnique routière est consacrée à la compréhension élargie d'une chaussée du point de vue structurale. Une chaussée est du point de vue structurale, un ouvrage à grande envergure constituant un système multicouche où chacune des couches joue un rôle important. La chaussée a de cette manière, une interaction très complexe avec son environnement et plus spécifiquement avec le trafic et le climat (température, pluie, etc.) voir la figure I.4

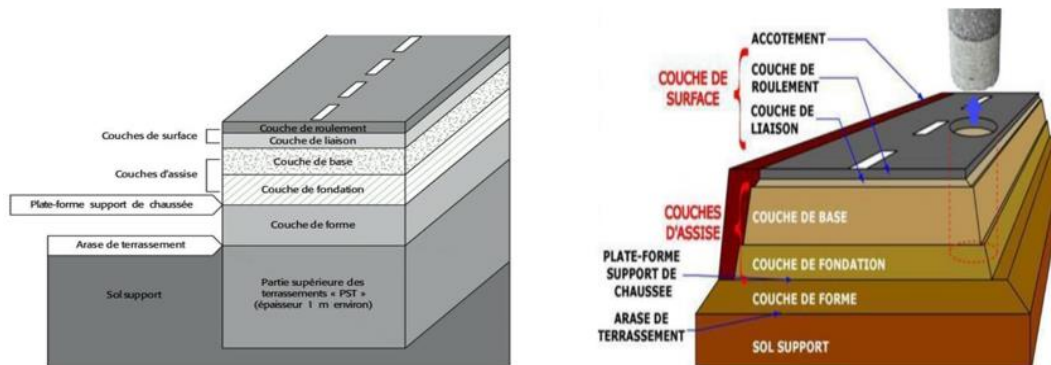


Figure I.2.2-I Représentation schéma structural d'une chaussée [4].

En vertu de ce schéma, ou mieux de la figure I.4, il est facile de remarquer que la chaussée est constituée des plusieurs couches superposées. Distinguons à ce niveau, l'infrastructure à la structure routière : 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. La nécessité s'impose dans la suite de connaître la nature (matériau), le rôle structural, le rôle fonctionnel et autres informations sur chacune des couches de la chaussée [4].

I.2.2.1 Couche de revêtement

Le revêtement ou couche de roulement est une couche de surface qui est généralement faite dans nos pays (tropicaux) en béton bitumineux (mélange à chaud des granulats et des bitumes). On peut faire aussi cette couche en béton de ciment, cela dans le pays du nord où il fait excessivement froid. En outre, le revêtement peut aussi être en traitement superficiel (enduit superficiel). Les rôles du revêtement sont tant structuraux que fonctionnels :

- ❖ Rôles structuraux : il s'agit de la distribution de la charge (diffusion de la contrainte) et de l'étanchéité : le bitume est imperméable, il empêche l'infiltration de l'eau.
- ❖ Rôles fonctionnels : ici il s'agit du confort au roulement et de l'adhérence pneumatique – chaussée. Le revêtement devrait également offrir à la chaussée une bonne apparence et un support au marquage.

I.2.2.2 Couche de base

Dans nos 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. En outre, on utilise également pour cette couche les GNT « Graves Non Traités », c'est-à-dire les granites concassés, les basaltes concassés, ... Cependant, en cas de nécessité, on peut recourir aux graves bitumés. La couche de base présente plusieurs rôles, entre autres : la distribution des charges, le drainage, la surface de travail pour la mise en place du revêtement [1].

I.2.2.3 Couche de fondation

Les exigences en couche de fondation n'étant pas élevées, la latérite pourra faire un bon matériau. On utilise aussi pour cette couche la GNT, la latérite – ciment, ou la grave – bitume même si cela est rare en raison du coût. La couche de fondation joue les rôles suivants : Drainer la couche de base, Empêcher la contamination du sol support à la couche de base, Distribuer les charges, Atténuer les effets de gel – dégel (pays du nord), Assurer le passage infrastructure – couche de base.

I.2.2.4 Sol de l'infrastructure

Le sol de l'infrastructure résulte des opérations de terrassement (mouvement des terres). Il s'agit évidemment du terrain naturel, c'est-à-dire du sable, argile, etc... ou alors des matériaux de remblai, c'est-à-dire le sol ou le roc. Les rôles du sol de l'infrastructures sont : 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. Notons que lorsque le sol d'infrastructure n'a pas les qualités requises de portance, on y appose une couche de forme [4].

I.2.2.5 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 :

- ❖ La sous – couche anti – contaminant : qui 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. Et
- ❖ La sous – couche drainante et anti – capillaire : elle joue un double rôle, c'est-à-dire assurer un drainage efficace des chaussées et arrêter les remontées capillaires dans les zones marécageuses ou à nappe phréatique peu profonde. Elle est généralement constituée de sables grossiers, de tout – venants concassés, etc...

I.2.2.6 Les éléments connexes

Les éléments connexes à la structure de la chaussée sont notamment :

- ❖ Les accotements : jouant le rôle d'extension du revêtement et/ou de la fondation, du support latéral et de sécurité.
- ❖ Les talus : jouant le rôle de stabilité du remblai routier mais également de la sécurité et l'embellissement.
- ❖ Les fossés, caniveaux, collecteurs : constituent les principaux éléments du drainage.

I.2.3 Classification des routes

La classification des routes est un système utilisé pour catégoriser les différentes routes en fonction de leur usage, de leur capacité et de leur niveau de service et en fin de leur structure. En effet l'infrastructure routière est un ouvrage important et stratégique dans le développement économique d'un pays. Les routes peuvent être classées selon plusieurs critères, la classification peut être propre au pays, régionale ou d'ordre international (actuellement l'AICPR penche sur ce dernier cas pour une uniformité globale des routes du monde). La classification administrative des routes est basée sur la domanialité du terrain et du point de vue technique les routes sont classées selon la vitesse de référence ou selon le trafic qu'elles supportent, les routes peuvent être aussi

classées selon leurs fonctions ou selon les différentes contraintes environnementales. Certains pays classent les routes selon leurs modes de gestion ou d'exploitation (routes publiques, routes privées, ...). La référence des routes est le plus souvent faite en usage avec les trois principales classifications, qui sont la classification administrative et la classification par catégorie de route selon la vitesse de référence et la classification selon la structure de chaussées [4].

I.2.3.1 Classification administrative

Selon la classification administrative on distingue :

- ❖ **Chemins communaux** : Les chemins communaux constituent un maillon important dans le réseau routier, elles permettent la liaison des villages au réseau principal de routes. Elles peuvent s'étendre sur une ou plusieurs communes, entretenues par les collectivités locales.
- ❖ **Chemins de wilaya** : Les chemins de Wilaya ou Chemin Départementaux relient le réseau de routes communales au réseau national. Ces routes peuvent desservir uniquement la wilaya (le Département) et sont à la charge de celle-ci comme ils peuvent desservir deux Wilayas (Départements) avoisinantes.
- ❖ **Routes nationales** : Les routes nationales sont d'un intérêt commun pour plusieurs Wilayas (départements) ou pour le pays entier. Elles constituent des itinéraires inter-wilaya qui supportent un grand trafic. La construction, l'aménagement, l'entretien et la gestion de ces routes est faite par le budget de l'état.
- ❖ **Autoroutes** : Les autoroutes sont des routes nationales d'une catégorie spéciale, elles sont constituées de deux chaussées unidirectionnelles séparées par terre pleine central, ne comportant aucun passage ou carrefour à niveau.

Les autoroutes sont réservées à la circulation mécanique rapide et ne sont accessibles qu'à des points spécialement aménagés. Les autoroutes sont réalisées, aménagées, entretenues et gérées le plus souvent sur des capitaux privés ou groupes d'investissement. Les autoroutes offrent :

- $\frac{3}{4}$ Une Grande réserve de capacité.
- $\frac{3}{4}$ Des conditions meilleures de circulation.
- $\frac{3}{4}$ Une sécurité maximum pour les usagers [4].

I.2.3.2 Classification par catégorie de route selon la vitesse de référence

Selon la classification par catégorie de route selon la vitesse de référence on distingue :

❖ Les routes exceptionnelles

Ce sont des routes avec deux chaussées unidirectionnelles séparées, on admet que leurs tracés comportent quelques points de croisement plan.

❖ Les routes de Ière catégorie

Ces routes correspondent aux routes de grand trafic dans le tracé est sur terrain facile et peu accidenté avec quelques agglomération et croisements.

❖ Les routes de IIème catégorie

Ces routes correspondent aux routes supportant un trafic moyen dans un tracé développé dans un terrain vallonné, sortant du cadre de la première catégorie.

❖ Les routes de IIIème catégorie

Ce sont des routes qui supportent un trafic faible et dans le tracé correspondant à une section transversale difficile, dans un terrain avec un relief accidenté.

❖ Les routes de IVème catégorie

Ces routes sont tracées dans des sections très difficiles, ou leurs reliefs ne permettent pas de passer ou de réaliser des routes de catégories supérieures [4].

VITESSES EN FONCTION DES CATEGORIES DE ROUTE

Tableau I-1 Vitesse en fonction des catégories de route [4].

Catégorie	Exceptionnelle	Ière	IIème	IIIème	IVème
V (Km/h)	120	100	80	60	40

I.2.3.3 Classification selon la structure de chaussées

Selon la Norme Française, on distingue six catégories de chaussées, qui sont :

- ❖ **Chaussées ou structures souples** : sont constituées d'une couche de surface en asphalte ou en béton bitumineux, d'une couche de base en gravier ou en pierre concassée et d'une couche de sous-base en gravier ou en pierre concassée. Les routes à revêtement souple sont les plus courantes et sont utilisées pour les routes à faible trafic et les rues résidentielles. Elles sont

relativement faciles à construire et à entretenir, mais ont une durée de vie plus courte que les autres types de routes.

- ❖ **Chaussées ou structures bitumineuses** : Dans ces types de structures, les couches de surface et de base sont en matériaux bitumineux. La couche de fondation éventuelle peut être en matériaux bitumineux ou en GNT.
- ❖ **Chaussées semi – rigides** : sont constituées d'une couche de surface en béton bitumineux, d'une couche de base en béton maigre et d'une couche de sous-base en gravier ou en pierre concassée. Les routes semi-rigides sont souvent utilisées pour les routes de liaison entre les autoroutes et les routes locales. Elles offrent une combinaison de la durabilité des routes à revêtement rigide et de la facilité de construction des routes à revêtement souple.
- ❖ **Structures rigides** : elles sont constituées d'une dalle en béton armé qui sert à la fois de surface, de base et de sous-base. Les routes à revêtement rigide sont utilisées pour les routes à fort trafic et les autoroutes. Elles sont plus coûteuses à construire, mais ont une durée de vie plus longue et nécessitent moins d'entretien que les routes à revêtement souple.
- ❖ **Structures mixtes** : dans ces types de structures, 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 matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH)
- ❖ **Structures inverses** : dans ces types de structures, 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 [4].

I.2.4 Matériaux pour les constructions routières

Les constructions routières sont essentielles pour le transport de personnes et de marchandises. Les matériaux utilisés pour ces constructions doivent être solides, durables et résistants aux conditions météorologiques extrêmes. Ils sont généralement classés en trois catégories principales : les matériaux de base et les matériaux de surface et les liants routier. Les matériaux de base sont utilisés pour construire la fondation de la route, les matériaux de surface sont utilisés pour créer

une surface lisse et durable pour les véhicules et les liants routiers sont utilisés pour lier les granulats.

I.2.4.1 Les matériaux de base

Les matériaux de base pour la construction routière sont essentiels pour créer une fondation solide et stable pour la route. Les matériaux couramment utilisés comprennent le gravier, le sable et la pierre concassée. Ces agrégats sont souvent mélangés avec du ciment ou d'autres liants pour créer une base solide. Les géotextiles sont également utilisés pour renforcer la base de la route et empêcher l'érosion. Les géotextiles sont des tissus synthétiques conçus pour résister aux contraintes et aux conditions environnementales extrêmes. Les matériaux de base peuvent également inclure des matériaux recyclés tels que des débris de béton ou d'asphalte, qui peuvent être broyés et réutilisés pour créer une base solide et durable. En général, les matériaux de base doivent être suffisamment résistants pour supporter le poids des véhicules et résister aux forces de compression et de cisaillement. Les propriétés des matériaux de base doivent être soigneusement évaluées pour garantir la durabilité et la sécurité des routes [5].

A) Les sables naturels

Les sables sont des sols dont la dimension maximale exprimée en passoire est inférieure ou égale à 6.3mm, ayant un pourcentage des fines (passant au tamis de 80µm) inférieur à 35 %. Les sables sont utilisés en couche de fondation pour des trafics T1, T2 et exceptionnellement pour un trafic T3 ; une valeur minimale de CBR égale 30 est généralement requise ; avec une possibilité d'amélioration par :

- ❖ Adjonction d'un concassé.
- ❖ Adjonction d'un liant hydraulique.
- ❖ Adjonction d'un liant hydrocarboné [4].

B) Le gravier

Le gravier est un matériau de construction couramment utilisé dans la construction routière. Il est souvent utilisé en combinaison avec du sable pour créer une base solide et stable pour les pavés ou pour la couche d'asphalte. Le gravier est un matériau naturel qui est extrait de carrières et de

rivières. Il est disponible dans différentes tailles et formes, ce qui permet de l'utiliser pour différents types de projets de construction routière. Le gravier doit être propre et bien tamisé pour garantir une bonne compaction et une surface uniforme. Il est important de choisir le bon type de gravier en fonction des conditions environnementales et du trafic prévu pour assurer la durabilité et la sécurité de la route. En général, le gravier est un matériau durable et résistant qui peut être utilisé pour construire des routes solides et durables [5].

C) La pierre concassée ou Graves Non Traités (GNT)

La pierre concassée est un autre matériau couramment utilisé dans la construction routière. Elle est fabriquée en cassant de grosses roches en petits morceaux à l'aide d'un broyeur. La pierre concassée est souvent utilisée comme base pour les routes en béton ou en asphalte, car elle offre une excellente stabilité et une bonne résistance à l'érosion. Elle est également utilisée pour remplir les fossés le long des routes pour éviter l'accumulation d'eau et pour créer des fondations solides pour les ponts et les murs de soutènement. Comme pour le gravier, il est important de choisir le bon type de pierre concassée en fonction des conditions environnementales et du trafic prévu pour assurer la durabilité et la sécurité de la route. La pierre concassée doit également être propre et bien tamisée pour garantir une bonne compaction et une surface uniforme. En général, la pierre concassée est un matériau solide et résistant qui peut être utilisé pour construire des routes durables et fiables [5].

I.2.4.2 Les matériaux de surface

Les matériaux de surface pour la construction routière sont utilisés pour créer la couche supérieure de la route, qui est en contact direct avec les pneus des véhicules. Les matériaux de surface doivent être suffisamment résistants pour supporter le trafic et résister à l'usure due aux conditions environnementales. Les matériaux couramment utilisés pour la construction de routes comprennent l'asphalte et le béton. L'asphalte est un mélange de bitume, de granulats et de sable, qui est appliqué chaud sur la base de la route pour former une couche lisse et durable. Et Le béton est également utilisé pour la construction de routes, en particulier pour les routes à fort trafic. Le béton est un mélange de ciment, de sable, d'eau et d'agréats, qui est coulé sur la base de la route et nivelé pour former une surface solide et plane. Les matériaux de surface peuvent également

inclure des revêtements spéciaux tels que des pavés, des dalles ou des tuiles, qui sont utilisés pour des applications spécifiques telles que les zones piétonnes ou les zones résidentielles. En général, les matériaux de surface doivent être choisis en fonction des conditions environnementales et du trafic prévu pour garantir la durabilité et la sécurité de la route [5].

I.2.4.3 Les liants routiers

Les liants routiers sont des matériaux qui sont utilisés pour lier les granulats ensemble afin de former une surface de route solide et durable. Il existe différents types de liants routiers tels que le bitume, le ciment, les émulsions et les polymères. Les liants routiers sont subdivisés en deux grandes catégories qui sont : les liants hydrocarbonés et les liants hydrauliques.

a) Les liants hydrocarbonés :

Les liants hydrocarbonés sont des matériaux de construction à base de pétrole, tels que l'asphalte et le bitume, qui sont utilisés pour lier des granulats dans les travaux de génie civil. Ils sont largement utilisés pour la construction de routes, de pistes d'aéroport et de parkings. Les liants hydrocarbonés sont moins coûteux que les liants hydrauliques, mais ils ont une durée de vie plus courte et sont moins résistants aux intempéries. Ils peuvent également être plus sensibles aux variations de température et nécessitent une maintenance régulière pour maintenir leur performance [6].

b) Les liants hydrauliques :

Les liants hydrauliques sont des matériaux de construction à base de ciment, tels que le ciment Portland et le ciment alumineux, qui durcissent au contact de l'eau. Ils sont utilisés pour lier des granulats dans les travaux de génie civil, notamment pour la construction de routes, de ponts et de bâtiments. Les liants hydrauliques ont une durée de vie plus longue que les liants hydrocarbonés et sont plus résistants aux intempéries. Ils sont également moins sensibles aux variations de température et nécessitent moins de maintenance [6]. Les liants hydrauliques sont composés généralement de fines (de couleur blanche ou grise selon les produits) dont les propriétés chimiques permettent une prise en présence d'eau. Parmi ces liants nous citons :

- ❖ **Les ciments** : mélanges d'argile et de calcaire chauffés à haute température, qui après cuisson sont réduits en poudre

- ❖ **Les laitiers** : obtenus lors de la fabrication de la fonte dans les hauts fourneaux
- ❖ **Les cendres volantes** : recueillis dans les fumées des centrales thermiques fabriquant de l'électricité partir de la combustion du charbon
- ❖ **Les pouzzolanes** : sont des cendres volcaniques naturelles obtenues après broyage
- ❖ **Les chaux grasses** : obtenues par cuisson de calcaire pur

I.3 Cas particuliers des routes en pave

Une **route en pavée** : est un type de route dont la couche de revêtement est constituée de **pavés** disposés côte à côte. Contrairement aux routes en asphalte ou en béton et les **routes en pavé basaltique** sont des chaussées construites en utilisant des pavés fabriqués à partir de basalte, une roche volcanique dure et résistante. Ces routes sont souvent considérées comme historiques et sont appréciées pour leur esthétique, leur durabilité et leur capacité à résister aux conditions climatiques difficiles. Dans cette partie du travail nous allons présenter : l'origine des pavés, Les éléments constitutifs d'une chaussée en pavés, Quelques caractéristiques des routes en pavé basaltique, Quelques matériaux utilisés dans la construction des routes en pavé basaltiques.

I.3.1 Origines des pavés

Les pavés ont une longue histoire remontant à l'époque romaine où ils étaient utilisés pour la construction de routes et de voies publiques. À cette époque, les pavés étaient fabriqués en pierre naturelle, tels que le granit ou le calcaire. Au fil du temps, les pavés ont évolué pour devenir des éléments clés de l'aménagement paysager urbain, notamment dans les villes européennes où ils sont souvent utilisés pour créer des rues piétonnes et des places publiques. Les pavés basaltiques sont une évolution plus récente des pavés en pierre naturelle. Ils sont devenus populaires dans les années 1960 et 1970, lorsque les architectes et les urbanistes ont commencé à chercher des alternatives plus durables et résistantes à l'usure pour les projets de construction. Aujourd'hui, les pavés basaltiques sont largement utilisés dans les projets de construction à travers le monde en raison de leurs propriétés uniques et de leur esthétique attrayante.

I.3.2 Les éléments constitutifs d'une chaussée en pavés

I.3.2.1 Les pavés (paves basaltiques)

Les pavés avec leurs liaisons en sable constituent la couche de revêtement pour ce type de chaussée. Ils reçoivent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat. Ils sont caractérisés par leurs hauteurs (épaisseur), leurs sections et formes, et leurs résistances en compressions.

- ❖ **La hauteur des pavés :** La hauteur des pavés joue un rôle important dans le transfert de charge et donc dans le développement de l'orniérage (déformation permanente du profil en travers sur d'assez grande longueur) qui a pour cause une humidité importante dans les couches inférieures de la chaussée provoquant ainsi le poinçonnement du sol lors du passage des roues des véhicules. Des études expérimentales de Ishioroshi et coll. (1996) ont montré que plus la hauteur des pavés est faible et plus l'orniérage de revêtement augmente. Ce phénomène est d'autant plus marqué avec les pavés de 60mm de hauteur.
- ❖ **Sections et formes des pavés :** Il s'agit ici de la surface en contact entre les pavés et le lit de pose. Vu le nombre de joints est moins important pour des grandes surfaces, les pavés sont moins susceptibles de subir des rotations ou translations. Le fait que les pavés sont autobloquants ou qu'ils ont une forme complexe, ainsi une grande surface de contact, implique une diminution de déflexion.

I.3.2.2 Les joints de pavés

Les joints ont un rôle prépondérant dans la bonne tenue des revêtements de pavés car ils permettent le transfert des charges d'un pavé à l'autre. Ces joints seront exécutés en sable. Concernant leur granulométrie, pour obtenir une bonne performance de la chaussée un joint large nécessite un sable grossier alors qu'un joint fin nécessite un sable fin. La taille optimale des joints à utiliser dépend de la qualité du sable à utiliser. La diminution de la taille des joints permet un meilleur transfert et donc un meilleur comportement du revêtement. Globalement, la largeur des joints doit être comprise entre 0,5 et 4 cm. Sous l'effet des intempéries et du passage répété des roues qui créent des déplacements et rotations des pavés, le sable des joints se retrouve expulsé.

I.3.2.3 Les bordures

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, ce qui provoquerait une perte structurale au niveau du revêtement. L'absence des bordures augmente considérablement la valeur de la déflexion, du fait que les pavés ne sont pas retenus et peuvent tourner ou même bouger.

I.3.2.4 Le lit de pose

Le lit de pose joue un rôle important quant à la tenue de revêtement et au comportement de ce type de chaussée. L'épaisseur du lit de pose détermine le type de sollicitations auxquelles elle sera confrontée. Plus cette épaisseur est faible, plus les pavés risquent de subir du poinçonnement sous l'effet de charge alors qu'une épaisseur trop élevée risque d'engendrer un tassement différentiel.

De ce fait il faudra choisir un matériau adéquat (perméable et de bonne qualité) et une épaisseur convenable pour maintenir la structure dans des bonnes conditions.

I.3.2.5 Les assises

La distribution des 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 fondations granulaire est importante que dans le cas d'une fondation stabilisée pour un même chargement. De ce fait, dans le cas de trafics importants l'utilisation de fondations stabilisées est recommandée. Pour notre cas, nous optons pour une assise non stabilisée du fait de la présence du faible trafic du type T2 [1].

I.3.3 Quelques caractéristiques des routes en pavé basaltique

On distingue plusieurs caractéristiques des routes en pavées basaltique, parmi lesquelles on peut citer : la résistance et durabilité, Esthétiquement attrayant, Résistance aux intempéries, Facilité d'entretien, Résistance au glissement, Écologiques, ...

I.3.3.1 Résistance et durabilité

Le basalte est une roche solide et résistante à l'usure, ce qui en fait un matériau idéal pour les routes. Les pavés basaltiques peuvent supporter des charges lourdes et résister à l'abrasion, prolongeant ainsi la durée de vie de la chaussée.

I.3.3.2 Esthétiquement attrayant

Les pavés basaltiques sont souvent appréciés pour leur apparence esthétique. Leur couleur foncée et leur texture naturelle ajoutent une touche visuelle unique à l'environnement routier, comme le montre la figure I.5



Figure I.3.3-I Les paves esthétiquement attrayant [2]

I.3.3.3 Résistance aux intempéries

Le basalte est résistant aux variations de température, au gel et au dégel, ce qui en fait un choix adapté aux climats tropicaux et aux régions sujettes à de fortes pluies ou à des conditions météorologiques extrêmes.

I.3.3.4 Facilité d'entretien

Les routes en pavé basaltique sont relativement faciles à entretenir. En cas de dommage ou d'usure, les pavés individuels peuvent être remplacés sans avoir à refaire toute la chaussée.

I.3.3.5 Résistance au glissement

La texture rugueuse des pavés basaltiques offre une bonne adhérence pour les véhicules, ce qui réduit le risque de dérapage, en particulier par temps pluvieux.

I.3.3.6 Écologiques

Les routes en pavé basaltique sont considérées comme une option écologique, car elles peuvent être fabriquées à partir de matériaux locaux et naturels. De plus, leur durabilité réduit le besoin de réparations fréquentes et contribue à une utilisation plus efficace des ressources.

I.3.4 Quelques matériaux utiliser dans la construction des routes en pave basaltiques

Parmi les matériaux utilise nous pouvons citer : Pavés basaltique, Le sable, Le gravier, La Pierre concassée ou Graves Non Traités (GNT)

I.3.4.1 Pavés basaltiques

Les pavés basaltiques constituent l'élément principal de la chaussée en pavé basaltique. Ils sont fabriqués à partir de blocs de basalte découpés en formes rectangulaires ou cubiques ; comme montre la figure I.6. Les pavés sont soigneusement taillés et ajustés pour former une surface régulière et solide. Le basalte étant une roche dure et résistante, les pavés basaltiques offrent la capacité de supporter les charges du trafic et de résister à l'usure.



Figure I.3.4-I Les Paves basaltique [2]

I.3.4.2 Le sable

Le sable est souvent utilisé comme matériau de base pour la construction de routes pavées. Il est mélangé avec du gravier pour créer une base solide et stable pour les pavés. Le sable est également utilisé pour remplir les joints entre les pavés, ce qui permet une bonne circulation de l'eau et empêche les pavés de se déplacer. Le sable doit être propre et bien tamisé pour garantir une bonne compaction et une surface uniforme ; voir figure I.7. Il est important de choisir le bon type de sable

en fonction des conditions environnementales et du trafic prévu pour assurer la durabilité et la sécurité de la route. Le sable est également placé entre la couche de fondation et les pavés basaltiques. Elle a pour rôle de nivellement et de stabilisation des pavés. Le sable utilisé doit être bien compacté pour assurer une surface de pose uniforme et stable [5].



Figure I.3.4-II Le sable [2]

I.3.4.3 I.2 .4.3. Le gravier

Le gravier joue un rôle important dans la construction routière en tant que matériau de base ou de revêtement. Il est largement utilisé dans la construction de routes, d'autoroutes et de chemins en raison de ses propriétés physiques et de sa disponibilité. Le gravier est un mélange de petites particules de roche, généralement de taille comprise entre 2 et 64 millimètres comme le montre la figure I.8. Il peut être composé de divers types de roches, tels que le calcaire, le granit, le basalte ou le grès. Ces roches sont concassées en fragments de différentes tailles pour produire du gravier. Dans la construction routière, le gravier est utilisé pour former la couche de base de la chaussée. La couche de gravier, également appelée couche de fondation, est posée sous la couche de revêtement pour fournir une base solide et stable. Elle distribue les charges des véhicules sur une plus grande surface, réduit le risque de déformation et améliore la résistance de la route. L'avantage du gravier dans la construction routière réside dans sa disponibilité abondante, son coût relativement faible et sa facilité d'installation [5].



Figure I.I.3.4-III les graviers [2]

I.3.4.4 I.2 .4.4. La pierre concassée ou Graves Non Traités (GNT) :

La pierre concassée est un autre matériau couramment utilisé dans la construction routière. Elle est fabriquée en cassant de grosses roches en petits morceaux à l'aide d'un broyeur. La pierre concassée est souvent utilisée comme base pour les routes en béton ou en asphalte, car elle offre une excellente stabilité et une bonne résistance à l'érosion. Elle est également utilisée pour remplir les fossés le long des routes pour éviter l'accumulation d'eau et pour créer des fondations solides pour les ponts et les murs de soutènement. Comme pour le gravier, il est important de choisir le bon type de pierre concassée en fonction des conditions environnementales et du trafic prévu pour assurer la durabilité et la sécurité de la route. La pierre concassée doit également être propre et bien tamisée pour garantir une bonne compaction et une surface uniforme ; voir la figure I.9. En général, la pierre concassée est un matériau solide et résistant qui peut être utilisé pour construire des routes durables et fiables [5].



Figure I.I.3.4-IV les graves non traites [2]

Chapitre II METHODOLOGIE DU TRAVAIL

La méthodologie de notre travail fait objet des points qui suivent : l'Evaluation du trafic, les levées topographiques et conception géométrique de la route (Tracé plan, Profil en long et Profil en travers), les Cubatures des terrassements, Dimensionnement des chaussées, dimensionnement des ouvrages de drainage et l'évaluation du coût (devis estimatif)

II.1 Evaluation du trafic

Le trafic exprime pour une voie de circulation le nombre de passages de véhicules dans une période déterminée et pour une voie de circulation. L'étude de trafic est une partie essentielle de toute étude routière. Du volume de trafic dépendent, en effet, les caractéristiques essentielles des liaisons, telles que la géométrie, la largeur, le gabarit, les charges de ponts et structures de chaussées. Mais l'étude de trafic est surtout importante pour le calcul du coût global, de fonctionnement des véhicules, qui détermine de manière essentielle la rentabilité d'un projet. Ici nous allons traiter les points suivants : La durée de service ; Charges à l'essieu ; Calcul de trafic cumulé ; Détermination de la classe du trafic.

II.1.1 La durée de service

On définit la durée de service, comme la durée pour laquelle l'ouvrage réalisé n'entraînera aucun entretien structurel [1].

II.1.2 Charges à l'essieu

Par pays, la charge à l'essieu autorisée varie de 8t à 13t, de même manière, le PTC varie de 35t à 45t en fonction du type de Poids Lourds, Comme la charge à l'essieu est une des données de base de tous les dimensionnements de chaussées, l'effet d'une surcharge se sent immédiatement et met en danger la pérennité d'une structure. En effet, le dommage occasionné par une charge roulante unique est évalué par la notion d'agressivité. La chaussée est toujours dimensionnée de telle sorte qu'elle peut supporter un nombre de passage successif de surcharges [1].

II.1.3 Calcul de trafic cumulé

Pour calculer le trafic cumulé, il faut d'abord décider du nombre d'années de service pour cette route. Mais il faut surtout disposer du taux de croissance du trafic, c'est-à-dire de la variation du volume total de trafic d'une année sur l'autre. Comme ce taux est susceptible de varier d'une année sur l'autre (souvent lié au PNB), le mieux est de disposer de deux études de trafic faites dans un intervalle d'au moins 5 ans. On utilise alors le taux moyen de croissance. Le taux de croissance peut aussi différer fortement entre les catégories de véhicules, qu'il faudra alors distinguer au moment des comptages. Deux approches sont possibles pour le taux de croissance : la croissance géométrique et La croissance linéaire [1].

Pour ce qui concerne notre travail ; le trafic croît d'une manière géométrique, ou le trafic augmente tous les ans d'un pourcentage fixe par rapport à l'année précédente, on a alors :

$$T_N = T_o * (1 + r)^n \quad (2.1)$$

$$S_N = T_N * \frac{((1 + r)^n - 1)}{(1 + r) - 1} * 365 \quad (2.2)$$

$$NE = S_N * CAM \quad (2.3)$$

Avec :

- ❖ T_o : trafic moyen journalier à l'année de comptage ;
- ❖ n : le nombre d'années de mise en service postulé ;
- ❖ T_N : trafic à l'année n ;
- ❖ S_N le cumul pour les n années ;
- ❖ r : le taux de croissance annuel moyen pendant la période de service ;
- ❖ NE ; le trafic cumulé d'essieux équivalent à 13 tonnes correspondant pour une durée de vie
- ❖ CAM : le coefficient d'agressivité moyenne des poids lourds il permet de convertir le trafic T en nombre d'essieux standard de 13t ;

II.1.4 Détermination de la classe du trafic

Le guide de dimensionnement du CEBTP propose une classification du trafic. Cette classification se base sur plusieurs critères selon les données dont on dispose. Il s'agit : du trafic cumulé poids lourds ; du trafic cumulé par la méthode des équivalences des essieux ; du trafic journalier toute catégorie de véhicules confondues. Pour notre cas nous nous basons sur le premier facteur qu'est le trafic cumulé poids lourds. Pour ce faire, cette classification a été proposée par CEBTP dans le tableau II.1 ci-après :

Tableau II-1 Tableau illustrant la classe du trafic en fonction de PL/Jour/sens [7]

Classe de trafic	Trafic équivaut en véh/j
T1	$T \leq 5 \times 10^5$
T2	$5 \times 10^5 \leq T \leq 1,5 \times 10^6$
T3	$1,5 \times 10^6 \leq T \leq 4 \times 10^6$
T4	$4 \times 10^6 \leq T \leq 1 \times 10^7$
T5	$1 \times 10^7 \leq T \leq 2 \times 10^7$

On dira que le trafic est un élément fondamental de toute étude, et intervient largement dans la justification des projets dans le modèle HDM. Il est donc indispensable de connaître son volume et sa composition. Certains aménagements avec faible trafic doivent pouvoir se justifier autrement, et le coût pour la collectivité de l'absence d'une route est souvent élevé, même si le trafic potentiel serait faible.

II.2 Levées topographiques et conception géométrique de la route

Lors de l'élaboration de tout projet routier l'ingénieur doit commencer par la recherche du couloir de la route dans le site concerné. Pour ce faire il procède par des levés topographiques ; en suite vient le tracé en plan puis le profil en long et le profil en travers.

II.2.1 Levées topographiques

Pour faire les levées topographiques (nivèlement) ; il existe plusieurs méthodes différentes ; parmi ces méthodes nous pouvons citer : la méthode par cheminement aller et retour, méthode de la double station, méthode de retournement de la lunette, méthode de nivellement indirecte ou

trigonométrique, méthode de nivellement barométrique,... Dans ce présent travail nous allons utiliser la méthode de nivellement barométrique car elle est une méthode d'évaluation rapide et admet moins d'erreurs lors de la reconnaissance topographique. Cette méthode va nous permettre d'obtenir certaines données topographiques que nous allons importer dans le logiciel global mapper en fin d'avoir plus des données avec moins d'erreurs possible. Une fois les données topographiques obtenues, nous allons alors faire le tracé en plan, les profils en long et en travers et aussi calculer les cubatures et le terrassement.

II.2.2 Tracé plan

Le tracé en plan est une succession de droites reliées par des liaisons. Il représente la projection de l'axe routier sur un plan horizontal qui peut être une carte topographique ou un relief schématisé par des courbes de niveau. Les caractéristiques des éléments constituant le tracé en plan doivent assurer les conditions de confort et de stabilité et qui sont données directement dans les codes routiers en fonction de la vitesse de base et le frottement de la surface assuré par la couche de roulement.

Pour faire le tracé en plan il faut : Choisir la vitesse de référence ; avoir les éléments de la trace en plan et faire la clothoïde.

II.2.2.1 Choisir la vitesse de référence

La vitesse de référence (V_b) c'est le paramètre qui permet de déterminer les caractéristiques géométriques minimales d'aménagement des points singuliers pour le confort et la sécurité des usagers. Le choix de cette vitesse de référence dépend : du type de route, de l'importance et genre de trafic, de la topographie et des Conditions économiques d'exécution et d'exploitation.

II.2.2.2 Les éléments du tracé en plan

Un tracé en plan moderne est constitué de trois éléments : des droites (alignements), des arcs de cercle et des courbes de raccordement (CR) de courbures progressives.

a. Alignements droits

Il existe une longueur minimale d'alignement L_{min} qui devra séparer deux courbes circulaires de même sens, cette longueur sera prise égale à la distance parcourue pendant 5 secondes à la

vitesse maximale permise par le plus grand rayon des deux arcs de cercles. Si cette longueur minimale ne peut pas être obtenue, les deux courbes circulaires sont raccordées par une courbe en C, Ove, S, ou à sommet. La longueur maximale L_{max} est prise égale à la distance parcourue pendant 60 secondes.

$$\left. \begin{array}{l} L_{min}=5 V \\ L_{max}=60 V \end{array} \right\} \text{ Avec } V \text{ en (m/s).}$$

b. Les arcs de cercle

Dans un virage de rayon R , un véhicule subit l'effet de la force centrifuge qui tend à provoquer une instabilité du système, afin de réduire l'effet de la force centrifuge on incline la chaussée transversalement vers l'intérieur du virage (éviter le phénomène de dérapage) d'une pente dite devers exprimée par sa tangente. Le devers « d » ne doit pas être trop grand (risque de glissement à faible vitesse par temps pluvieux ou verglas). Le devers « d » ne doit pas être trop faible pour assurer un bon écoulement des eaux.

❖ **Rayon horizontal minimal absolu** : C'est le rayon minimum pour lequel la stabilité du véhicule est assurée, il ne faut jamais descendre au-dessous de cette valeur, et il est défini comme étant le rayon de devers maximal.

$$RH_m = \frac{V_b^2}{(127 * (ft + d_{max}))} \quad (2.4)$$

❖ **Rayon minimal normal** : Le rayon minimal normal (RHN) doit permettre à des véhicules dépassant V_b de 20 (km/h) de rouler en sécurité.

$$RH_N = \frac{(V_b + 20)^2}{(127 * (ft + d_{max}))} \quad (2.5)$$

❖ **Rayon au dévers minimal** : C'est le rayon au dévers minimal, au-delà duquel les chaussées sont déversées vers l'intérieur du virage et tel que l'accélération centrifuge résiduelle à la vitesse V_b serait équivalente à celle subie par le véhicule circulant à la même vitesse en alignement droit.

$$RH_D = \frac{V_b^2}{(127 * 2 * d_{max})} \quad (2.6)$$

❖ **Rayon minimal non déversé** : Si le rayon est très grand, la route conserve son profil en toit et le devers est négatif pour l'un des sens de circulation, le rayon min qui permet cette disposition est le rayon min non déversé (RH_{nd}).

$$RH_{nd} = \frac{V_b^2}{(127 * d)} \quad (2.7)$$

c. Courbes de raccordement

Le fait que le tracé soit constitué d'alignement et d'arc ne suffit pas, il faut donc prévoir des raccordements à courbure progressif, qui permettent d'éviter la variation brusque de la courbe lors du passage d'un alignement à un cercle ou entre deux courbes circulaires et ça pour assurer : La stabilité transversale du véhicule, le Confort des passagers du véhicule, la transition de la forme de la chaussée, un tracé élégant, souple, fluide, optiquement et esthétiquement satisfaisant [8].

II.2.2.3 Clothoïde

La Clothoïde est une spirale, dont le rayon de courbure décroît d'une façon continue dès l'origine ou il infini jusqu'au point asymptotique ou il s'annule, la courbure de la clothoïde est linéaire par rapport à la longueur de l'arc. Parcourue à vitesse constante, la clothoïde maintient constante la variation de l'accélération transversale, ce qui est très avantageux pour le confort des usagers.

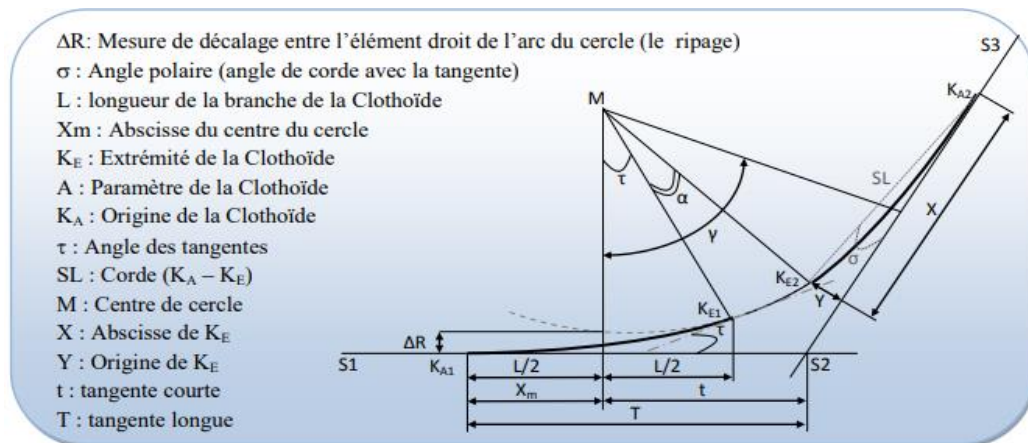


Figure II.2.2-I Elément de la Clothoïde [8]

Application au projet : Les calculs sont effectués automatiquement à l'aide du logiciel Autodesk Civil 3D 2021.

II.2.3 Profil en long

Le profil en long d'une route est une ligne continue obtenue par l'exécution d'une coupe longitudinale fictive, donc il exprime la variation de l'altitude de l'axe routier en fonction de l'abscisse curviligne. Le but principal du profil en long est d'assurer pour le conducteur une continuité dans l'espace de la route afin de lui permettre de prévoir l'évolution du tracé et une bonne perception des points singuliers. Le profil en long est toujours composé d'éléments de lignes droites raccordés par des paraboles.

II.2.3.1 Règles à respecter dans le tracé de la ligne rouge

Le tracé de la ligne rouge qui constitue la ligne projet retenue n'est pas arbitraire, mais elle doit répondre à certaines conditions concernant le confort, la visibilité, la sécurité et l'évacuation des eaux pluviales. Parmi ces conditions il y a lieu :

- ❖ D'adapter au terrain naturel pour minimiser les travaux de terrassement qui peuvent être coûteux.
- ❖ De rechercher l'équilibre adéquat entre le volume de remblais et de déblais.
- ❖ De ne pas dépasser une pente maximale préconisée par les règlements.
- ❖ D'éviter de maintenir une forte déclivité sur une grande distance.
- ❖ D'éviter les hauteurs excessives de remblais.
- ❖ Prévoir le raccordement avec les réseaux existants.
- ❖ Au changement de déclivité (butte ou creux) on raccordera les alignements droits par des courbes paraboliques.
- ❖ D'assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.

II.2.3.2 Eléments de composition du profil en long

Le profil en long est constitué d'une succession de segment de droites (rampes et pentes) raccordés par des courbes circulaires. Pour chaque point du profil en long on doit déterminer : L'altitude du terrain naturel ; l'altitude de la ligne du projet et la déclivité de la ligne du projet

II.2.3.3 Condition de confort

Lorsque le profil en long comporte une forte courbure de raccordement, les véhicules sont soumis à une accélération verticale insupportable, Le rayon de raccordement à retenir sera donc égal à :

$$V^2/R_v < g/40 \quad \text{Avec : } g=10(\text{m/s}^2) \text{ et } v= V/3.6$$

D'où

$$RV_{\min} \geq 0,30V^2 \quad (\text{cat 1-2}) ; RV_{\min} \geq 0,23V^2 \quad (\text{cat 3-4-5}).$$

Tel que : R_v le rayon vertical (m) et V la vitesse de référence (km/h)

II.2.3.4 Condition de visibilité

Elle intervient seulement dans les raccordements des points hauts comme condition supplémentaire à celle de la condition de confort. Il faut deux véhicules circule en sens opposés puissent s'apercevoir à une distance double de la distance d'arrêt minimum. Le rayon de raccordement est donné par la formule suivante [8] :

$$R_v = \frac{d^2}{2(h_0 + h_1 + 2x = \sqrt{h_0 * h_1})} \approx 0,27D^2 \quad (2.8)$$

D : distance d'arrêt (m) ; h_0 : hauteur de l'œil (m) h_1 : hauteur de l'obstacle (m)

Application au projet : Les calculs sont effectués automatiquement à l'aide du logiciel Autodesk Civil 3D 2021.

II.2.4 Profil en travers

Le profil en travers est une coupe transversale menée selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la route projetée. La création de ce profil en travers sera faite et générée par le logiciel civil 3d.

II.3 Cubatures des terrassements et mouvement de terre

Les cubatures de terrassement, c'est l'évolution des volumes de déblais que comporte le projet à fin d'obtenir une surface uniforme et parallèlement sous adjacente à la ligne projet : Les éléments qui permettent cette évolution sont : Les profils en long ; Les profils en travers ; Les

distances entre les profils. Les profils en long et les profils en travers doivent comporter un certain nombre de points suffisamment proches pour que les lignes qui joignent ces points soit différents le moins possible de la ligne du terrain qu'il représente. Cette partie va traiter deux points qui sont : la méthode de calculs des cubatures et le mouvement de terre

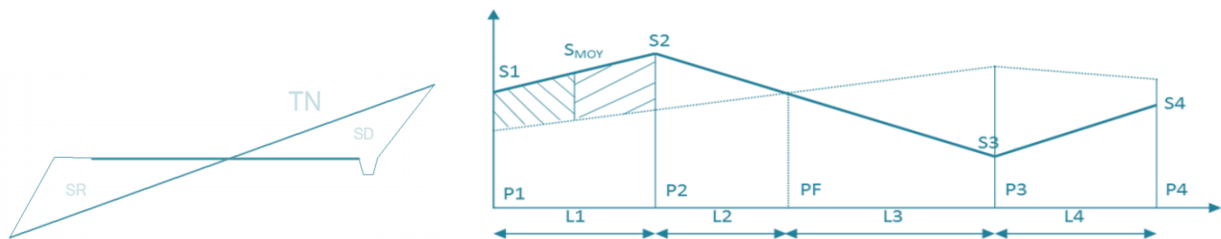
II.3.1 Méthodes de calculs des cubatures

Les cubatures sont Les calculs effectués pour avoir les volumes des terrassements existants dans notre projet. Les cubatures sont fastidieuses, mais pour des raisons économiques, un bon terrassement doit mettre en œuvre le minimum de matériaux possible, équilibrer les mouvements de terres (déblais-remblais) et minimiser la distance de transport. Pour mener à bien ce travail, il existe différentes méthodes à appliquer dont : la méthode exacte, la méthode de profil et la méthode de la moyenne des aires que nous allons utiliser.

Le principe de la méthode de la moyenne des aires est de calculer le volume compris entre deux profils successifs par la formule suivante :

$$V = \frac{h}{6} * (S_1 + S_2 + 4S) \quad (2.9)$$

Où : h : distance entre deux profils ; S1, S2 : les surfaces verticales des profils en travers P1 et P2 ; S : Surface limitée à mi-distances des profils.



Avec : TN : Terrain Naturelle ; SD : Surface Déblai ; SR : Surface Remblai ; PF : profil fictive, surface nulle ; Si : surface de profil en travers Pi ; Li : distance entre ces deux profils ; SMOY : surface intermédiaire
Pour éviter un calcul très long, on simplifie la formule (2.9) en cette expressions :

$$V_i = \frac{L_i}{2} * (S_i + S_{i+1}) \quad (2.10)$$

Application au projet : Les calculs sont effectués automatiquement à l'aide du logiciel Autodesk Civil 3D 2021

II.3.2 Le mouvement de terre

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

$$d = \frac{d_1v_1 + d_2v_2 + \dots + d_nv_n}{v_1 + v_2 + \dots + v_n} \quad (2.11)$$

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

Principe de la méthode de LALANNE

a) Hypothèses

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

b) Etablissement de l'épure : L'épure de LALANNE est une représentation graphique en plan (dimension 2) des cubes des terres

- ❖ Tracer une ligne horizontale initiale (LT) ;
- ❖ Sur cette ligne, porter à l'échelle choisie l'emplacement des différents profils en travers
- ❖ Au droit de chaque profil les volumes sont représentés par des lignes verticales à une échelle proportionnelle au volume de chaque profil ;
- ❖ Porter les déblais positivement et les remblais négativement. Autrement dit on porte en ordonnée à chaque profil, la somme algébrique des déblais depuis l'origine jusqu'au profil considéré [8].

Application au projet : Les calculs sont effectués automatiquement à l'aide du logiciel Autodesk Civil 3D 2021

II.4 Dimensionnement des chaussées

La conception des chaussées en matière d'exigences structurelles à deux conditions :

- ❖ Le corps de chaussée doit assurer une répartition des contraintes telle que le sol de plate-forme ne puisse poinçonner ;
- ❖ Les matériaux constitutifs des différentes couches de la chaussée doivent avoir des épaisseurs et des caractéristiques de résistance suffisantes pour supporter les contraintes répétées de cisaillement, de compression et de traction engendrées par le trafic.

Le dimensionnement de la chaussée consiste à :

- ❖ Déterminer les épaisseurs des différentes couches ;
- ❖ Déterminer les matériaux adaptés ayant des caractéristiques souhaitées.

Ceci dans le but :

- ❖ D'éviter le poinçonnement de la plate-forme.
- ❖ D'éviter les contraintes de traction, de compression et de cisaillement dus au trafic.

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement de chaussée classées en deux méthodes qui sont : Les méthodes empiristes et Les méthodes mécanistiques. Nous allons dimensionner notre chaussée par la méthode empiriste en utilisant : La méthode C.B.R et le guide de dimensionnement CEBTP pour les pays tropicaux.

II.4.1 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 [8].

Ainsi on distingue deux sortes de méthode CBR de dimensionnement des chaussées qui sont :

- ❖ La méthode CBR et
- ❖ La méthode CBR Améliorée

II.4.1.1 Méthode CBR

Avec cette méthode l'épaisseur e est donnée par la formule (2.12) :

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{P}}{I_{CBR} + 5} \quad (2.12)$$

Avec : e : épaisseur de chaque couche avec son indice CBR ; P : charge par roue $P = 6,5t$ (essieu 13 tonnes) ; I_{CBR} : indice CBR en pourcentage

II.4.1.2 Méthode CBR Améliorée

Avec la méthode CBR Améliorée, on tient en compte l'influence du trafic (voie de circulation) et on trouve la formule (2.13) :

$$e = \frac{100 + \sqrt{P}[75 + (50 \times \log \frac{N}{10})]}{I_{CBR} + 5} \quad (2.13)$$

e : épaisseur du corps de chaussée

N : nombre moyen de poids lourds à l'année horizon

P : charge par roue $P = 6,5t$ (essieu 13 tonnes)

I_{CBR} : indice CBR en pourcentage

❖ Notion de l'épaisseur équivalent

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.

L'épaisseur équivalente de la chaussée est égale à la somme des épaisseurs équivalentes des couches :

$$E_{eq} = \sum_{i=1}^n e_i \cdot a_i \quad (2.14)$$

$$\text{ou } E_{eq} = (a_1 \times e_1) + (a_2 \times e_2) + (a_3 \times e_3) \quad (2.15)$$

avec : (a_1, e_1) : Couche de roulement ; (a_2, e_2) : Couche de base ; (a_3, e_3) : Couche de fondation

Où : a_1, a_2, a_3 : coefficient d'équivalence et e_1, e_2, e_3 : épaisseurs des couches

Les valeurs usuelles du coefficient d'équivalence suivant le matériau utilisé sont données dans le Tableau II-2.

Tableau II-2 Valeurs usuelles du coefficient d'équivalence (CBR) [9]

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense	2.00
Grave ciment – grave laitier	1.50
Grave concasse ou gravier	1.00
Grave roulée – grave sableuse T.V. O	0.75
Sable	0.50
Grave bitume	1.60 à 1.70
Tuf	0.60

II.4.2 La méthode du CEBTP

Cette méthode est largement utilisée en France et dans des pays tropicaux comme la RDC, le Maroc, la côte d'ivoire, Cameroun, Brésil, ... Elle est développée par le CEBTP, qui est un centre expérimental de recherche et d'études du bâtiment et des travaux publics. La méthode CEBTP prend en compte différents facteurs tels que :

- ❖ Le trafic,
- ❖ La géométrie de la route,
- ❖ Les caractéristiques du sol

Pour calculer les charges de circulation attendues sur la route. Elle utilise ensuite ces charges pour déterminer les épaisseurs de la chaussée nécessaires pour supporter ces charges à l'aide des

tableaux près établis. Il faut tout d'abord collecter des données sur le trafic, la géométrie de la route, les caractéristiques du sol. 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, de la couche de base et du revêtement.
- ❖ L'intensité du trafic et la nature des matériaux des différentes couches afin de vérifier les spécifications pour leurs possibilités d'utilisation.

Elle décrit cinq classes de trafic exprimées en nombres cumulés de passages 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. Tout cela dans des tableaux bien connue [7].

II.5 Dimensionnement des ouvrages de drainage

II.5.1 Définitions de base

- ❖ **Caniveau** : Petit ouvrage (en béton, maçonné ou préfabriqué) servant à collecter et évacuer les eaux pluviales le long des routes ou des aires pavées.
- ❖ **Fossé** : Ouvrage plus grand, souvent creusé en terre, utilisé dans des zones rurales ou peu urbanisées pour collecter, transporter ou infiltrer les eaux pluviales.

II.5.2 Étapes du Dimensionnement

II.5.2.1 Choix du type de canalisation / géométrie

- ❖ **Caniveaux** : Généralement en U ou en V, utilisés pour des petits débits. La pente minimale recommandée est de 0,5%.
- ❖ **Fossés** : Souvent de forme trapézoïdale ou rectangulaire, leur dimensionnement se fait par la formule de Manning :

II.5.2.2 Estimation du débit de ruissellement

On utilise la formule rationnelle : alors le débit du projet qui est le débit réel sur ce bassin versant sera :

$$Q = 0,000278 * C * I * A * k \quad (2.16)$$

Avec : Q : Débit de pointe (m³/s)

C : Coefficient de ruissellement (fonction du type de surface, typiquement entre 0,3 et 0,9)

I : Intensité de pluie (mm/h), à convertir en m³

A : Aire du bassin versant (en m²)

0,00278 : est un facteur qui transforme le mm/h en m³

K : coefficient de dispersion.

La surface A est déterminée en considérant une bande de largeur 50 mètres y inclus celle de la route, c.à.d. 25 mètres de part et d'autre de l'axe de la route.

$$A = (50 * l_t / 10000) \quad (2.17)$$

Avec l_t : la longueur totale de la route

Le coefficient de dispersion K est déterminé à l'aide de la formule :

$$K = 1 - 0,006 \sqrt{l_t / 2} \quad (2.18)$$

II.5.2.3 Éléments Géométriques du Caniveau en V

- ❖ Pente longitudinale (S) : pente du fond du caniveau, en direction de l'écoulement. Recommandée $\geq 0,5 \%$.
- ❖ Pente des parois (z) : rapport horizontal/vertical des flancs (ex : z = 1 correspond à 1H : 1V).
- ❖ Profondeur (h) : hauteur verticale maximale de la section.
- ❖ Largeur en surface (b) : $b = 2 \times z \times h$.

II.5.2.4 Calcul de la Section Hydraulique

La section mouillée (A) est triangulaire :

$$A = z \times h^2$$

Le périmètre mouillé (P) :

$$P = 2 \times h \times \sqrt{1 + z^2}$$

Le rayon hydraulique (R) :

$$R = A / P$$

on utilise la formule de Manning pour vérifier les différents éléments :

$$Q = (1/n) * A * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (2.19)$$

Où : A = aire de la section mouillée,

R = rayon hydraulique = A/P,

S = pente,

n = coefficient de rugosité (ex : 0,015 pour béton, 0,03 pour terre).

II.5.2.5 Vérification de la vitesse et capacité

La vitesse d'écoulement est donnée par :

$$V = Q / A \quad (2.18)$$

Elle doit respecter :

- ❖ Vitesse minimale : > 0,3 m/s (pour éviter les dépôts)
- ❖ Vitesse maximale : < 3 m/s (pour éviter l'érosion)
- ❖ Il faut vérifier que la section choisie peut évacuer le débit Q calculé

II.6 Evaluation du coût (devis estimatif)

Il existe plusieurs méthodes pour établir un devis routier. Voici quelques-unes des plus courantes : méthode des quantités ; méthode des prix ; méthode des coûts directs et indirects ; méthode de la comparaison. Pour l'étude du coût de notre projet nous allons utiliser la méthode des quantités.

La méthode des quantités est une approche courante pour établir un devis routier en se basant sur les quantités de matériaux nécessaires pour réaliser les travaux. Voici comment cette méthode fonctionne en détail :

- ❖ **Estimation des quantités** : La première étape consiste à estimer avec précision les quantités de matériaux nécessaires pour chaque aspect du projet routier. Par exemple, il faut estimer le volume de terre à déplacer, le nombre de bordures à installer, etc. Cette estimation peut être basée sur des relevés topographiques, des plans d'ingénierie ou des connaissances antérieures.
- ❖ **Prix unitaires** : Une fois que les quantités ont été estimées, il faut déterminer les prix unitaires des différents matériaux et services nécessaires pour réaliser les travaux. Par exemple, le prix au mètre cube pour la fourniture de béton, le prix au mètre carré pour la pose de revêtement, le coût horaire de la main-d'œuvre, etc.
- ❖ **Calcul du coût total** : Une fois que les quantités et les prix unitaires ont été établis, il suffit de multiplier chaque quantité par son prix unitaire correspondant pour obtenir le coût total de chaque élément. Ensuite, il faut additionner tous les coûts partiels pour obtenir le coût total du projet routier.
- ❖ **Révisions et ajustements** : Il est important de réviser régulièrement les quantités estimées et les prix unitaires tout au long du projet, car ils peuvent varier en fonction des conditions du site, des changements de conception ou d'autres facteurs imprévus.

En utilisant la méthode des quantités de manière rigoureuse et précise, il est possible d'obtenir un devis routier fiable et réaliste qui servira de base pour la planification et l'exécution des travaux [10].

Chapitre III PRESENTATION DES RESULTATS

Cette partie du travail fera objet de la prestation des résultats à savoir : le trafic ; le tracé en plan ; le Profil en long du projet ; Profil en travers ; Dimensionnement des chaussées, dimensionnement des ouvrages de drainage et l'évaluation du cout (devis estimatif)

III.1 Trafic

III.1.1 Durée de service

Pour ceux qui concerne la durée de service ; nous postulons pour une durée de service de 20 ans.

III.1.2 Charges à l'essieu

Le trafic est le facteur le plus agressif pour la route ; ce pourquoi sa considération est impérative dans le dimensionnement. Les chaussées sont dimensionnées par rapport au trafic poids lourds (PL), car seuls les véhicules lourds, plus de 50 KN ou 5 tonnes de charge utile (CU), soit environ plus de 90KN ou 9 tonnes de poids total en charge autorisé (PTCA), ont un effet significatif sur la fatigue des chaussées. En effet Les véhicules légers ont un effet négligeable sur les chaussées, ils provoquent uniquement une usure de la couche de roulement et éventuellement une pollution de celle-ci. Ainsi donc, le seul trafic qui sera pris en compte est le trafic lourd : utilitaires et transport en commun (TC).

III.1.3 Calcul de trafic cumulé

Pour le calcul de trafic, nous formulons certaines hypothèses qui vont nous aider dans la suite :

- ❖ Essieu de référence de 13 tonnes (essieu simple) ;
- ❖ Durée de vie (n) de 20 ans ;
- ❖ Le trafic moyen journalier à l'année de comptage : $T_o = 47 \text{ pl}$
- ❖ Taux géométrique de croissance annuelle du trafic, $r = 6.0 \%$;
- ❖ Coefficient d'Agressivité Moyen CAM : 0.7

Le projet traduit une progression géométrique.

De la formule (2,1) on trouve $T_N = 150 \text{ PL/Jr/sens}$,

Le trafic cumulé pendant la durée de vie du projet est obtenu par la relation (2.2), qui donne après calcul : $S_N = 2,014\,011 * 10^6 \text{ PL}$;

Et le trafic cumulé d'essieux équivalent à 13 tonnes correspondant est trouver par la formule (2.3) :

$$NE = 1,409\,807 * 10^6 \text{ Essieu équivalent de 13 tonnes.}$$

III.1.4 Détermination de la classe du trafic

Avec notre trafic précédemment déterminé, nous retenons un trafic de type **T2** conformément aux prescriptions de guide pratique de dimensionnement des chaussées indique dans le **tableau III.1**. Le trafic cumulé d'essieux équivalent à 13 tonnes correspondant pour une durée de vie de 20 ans.

Tableau III-1 Classification du trafic en fonction de PL/Jour/sens

Classe de trafic	Trafic équivalent en véh/j
T1	$N \leq 5 \times 10^5$
T2	$5 \times 10^5 \leq N \leq 1,5 \times 10^6$
T3	$1,5 \times 10^6 \leq N \leq 4 \times 10^6$
T4	$4 \times 10^6 \leq N \leq 1 \times 10^7$
T5	$1 \times 10^7 \leq N \leq 2 \times 10^7$

III.2 Le tracé en plan

Le tracé en plan consiste à représenter l'axe de la route par une succession de lignes brisées appelées alignements généraux (segments de droites). Notre tracé en plan est généré par le logiciel CIVIL 3D. Le tracé en plan du projet avec les profils en travers y affectés est en annexe 4.

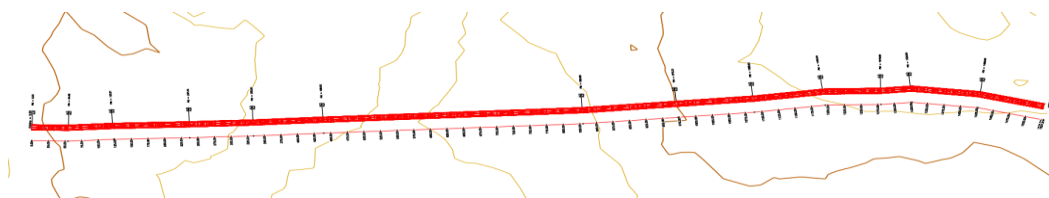


Figure III.1.4-I Tracé en plan

III.3 Le Profil en long du projet

On distingue deux types de profil en long et ces deux profils sont généralement présentés sur un même profil tel est notre cas : le profil en long du terrain naturel en vert et le profil en long du projet en rouge. (Plus des détails annexe 2), le profil en long est généré par le logiciel CIVIL 3D.

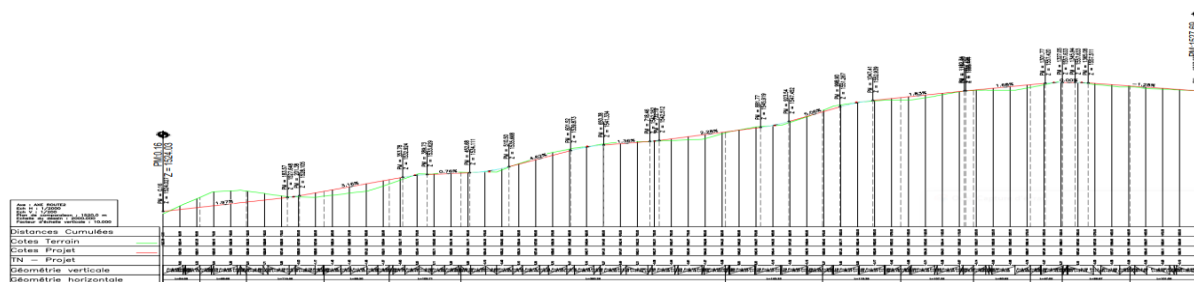


Figure III.1.4-I Profil en long

III.4 Profil en travers

Le profil en travers de la route est représenté par le tracé de la 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. Il existe deux types de profils en travers : le profil en travers type et le profil en travers courant, ici nous allons présenter le profil en travers types et les autres profils courants seront présenté en annexe 3.

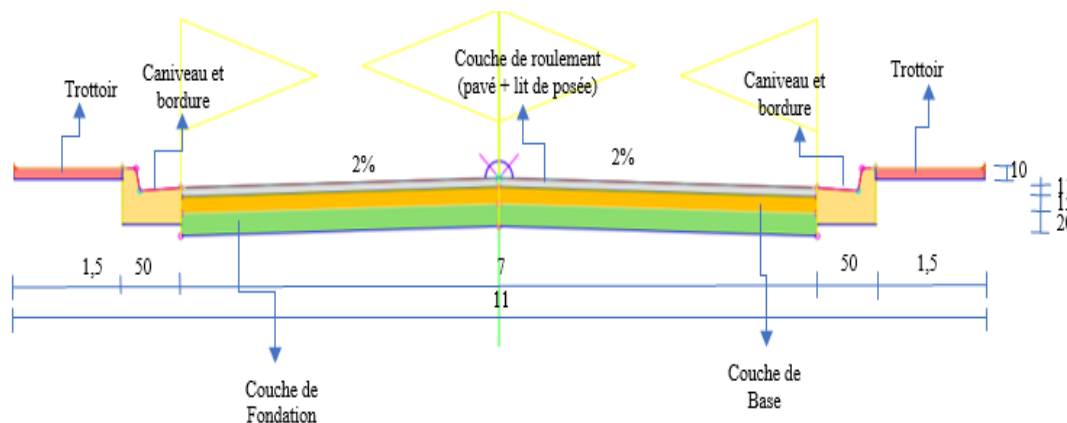


Figure III.1.4-I Profil en travers type

III.5 Dimensionnement des chaussées

Un dimensionnement adéquat de la chaussée revêtue de pavés basaltiques est un facteur important pour la bonne tenue de la chaussée sous l'effet du climat et du trafic. Dans un premier temps, notons que le comportement d'une chaussée revêtue en pavé basaltique s'apparente à celui des chaussées souples et rigides, ce qui implique que les méthodes de dimensionnement recensées s'appuient sur celles traditionnellement utilisées. Nous allons nous référer aussi à la méthode CBR et aux méthodes de CEBTP. Dans cette section nous allons présenter : la plate-forme, proposition de la structure selon la méthode CEBTP, le dimensionnement selon la méthode CBR, Les Cubatures des terrassements

III.5.1 Plate-forme

Les essais CBR effectué au laboratoire de l'office de routes/Goma présenté en annexe 1 révèlent que le CBR sur l'air du projet est de 16 % après quatre jours d'imbibition. Ceci nous a permis de situer la plate-forme du projet dans la classe de S4 sur le guide CEBTP Voir le tableau III.2. Nous allons dimensionner notre tronçon par la méthode empiriste en utilisant le guide de dimensionnement CEBTP pour les pays tropicaux. Notre plate-forme aura une largeur totale de 11m (trottoir 3 m avec 1,5 pour chaque trottoir ; bordure et caniveaux 1m avec 0,3 pour chaque bordure et caniveaux ; chosée 7 m)

Tableau III-2 Classe de plate-forme guide CEBTP [7]

CBR de la plate-forme	Classe de sol
CBR<5	S1
10<CBR<15	S2
15<CBR<30	S3
5<CBR<10	S4
30<CBR	S5

III.5.2 Proposition de la structure selon la méthode CEBTP

Les catalogues du CEBTP mettent à la disposition de l'ingénieur routier, une liste des structures que celui-ci peut choisir en fonction du trafic et du CBR de la plate-forme.

III.5.2.1 Couche de roulement

Il est important de signaler que les chaussées revêtues de pavés ont un comportement qui s'apparente à celui des chaussées souples. Ainsi les méthodes de dimensionnement présentées au chapitre II de ce travail, dérivent généralement des méthodes utilisées pour les chaussées souples. D'une manière générale, ces méthodes sont utilisées en convertissant les couches de pavés et de lit de pose en une couche unique d'un matériau connu par un facteur d'équivalence. De ce fait, la couche unique est caractérisée par un module combiné du système "pavés + lit de pose" et il est alors possible d'avoir recours aux méthodes de dimensionnement usuelles utilisées pour les chaussées souples.

❖ Epaisseur et section du pavé

Les pavés doivent être choisis de façon convenable à ne pas dépasser la section et l'épaisseur recommandées sans être en dessous de la réglementation. Nous optons pour un pavé d'épaisseur 80 mm ; comme illustre le tableau III.3 de détermination de l'épaisseur du pavé en fonction du trafic ci-dessous. Et la section sera de 200x100 mm²

Tableau III-3 Choix de l'épaisseur du pavé en fonction du trafic [1]

classe de trafic	utilisation des pavés	épaisseur minimale des pavés(mm)
T1	COURANTE	60
T2		80
T3		80
T4	nécessite une étude détaillée	100
T5		100

❖ Epaisseur du lit de pose

Une étude réalisée par Panda et Ghosh (2002) sur des hauteurs de lit de pose entre 20 et 80 mm a montré que pour une augmentation de l'épaisseur de lit de pose entre 20 et 50 mm, la déflexion du pavage décroît doucement d'environ 20%. Par contre, pour une augmentation de l'épaisseur de lit de pose entre 50 et 80 mm, la déflexion du pavage augmente rapidement et la compaction du lit de pose sous l'effet du trafic n'est pas entièrement effective.

Les relevés d'épaisseurs de lit de pose les plus sécurisant sont celles comprises entre 20 et 50mm. Pour ce faire nous allons utiliser un lit de 30 mm d'épaisseur en sable fin 0/5.

- ❖ Soulignons que ces équivalences concernent plus particulièrement les pavés en béton, le comportement des tous les pavés étant manifestement proches, l'emploi de ces équivalences serait admissible pour les pavés en pierres naturelles [1].

III.5.2.2 Couche de fondation et de base

Notre trafic étant de classe T2 sur un sol de portance de classe S4 ; le guide pratique de dimensionnement des chaussées nous propose les différents choix possibles. Et en tenant compte de la disponibilité des matériaux aux alentours de notre site d'étude. Il nous convient d'adopter les valeurs présenter dans le tableau III.4 ci-dessous ; tirer dans l'abaque choisie présenté en Annexe5.

Tableau III-4 Dimensionnement avec CEBTP

Couche	Matériaux	Epaisseur (cm)
Base	Grave concassé	15
Fondation	Grave concassé	20

III.5.3 Dimensionnement suivant la méthode CBR

Avant la recherche de l'épaisseur, il faut d'abord chercher à trouver N qui est le nombre moyen de poids lourds après 20 ans. N est obtenue par la formue (2.3) car $N = NE$. On trouve alors $N = 1409\ 807$; en appliquant la relation (2.13), nous avons l'épaisseur :

$$e = \frac{100 + \sqrt{6,5[75 + (50 \times \log \frac{1409\ 807}{10})]}}{16 + 5}$$

$$e = 45,12\ cm$$

On prend une épaisseur équivalente de 46 cm

III.5.3.1 Calcul de l'épaisseur équivalent

En prenant pour hypothèse une couche de roulement avec un coefficient d'équivalence égale à 1 et de 11 cm en pavés basaltique se reposant sur un lit de pose en sable ; une couche de

base de 15cm d'épaisseur en Grave concassé ; une couche de fondation en Grave concassé de 20 cm d'épaisseur et en se référant au tableau II.2 nous avons :

$$E_{eq} = ((1 \times 11) + (1 \times 15) + (1 \times 20))cm$$

On trouve $E_{eq} = 46cm$.

Après on constate que les différentes couches et leurs épaisseurs avec matériaux proposé par le guide CBTP vérifie ou mieux correspond à notre dimensionnement avec la méthode CBR. Ainsi on retient donc les différentes couches et leurs épaisseurs avec matériaux indiqué dans le tableau III.5

Tableau III-5 différentes couches avec leurs épaisseurs

Couche	Matériaux	Épaisseur en cm
Roulement	Pavé basaltique	8
	Sable fin	3
Base	Grave concassé	15
Fondation	Grave concassé	20

❖ Trottoirs et bordure

Pour permettre aux piétons de circuler aisément, les accotements de la chaussée seront en trottoirs. De deux côtés de la chaussée. Nos trottoirs seront d'une dimension de 1.5 m de largeur. Ils seront construits en pavé basaltique. Les pavés seront déposés sur une base en Scories volcaniques. Les bordures de séparation de la chaussée avec les trottoirs seront en béton surélevé de 0.2 m de hauteur sur 0.50m de longueur.

III.5.4 Les Cubatures des terrassements et l'épure de LALANNE

III.5.4.1 Les Cubatures des terrassements

On remarque que les surfaces des profils en travers se composent simplement en des surfaces des trapèzes et triangles dont le calcul est aisé dès que l'on connaît les côtes du projet, ceux du terrain naturel et les distances partielles sur profils en travers. 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. Le résultat de calcul par le logiciel CIVIL 3D sont repris dans les tableaux III.6 et III.7:

Tableau III-6 déblais et râblais

table des volumes déblai et remblai totaux							
PK	surface deblai	vol deblai	vol deblai cumulé	surface remblai	vol remblai	vol remblai cumulé	vol net
0	4	0	0	0,17	0	0	0
100	15,23	383	383	1,06	27	27	356
200	15,84	396	779	0,32	8	35	744
300	16,07	400	1179	0,62	14	49	1130
400	16,13	405	1584	0,52	16	65	1519
500	15,95	397	1981	0,56	12	77	1904
600	16,44	412	2393	0,89	23	100	2293
700	15,96	399	2792	0,56	14	114	2678
800	15,68	393	3185	0,16	5	119	3066
900	16,12	399	3584	0,08	3	122	3462
1000	15,95	405	3989	0,29	5	127	3862
1100	15,44	385	4374	0,59	16	143	4231
1200	16,15	401	4775	0,72	17	160	4615
1300	14,9	383	5158	0,69	15	175	4983
1400	15,52	378	5536	1,09	27	202	5334
1500	15,85	397	5933	0,44	11	213	5720
1528	8,08	112	6045	0,3	5	218	5827

Tableau III-7 cubature des différentes couches

Cubatures de différentes couches											
Roulement				Base				Forme			
P.K	surface	volume	vol cumule	P.K	surface	volume	vol cumule	P.K	surface	volume	vol cumule
0	0,56	0	0	0	1,05	0	0	0	1,4	0	0
100	0,56	56	56	100	1,05	105	105	100	1,4	140	140
200	0,56	56	112	200	1,05	105	210	200	1,4	140	280
300	0,56	56	168	300	1,05	105	315	300	1,4	140	420
400	0,56	56	224	400	1,05	105	420	400	1,4	140	560
500	0,56	56	280	500	1,05	105	525	500	1,4	140	700
600	0,56	56	336	600	1,05	105	630	600	1,4	140	840
700	0,56	56	392	700	1,05	105	735	700	1,4	140	980
800	0,56	56	448	800	1,05	105	840	800	1,4	140	1120
900	0,56	56	504	900	1,05	105	945	900	1,4	140	1260
1000	0,56	56	560	1000	1,05	105	1050	1000	1,4	140	1400
1100	0,56	56	616	1100	1,05	105	1155	1100	1,4	140	1540
1200	0,56	56	672	1200	1,05	105	1260	1200	1,4	140	1680
1300	0,56	56	728	1300	1,05	105	1365	1300	1,4	140	1820
1400	0,56	56	784	1400	1,05	105	1470	1400	1,4	140	1960
1500	0,56	56	840	1500	1,05	105	1575	1500	1,4	140	2100
1527	0,56	15,63	855,63	1527	1,05	29,3	1604,3	1527	1,4	39,07	2139,07

III.5.4.2 Épure de LALANNE

Dans un projet de terrassement linéaire, l'épure de Lalanne permet, à l'équilibre des déblais et remblais, de trouver rapidement un mouvement des terres ayant la distance de transport moyenne minimum. Ceci dans le but de minimiser les coûts de transport (en faisant l'approximation que les coûts de transport sont proportionnels à la distance). En pratique, le coût de transport dépend du contexte. Ci-dessous nous avons la figure qui montre notre épure de LALANNE.

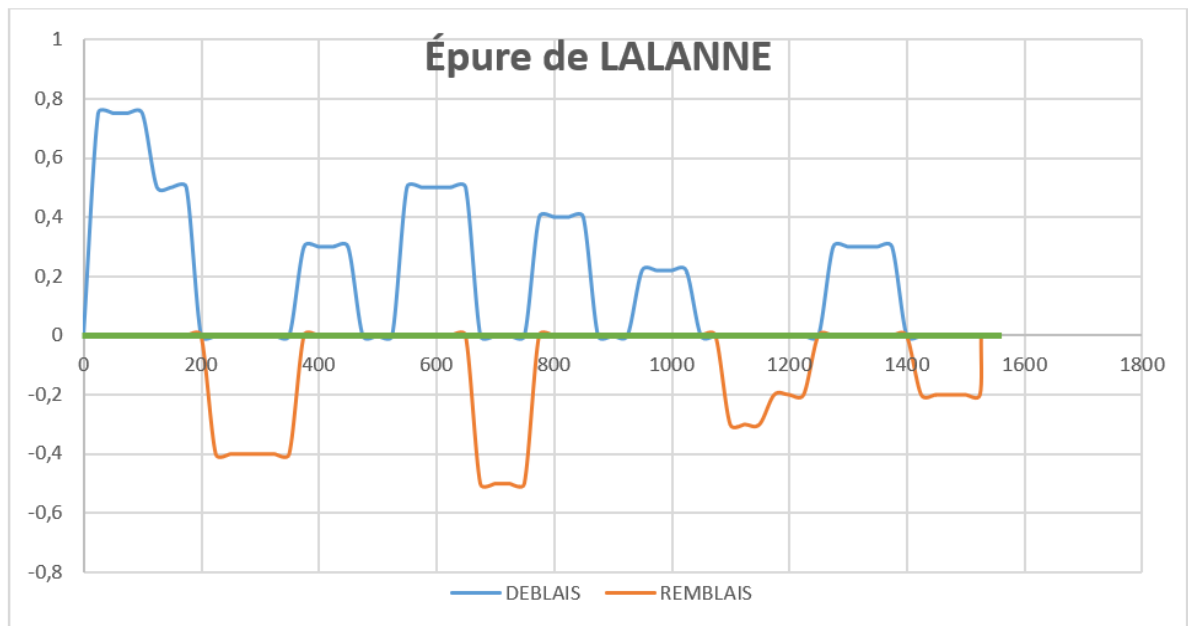


Figure III.5.4-I épures de LALANNE

III.6 Dimensionnement des ouvrages de drainage

Comme nous le savons très bien, l'eau est le premier ennemi des structures de l'Ingénieur, c'est pourquoi il faut toujours s'en débarrasser. L'eau stagnante sur le corps de la chaussée est à la base de bon nombre de dégradations que subit cette dernière.

III.6.1 Choix du type de canalisation géométrie

Pour évacuer notre eau, nous allons considérer le caniveau en V, qui est couramment utilisé pour drainer les eaux pluviales sur les routes, les parkings ou les plateformes. Car leur forme triangulaire permet une collecte rapide des eaux et leur géométrie facilite la construction en béton coulé ou préfabriqué. Notre caniveau sera préfabrique de béton.

III.6.2 Estimation du débit de ruissellement

On utilise la formule rationnelle, pour ce faire nous aurons besoin de A, I, K, et C

La surface A est déterminée en considérant une bande de largeur 30 mètres y inclus celle de la route, c.à.d. 15 mètres de part et d'autre de l'axe de la route. Pour trouver A nous avons utilisé la formule (2.17) avec $l_r = 1527$ m on trouve : **A = 4,581 ha**

L'intensité de pluie I est comprise entre 100 et 120 mm/h à Goma. Pour être du côté de la sécurité, travaillons avec la valeur de **110mm/h**

Le coefficient de dispersion K est déterminé à l'aide de la formule (2.18), qui donne $I = 0,8$

Coefficient de ruissellement C (fonction du type de surface, typiquement entre 0,3 et 0,9), on prend $C = 0,6$

D'où en utilisant la formule (2.16) on trouve $Q = 0,000278 * 4,581 * 110 * 0,8 * 0,6 = 0,067 \text{ m}^3$

Ce débit sera partagé par les deux fossés, donc chaque fossé aura un débit de

$$Q = \frac{0,067}{2} = 0,0335 \text{ m}^3/\text{s}$$

III.6.3 Éléments Géométriques du Caniveau en V

- ❖ Pente longitudinale (S) : nous prenons la pente = 2 % car c'est la pente moyenne le long de la route ; $S = 0,02$.
- ❖ Pente des parois (z) : la pente de paroi est de 6% ; d'où $Z = 0,06$
- ❖ Profondeur (h) : $h = 0,2$ m.
- ❖ $n = 0,15$
- ❖ Largeur en surface (b) : $b = 2 * z * h = 2 * 0,06 * 0,2 = 0,024 \text{ m}^2$

III.6.4 Calcul de la Section Hydraulique

La section mouillée (A) est triangulaire :

$$A = z \times h^2 = 0,06 * 0,2^2 = 0,024 \text{ m}^2$$

Le périmètre mouillé (P) :

$$P = 2 \times 0,2 \times \sqrt{1 + (0,06)^2} = 0,4 \text{ m}$$

Le rayon hydraulique (R) :

$$R = A / P = 0,024 / 0,4 = 0,06 \text{ m}$$

$$\text{Formule de Manning : } Q = (1/0,15) * 0,024 * 0,06^{2/3} * 0,02^{1/2} = 0,035 \text{ m}^3/\text{s}$$

III.6.5 Vérification de la vitesse et capacité

La vitesse d'écoulement est donnée par : $V = Q / A = 0,035/0,024 = 1,45 \text{ m/s}$

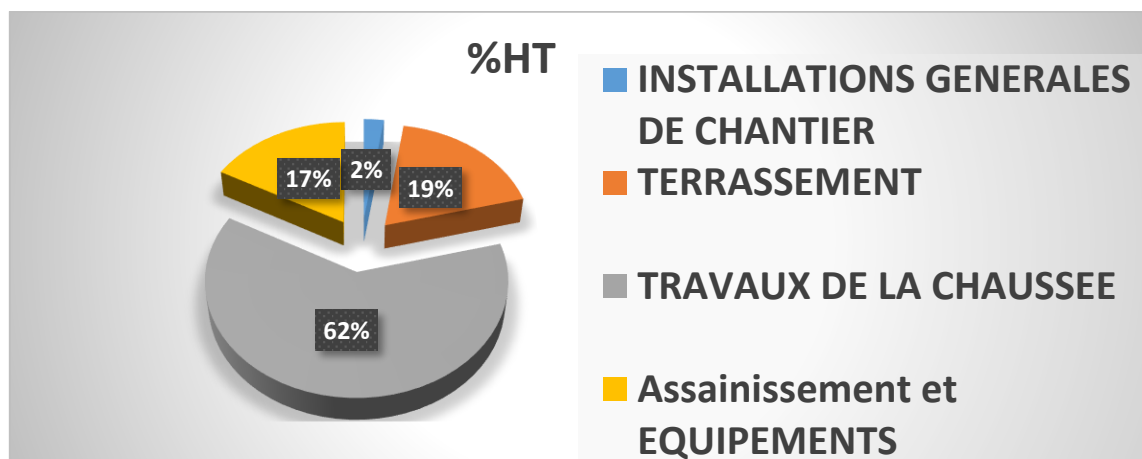
La vitesse est comprise entre 0,3 m/s et 3 m/s. la condition est vérifiée et la section choisie peut évacuer un débit Q de $0,035 \text{ m}^3/\text{s}$ qui est supérieur au débit Q calculé qui est de $0,0335 \text{ m}^3/\text{s}$. On rétien les dimensions du caniveau.

III.7 Évaluation du coût (devis estimatif)

Cette étude vise à donner une tranche de prix pour l'ensemble des travaux à exécuter. Les prix donnés sont à titres indicatifs et susceptibles de changer suivant le cours des monnaies, la fluctuation du prix des marchandises. Mais la connaissance de ces prix est très utile lors de l'étude de faisabilité, permettant de savoir si la structure a ou non les moyens de mener à bien les travaux. Le devis estimatif se trouve dans le tableau III.8 aussi qu'en Annexe 6 où nous trouvons le devis détaillé.

Tableau III-8 Devis estimatif (HT)

Séries	Poste de travaux	Montant HT(en \$)	%HT
A	INSTALLATIONS GENERALES DE CHANTIER	13871	2,39826272
B	TERRASSEMENT	107562	18,5972125
C	TRAVAUX DE LA CHAUSSEE	358742	62,0256338
D	Assainissement et EQUIPEMENTS	98202	16,9788909
Coût du projet (HT)		578377	100



Le montant estimatif hors taxe (HT) des matériaux s'élève à cinq cent soixante-dix-huit mille trois cent soixante-dix-sept (578377) \$. Et le prix estimatif avec taxe (TTC) s'élève à six cent quatre-vingt-quatorze mille cinquante-deux virgule quatre (694052,4) \$ pour une distance de 1527 mètres comme le montre le tableau III.9

Tableau III-9 Devis estimatif (TTC)

Séries	Poste de travaux	Montant TTC(en \$)	%TTC
A	INSTALLATIONS GENERALES DE CHANTIER	16645,2	2,39826272
B	TERRASSEMENT	129074,4	18,5972125
C	TRAVAUX DE LA CHAUSSEE	430490,4	62,0256338
D	Assainissement et EQUIPEMENTS	117842,4	16,9788909
Coût du projet (TTC)		694052,4	100

CONCLUSION GENERALE

La route est un facteur incontournable de civilisation et de développement nécessitant des grands investissements impliquant une démarche scientifique et professionnelle pour sa réalisation afin d'assurer sa pérennité. C'est dans ce même optique que nous avons travaillé sur les travaux de construction des voies pavées dans la ville de Goma dans le volet de l'étude technique et économique.

Des études ont montré que le mauvais état de routes en RDC en général et dans la ville de Goma en particulier, réduisent les échanges entre habitants influant ainsi les conditions économiques. En outre, il s'avère important de remarquer que l'avènement des pavés basaltiques est une réponse pour urbaniser les routes à faibles trafic dans la ville de GOMA.

Ce travail est le résultat de différentes documentations, observations, connaissances acquises en cours de routes, mécaniques des sols et des roches, géologie ainsi qu'à des recherches dans le souci d'apporter une meilleure solution aux problèmes de ce tronçon.

L'objectif de ce travail nous a permis de produire une proposition techniquement admissible et financièrement acceptable. Au terme de cette étude, il ressort que la chaussée sera revêtue avec des pavés basaltiques de 8 cm d'épaisseur reposant sur un lit de pose de 3 cm en sable fin, d'une couche de base de 15 cm et de fondation de 20 cm d'épaisseur en Grave concassé. Le tout reposant sur une plateforme de classe S4, Et pour l'évacuation des eaux sur la chaussée, nous avons considéré le caniveau en V, capable d'évacuer un débit Q de $0,035 \text{ m}^3/\text{s}$ qui est supérieur au débit Q calculé qui est de $0,0335 \text{ m}^3/\text{s}$, avec une vitesse de $1,45 \text{ m/s}$.

Nous avons effectué une étude quantitative et estimatif du projet permettra d'estimer le coût global du projet. Ce dernier s'élève à cinq cent soixante-dix-huit mille trois cent soixante-dix-sept (578377) \$ sans tenir compte des taxes. Toute fois l'aspect entretien sera envisager dans le but de permettre à la route de fonctionner dans des conditions optimales et le long de sa durée de vie.

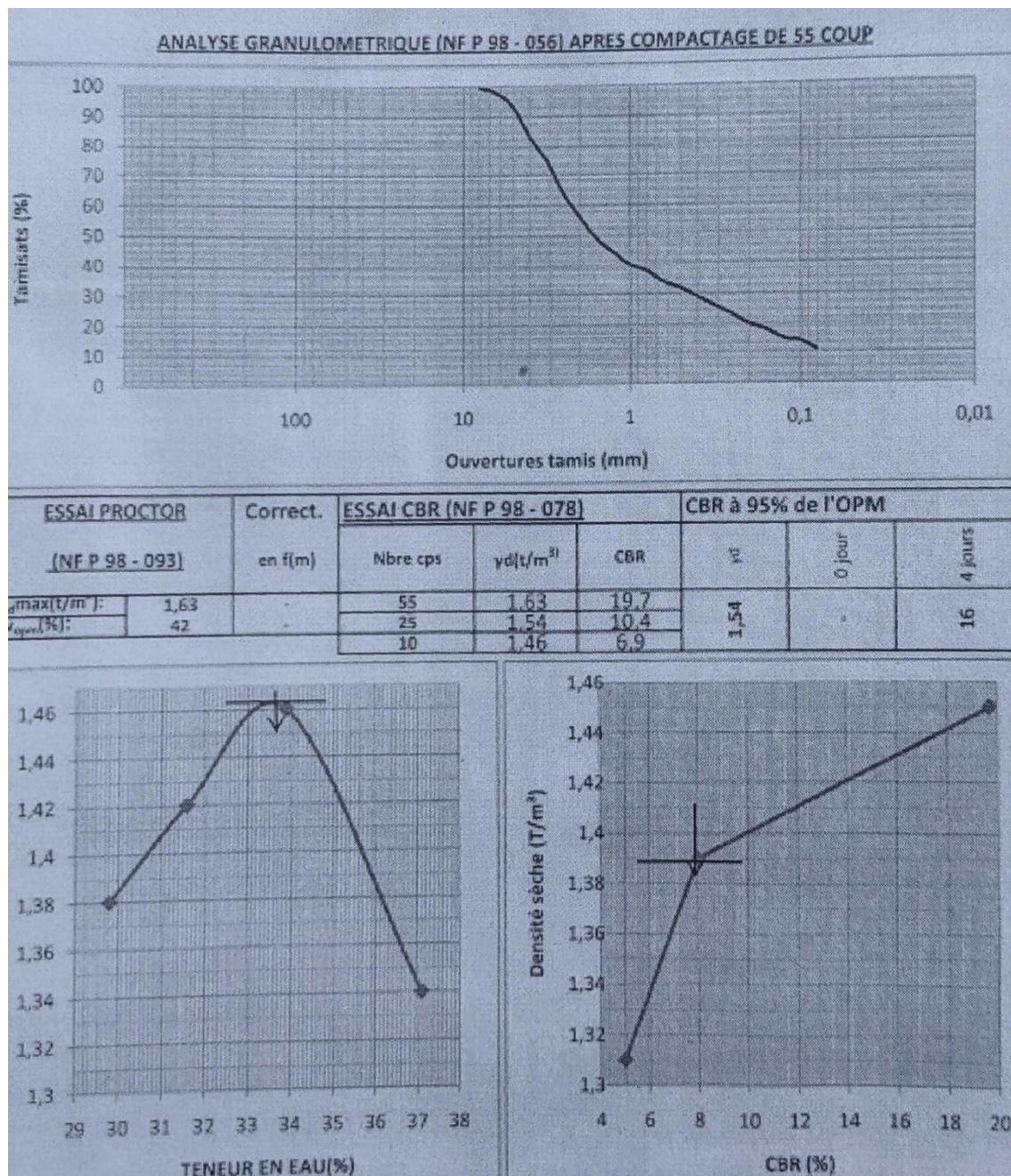
Au final, nous ne croyons pas avoir épuisé toutes les facettes d'analyse de ce sujet, mais nous accueillons toute sujétion, tout conseil et ouvrons une piste à tout chercheur qui viendra nous compléter,

Bibliographie

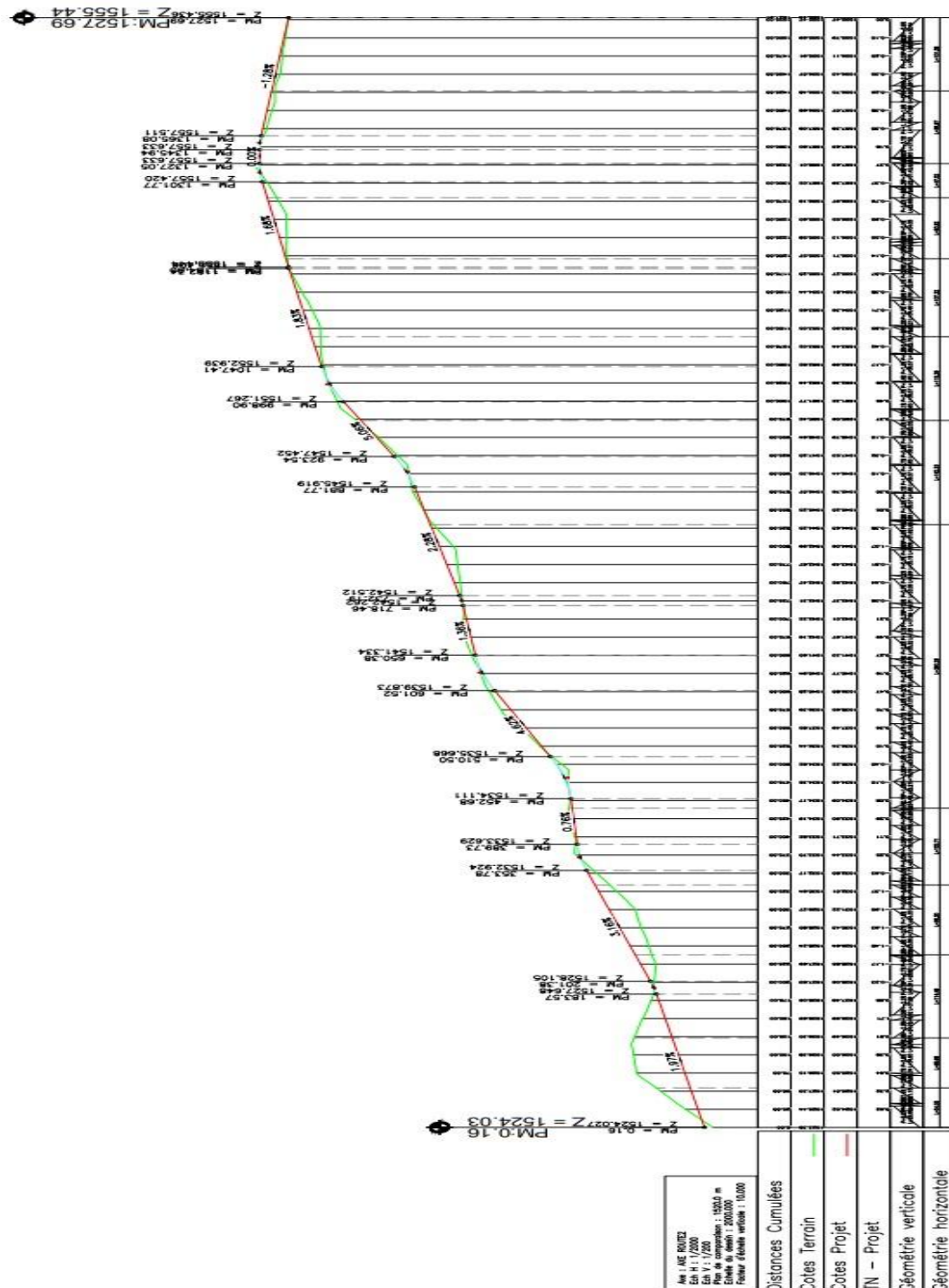
- [1] Y. MOUSSA, «ETUDE TECHNIQUE DE CONSTRUCTION D'UNE,» Institut International d'Ingénierie, Ouagadougou, 2020.
- [2] <https://www.google.com/search?>.
- [3] TEXUM SA, «L'histoire des routes,» Payerne, 2018.
- [4] M. MASIKA, «COURS DE ROUTES I ULPGL-Goma,» Goma, 2023.
- [5] A.-M. GROLEAU, MATERIAUX POUR LA CONSTRUCTION ROUTIERE, QUEBEC: UNIVERSITE LAVAL, 2016.
- [6] Association américaine des autoroutes et du transport , Asphalt Pavements, 2018.
- [7] CEBTP, Guide Pratique de Dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, en France: Ministère des relations extérieures, coopération et développement, 1984.
- [8] Institut International d'Ingénierie , GUIDE DE DIMENSIONNEMENT CORPS DE CHAUSSEE, 2027.
- [9] L. C. d. P. e. Chaussées, CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES DE CHAUSSEE : Guide Technique, 1994. .
- [10] biblus, «devis et metre quantitatif,» editorial team, 2017.
- [11] JUnit.org. [En ligne]. Available: <http://www.junit.org>. [Accès le 2 Janvier 2019].
- [12] Les SMART SYSTÈMES EN BÉTON, Guide de conception des ouvrages réalisés à partir de pavés, dalles, bordures et caniveaux préfabriqués en béton, France: Cerib, 2018.

ANNEXES

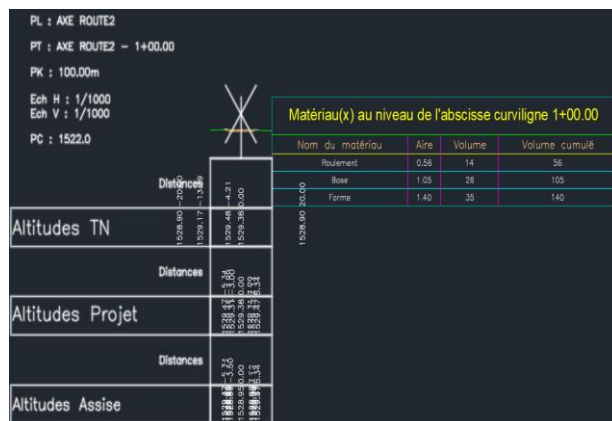
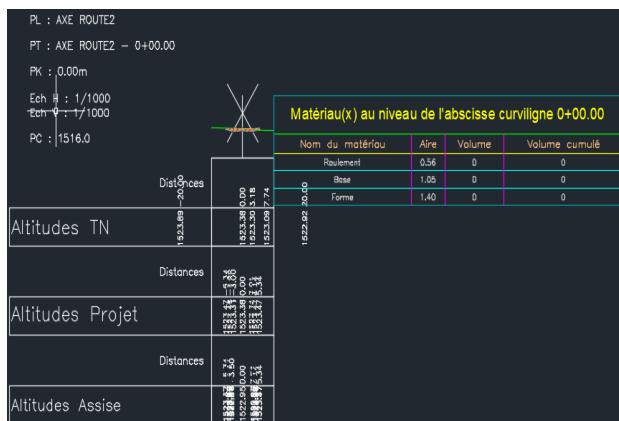
ANNEXES 1 : CBR DE LA PLATE FORME (source OR)



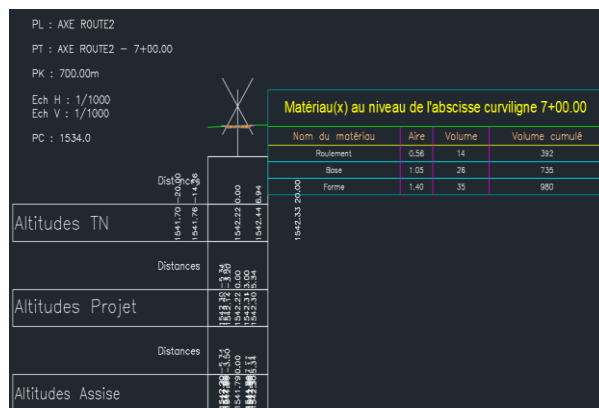
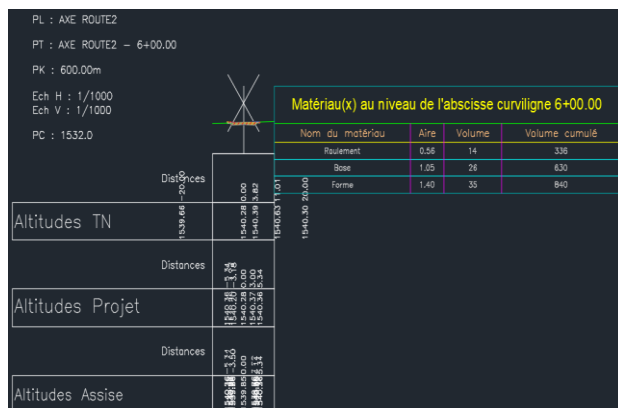
Annexe 2 : Profil en long



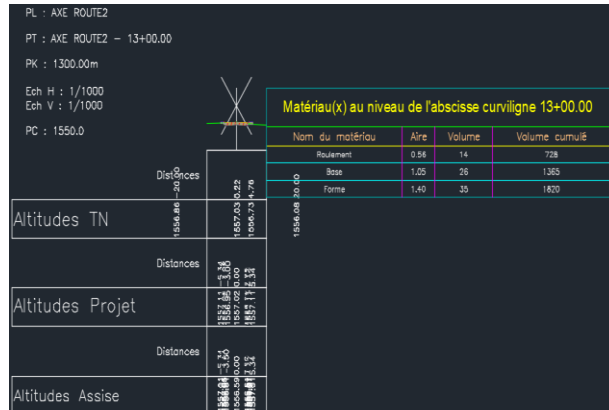
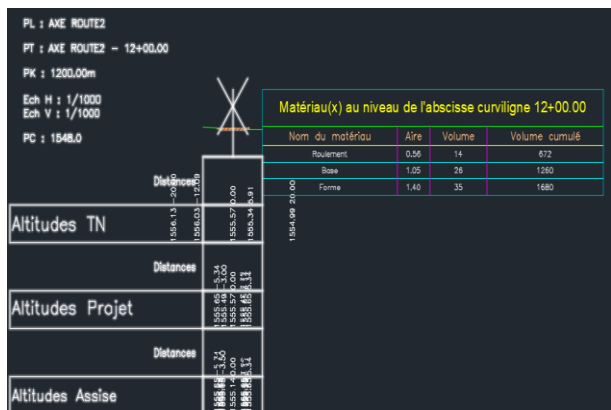
Annexe 3 : les profils en travers courants



Annexe 3 : les profils en travers courants (suite)



Annexe 3 : les profils en travers courants(suite)



Annexe 5 : Abaque de dimensionnement CEBTP [7]

TRAFICS $T_1 - T_2$		S_1		S_2		S_3		S_4		S_5	
		T_1	T_2	T_1	T_2	T_1	T_2	T_1	T_2	T_1	T_2
REVÊTEMENT		Bc ou 3E	4E ou Tc	Bc ou 3E	4E ou Te	Bc ou 3E	4E ou Te	Bc 			

Annexe 6 : Devis estimatif

DEVIS ESTIMATIF DES MATERIAUX					
No	Designations	unité	Quantité	prix unitaire en \$	prix total en \$
A. INSTALLATIONS GENERALES DE CHANTIER					
1	installation du chantier	ff	1	5000	5000
2	nettoyage du site	m ²	16742	0,5	8371
3	signalisation pour la duree totale du chantier	ff	10	50	500
sous total A					13871