

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN DE TIARET



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DEPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master
Spécialité : Travaux Publics
Option : V.O.A

Présenté par :
DIALLO DJIBRIL
AOUIMEUR MOHAMED AMINE

Sujet du mémoire :

Etude de dédoublement de la RN23 allant vers Laghouat
sur un linéaire de 5Km du PK 251+000 au PK 256+000
A l'aide du logiciel Autopiste

Soutenu publiquement le 02/07/2022 devant le jury composé de :

M. MIMOUNI .M	Président
M. ABADA.G	Rapporteur
M. KLOUCHE.B	Examineur
M. BENYAMINA.A	Examineur

PROMOTION : 2021/2022

REMERCIEMENTS

Toute notre parfaite gratitude, grâce et remerciement sont à Allah le tout puissant, clément et Miséricordieux qui nous a donné la force, le courage, la patience et la volonté d'élaborer ce travail.

*C'est avec une profonde reconnaissance et une considération particulière que nous remercions notre encadreur **M. ABADA Ghanem** pour sa disponibilité, sa patience, son orientation, son soutien ainsi que ses conseils avisés qui ont rendu ce travail possible.*

Nous remercions sincèrement tous les enseignants de l'université Ibn Khaldoun de Tiaret en particulier de Génie Civil qui ont participé à notre formation.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury qui nous font l'honneur d'examiner ce modeste travail.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce projet de fin d'étude.

DEDICACES

Au nom d'Allah le Clément le Miséricordieux

A mes très chers parents,

Dont vos mérites, vos sacrifices, vos qualités humaines qui m'ont permis de vivre ce jour. Les mots me manquent pour exprimer toute la reconnaissance, la fierté et le profond amour que je vous porte pour les sacrifices que vous avez consenti pour ma réussite, que vous trouviez ici le témoignage de mon attachement ma gratitude et respect, que Dieu vous préserve ; bonne santé et longue vie. Tous mes sentiments de reconnaissance pour vous.

A mes frères et ma sœur,

Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études. Que Dieu leur procure bonne santé et longue vie.

En leur souhaitant plein de bonheur et de réussite. Vous éclairez ma voie, je vous aime.

A tous les étudiants de la promotion 2021-2022, option VOA.

A tous les enseignants qui ont participé à ma formation.

AOUIMEUR MOHAMED AMINE

DEDICACES

Rien n'est aussi beau à offrir que le fruit d'un labeur que l'on dédie du fond du cœur à ceux qu'on aime et qu'on remercie en exprimant notre gratitude et notre reconnaissance durant toute notre existence.

Je dédie ce modeste travail :

*Aux prunelles de mes yeux, **mes chers parents** pour leurs sacrifices démesurés et leur amour infini ;*

*A mon oncle **MOUSSA DEMBELE** pour son soutien moral, financier et son dévouement qu'il ne cesse de générer à mon égard ;*

*A ma chère tante **KADIATOU DIALLO** pour son amour et son encouragement ;*

*A **ma famille, mes proches** qui n'ont ménagé aucun effort pour me soutenir durant toutes mes études ;*

*A **mes chère(s) ami(e)s** qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce mémoire.*

DIALLO DJIBRIL

Résumé :

Notre projet de fin d'étude rentre dans le domaine des infrastructures de transport, et en particulier les routes. Le travail exposé concerne l'élargissement d'un tronçon de la route nationale **RN23** qui souffre du surplus du trafic enregistré, d'où une étude de dédoublement complète effectuée sur **5kms** du **PK251+000** au **PK256+000** pour alléger les charges et rendre la circulation adoucissante aux usagers.

Ce projet, dans ses grandes phases, consiste en :

- Une étude cinématique ;
- Une conception géométrique de la route (Trace en plan, Profil en long et Profil en travers), en utilisant le logiciel Autopiste ;
- Une Etude géotechnique et dimensionnement du corps de chaussée ;
- Et enfin dimensionnement des ouvrages d'assainissement.

Mots clés : Infrastructure, Trafic, Dédoublement, Chaussée.

Abstract:

Our final study project is in the field of transport infrastructure, and in particular roads. The exposed work concerns the widening of a section of national road **RN23** which suffers from the excess traffic, hence a complete duplication study carried out over 5kms from **PK251+000** to **PK256+000** to lighten loads and make traffic softening to users.

This project, in its major phases, consists of:

- A cinematic study ;
- A geometric design of the road (Alignment, longitudinal section, and Cross section). Using the software Autopiste ;
- A geotechnical study and sizing of the road body
- And finally dimensioning drainage system.

Keywords: Infrastructure, Traffic, Duplication, Roadway

ملخص:

مذكرة نهاية مشوارنا الدراسي ترجع الى مجال البنية التحتية للنقل عامة والطرق خاصة.
العمل الموجه لنا يهدف الى توسعة قطعة من الطريق الوطني رقم 23 الذي يعاني من اكتظاظ مروري مسجل.
هذا التوسيع الشامل على مدى 5 كيلومترات بدءا من النقطة الكيلومترية 251 الى غاية النقطة الكيلومترية 256
يهدف الى تخفيف الحمل المروري وجعل الطريق اقل ازدحاما للمستعملين.
يتكون هذا المشروع، في مراحله الرئيسية، من:

- دراسة حركية.
- تصميم هندسي للطريق (مقطع طولي، مقطع عرضي). باستعمال برنامج Autopiste .
- دراسة جيوتقنية وتحجيم الطريق.
- وأخيرا تحجيم أعمال الصرف الصحي.

الكلمات المفتاحية : البنية التحتية، حركة المرور، توسعة، طريق.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	I
DEDICACES	II
RESUME :	IV
TABLE DES MATIERES	VI
LISTE DES TABLEAUX	XI
LISTE DES FIGURES	XII
INTRODUCTION GENERALE :	02

CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET

I.1 INTRODUCTION :	04
I.2 SITUATION DU PROJET :	04
I.2.1 Présentation du projet :	04
I.2.2 Présentation de la wilaya de Laghouat :	04
I.2.3 Levé topographique du projet :	06
I.2.4 Localisation du projet :	07
I.3 OBJECTIF DE L'ETUDE :	07

CHAPITRE II : ETUDE CINEMATIQUE

II.1 ETUDE DU TRAFIC :	09
II.1.1 Introduction :	09
II.1.2 Analyse du trafic :	09
II.1.3 Différents types de trafic :	09
II.1.4 Modèles de présentation de trafic :	10
II.1.5 Calcul de la capacité :	10
II.1.5.1 Définition de la capacité :	10
II.1.5.2 Projection future du Trafic :	11
II.1.5.3 Calcul du trafic effectif :	11

II.1.5.4 Débit de pointe horaire normal :	12
II.1.5.5 Débit horaire admissible :	12
II.1.5.6 Détermination du nombre de Voies :	13
II.1.6 Application au projet :	13
II.2 PARAMETRES DE BASES D'UN PROJET DE ROUTE	16
II.2.1 Classifications des routes :	16
II.2.1.1 Classification administrative :	16
II.2.1.2 Classification technique :	17
II.2.1.3 Application au projet :	20
II.2.2 Vitesse de référence :	20
II.2.2.1 Choix des valeurs de la vitesse de référence :	21
II.2.3 Paramètre cinématique de la route :	21

CHAPITRE III : ETUDE GEOMETRIQUE

III.1 TRACE EN PLAN :	29
III.1.1 Définition :	29
III.1.2 Règles à respecter dans le Tracé en Plan :	29
III.1.3. Les éléments du tracé en plan.....	30
III.1.3.1 Les Alignements droits :	30
III.1.3.2 Arc de Cercle :	31
III.1.3.3 Courbe de raccordement progressif :	35
III.1.4 Combinaison des éléments du tracé en plan :	38
III.1.5 Notion de devers :	40
III.1.6 Particularité de conception du dédoublement :	41
III.1.7 La conception du tracé en plan (Application au projet) :	42
III.2. PROFIL EN LONG :	42
III.2.1. Définition :	42

III.2.2. Règles à respecter dans le tracé du profil en long :	43
III.2.3 Coordination du tracé en plan et du profil en long :	43
III.2.4. Déclivités.....	44
III.2.4.1. Déclivité minimum	44
III.2.4.2. Déclivité maximum :.....	44
III.2.5 Raccordements en profil en long :	45
III.2.5.1. Raccordements Convexes (Angle Saillant) :.....	45
III.2.5.2. Raccordements Concaves (Angle Rentrant) :	46
III.2.6. Application au projet :.....	47
III.3. PROFIL EN TRAVERS :	48
III.3.1. Définition :	48
III.3.2. Différents types de profil en travers	48
III.3.2.1 Profil en travers type :.....	48
III.3.2.2 Profil en travers courants :	48
III.3.3 Les éléments de composition du profil en travers :	48
III.3.4 Application au projet :	51

CHAPITRE IV : ETUDE GEOTECHNIQUE ET DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE

IV.1 ETUDE GEOTECHNIQUE :	53
IV.1.1 Introduction :	53
IV.1.2 Les différents essais en laboratoire :	53
IV.1.3 Les résultats des essais :	56
IV.2 DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE :.....	57
IV.2.1 Introduction :	57
IV.2.2 La Chaussée :	58
IV.2.2.1 Définition :	58

IV.2.2.2 La constitution d'une chaussée :	58
IV.2.2.3 Les différents types de chaussées :	59
IV.2.3 Les différents facteurs déterminants pour le dimensionnement de la chaussée:.....	62
IV.2.3.1 Trafic :	63
IV.2.3.2 Le climat et l'environnement :	63
IV.2.3.3 Le sol support :	63
IV.2.3.4 Les matériaux :	63
IV.2.4 Méthodes de dimensionnement :	63

CHAPITRE V : CALCUL DES CUBATURES

V.1 DEFINITION :	68
V.2 METHODE DE CALCUL DES CUBATURES :.....	68
V.2.1 Méthode de la moyenne des aires :	68
V.2.1.1 Description de la Méthode :.....	68
V.2.2. Méthode classique.....	70
V.2.2.1 Méthode de Gulden	70
V.2.2.2 Méthode linéaire :	71
V.3 APPLICATION AU PROJET :	71

CHAPITRE VI : OUVRAGES D'ASSAINESSEMENT

VI.1 INTRODUCTION :.....	73
VI.2 OBJECTIF DE L'ASSAINISSEMENT :	73
VI.3 ASSAINISSEMENT DE LA CHAUSSEE :	74
VI.4 DEFINITIONS DES TERMES HYDRAULIQUES :	75
VI.5. OUVRAGES HYDROLIQUES PROPOSES :.....	76

CHAPITRE VII : SIGNALISATION HORIZONTALE ET VERTICALE

VII.1 INTRODUCTION :.....	78
VII.2 OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION ROUTIERE :	78

VII.3 CATÉGORIES DE SIGNALISATION :	78
VII.4 REGLES A RESPECTER POUR LA SIGNALISATION :	78
VII.5 TYPES DE SIGNALISATION :	79
VII.5.1 Signalisation verticale :	79
VII.5.2 Signalisation Horizontale :	81
VII.6 LARGEUR DES LIGNES :	85
DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF	87
CONCLUSION GENERALE.....	89
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....	91
ANNEXES	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 : Coefficient d'équivalence.....	11
Tableau II.2 : Valeurs du coefficient K1	12
Tableau II.3 : Valeurs du coefficient K2.....	12
Tableau II.4 : Valeurs de la capacité théorique	13
Tableau II.5 : Environnement en fonction du relief et de la sinuosité.....	20
Tableau II.6 : Vitesse de référence	21
Tableau II.7 : fl en fonction de l'état de la chaussée et des pneus	23
Tableau II.8 : Coefficient de frottement longitudinal en fonction de vitesse.....	23
Tableau II.9 : Distance de visibilité de dépassement normale et minimale	27
Tableau III.1 : Coefficient de frottement transversal	33
Tableau III.2 : Rayons en plan et dévers associés	35
Tableau III.3 : Déclivité maximum	45
Tableau III.4 : Caractéristiques des rayons verticaux.....	47
Tableau IV.1 : Résultats des Essais	57
Tableau IV.2 : Classe de portance des sols Si	63
Tableau IV.3 : Epaisseurs totale de corps de chaussée en fonction du trafic.....	65
Tableau IV.4 : Coefficients d'équivalence des matériaux	65
Tableau V.1 : Tableau récapitulatif.....	71
Tableau VI.1 : Emplacement des ouvrages à prolonger	76
Tableau VII.1 : Modulation des lignes discontinue.....	82

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Situation géographique de wilaya de Laghouat.....	05
Figure I.2 : Levé topographique du tronçon concerné par l'étude.....	06
Figure I.3 : Photo Satellitaire de la zone du projet.....	07
Figure II.1 : Dénivelée cumulée	18
Figure II.2 : Définition de la sinuosité	19
Figure II.3 : Distance de freinage	22
Figure II.4 : Distance d'arrêt	24
Figure II.5 : Distance de sécurité	26
Figure III.1 : Les éléments du Tracé en Plan	30
Figure III.2 : Stabilité en Courbe	32
Figure III.3 : Les éléments de la clothoïde.....	37
Figure III.4 : Courbe en S	39
Figure III.5 : Courbe à sommet	39
Figure III.6 : Courbe ovale.....	39
Figure III.7 : Courbe en C.....	40
Figure III.8 : Extrait du tracé en plan.....	42
Figure III.9 : Visibilité au sommet	46
Figure III.10 : Extrait du Profil en long	48
Figure III.11 : Les éléments constitutifs du profil en travers	49
Figure IV.1 : La constitution d'une chaussée	59
Figure IV.2 : La chaussée souple	60
Figure IV.3 : Chaussée semi-rigide.....	61
Figure IV.4 : Chaussée rigides.....	62
Figure IV.5 : Types de chaussée	62
Figure IV.6 : La structure de la chaussée adoptée	66

Figure V.1 : Profil adopté pour tracé en plan	69
Figure V.2 : Méthode de Gulden	70
Figure VI.1 : Assainissement de la plate-forme	76
Figure VII.1 : Les signaux de danger	79
Figure VII.2 : Différents signaux de la prescription absolue	79
Figure VII.3 : Signaux d'indication (route prioritaire)	80
Figure VII.4 : Signaux de direction	80
Figure VII.5 : Ligne continue interdisant le franchissement ou le chevauchement	81
Figure VII.6 : Ligne discontinue	82
Figure VII.7 : Types de modulation	83
Figure VII.8 : Ligne mixte	83
Figure VII.9 : Les lignes transversales	84
Figure VII.10 : Flèche de signalisation	84

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Un réseau routier est un ensemble de routes interconnectées qui permettent aux personnes et aux biens de passer en tant que secteur important de l'économie. Participer et contribuer efficacement au processus de création de richesse dans un pays.

En Algérie le transport routier joue un rôle majeur dans la mesure où la route supporte plus de 80% du trafic de marchandises et voyageurs. Afin de fluidifier le trafic l'Etat a opté pour un programme portant sur la réalisation des tracés routiers neufs, des réhabilitations, des modernisations et des renforcements des routes existantes.

C'est dans ce cadre là et pour achever notre formation, à la fin du cursus universitaire, que notre établissement dans son programme du second semestre de deuxième année Master, nous a proposé un projet de fin d'étude intitulé « **Etude de dédoublement de la RN23 sur un linéaire de 05 km du PK 251+000 au PK 256+000 à l'aide du logiciel autopiste.**»

Ce projet de dédoublement étant nécessaire, compte tenu de :

- ✓ L'importance de la route existante qui doit supporter l'intensité du trafic actuel.
- ✓ Les différentes activités économiques, commerciales et sociales de la région.
- ✓ La demande croissante en matière de transport de marchandises qui traverse cet

axe.

Afin de mener à bien cette tâche, notre travail a été structuré comme suit :

Une **Introduction générale**, sept (7) **Chapitres**, un **Devis quantitatif et estimatif** et une **Conclusion générale**.

Chapitre I : Est consacré à la présentation de la wilaya de Laghouat en général et sur notre projet en particulier.

Chapitre II : Porte sur l'étude cinématique à savoir les paramètres de bases et trafic d'un projet routier.

Chapitre III : Est consacré à l'étude géométrique qui est composé d'un tracé en plan, un profil en long et profil en travers.

Chapitre IV : Est Consacré au dimensionnement du corps de chaussée par différentes méthodes.

Chapitre V : Relatif au Calcul des cubatures des terrassements tout au long de l'itinéraire.

Chapitre VI : Porte sur le dimensionnement des ouvrages d'assainissement.

Chapitre VII : Est consacré aux Signalisations horizontales et verticales.

CHAPITRE I
PRESENTATION DU PROJET

CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET

I.1 INTRODUCTION :

Les infrastructures de transport, et en particulier les routes, doivent présenter une efficacité économique et sociale. A travers des avantages et des coûts sociaux des aménagements réalisés, elles sont le principal vecteur de communication et d'échange entre les populations et jouent un rôle essentiel dans l'intégration des activités économiques à la vie locale.

La problématique qui est à la base des projets d'infrastructure routière est souvent liée à l'insuffisance de réseau existant par saturation, il est alors nécessaire, pour bien cerner cette problématique, d'en préciser les contours, puis pour en dessiner les solutions et d'en quantifier précisément les composantes. Ceci pousse à mener des études de dédoublement.

D'où l'importance de notre étude, qui consiste à faire la conception du dédoublement d'un tronçon routier de la route nationale 23 (**RN23**) sur 05km du **PK251+000 au PK256+000** qui se situe dans la Wilaya de Laghouat. La route nationale N°23 présente un axe très important.

I.2 SITUATION DU PROJET :

I.2.1 Présentation du projet :

La Route Nationale RN23 débute de la wilaya de Mostaganem en passant par la RN4 à l'Ouest de Yellal jusqu'à l'Est de Relizane – Zemmoura – Mendes – Rahouiya – Tiaret – Sougueur – Ain deheb – Aflou - Laghouat.

La partie totale du projet appartenant à la Wilaya de Laghouat débute de Hassiane Eddib en passant par Aflou vers Laghouat sur 155 Km.

Vue l'augmentation du Trafic d'une façon vertigineuse, on a enregistré au niveau de ce tronçon plusieurs accidents de circulation, ce qui a incité le ministère des travaux publics à dédoubler cette route urgemment.

I.2.2 Présentation de la wilaya de Laghouat :

Située au centre du pays à 400 km au sud de la capitale Alger, la wilaya de Laghouat s'étend sur **25 000 km²**. La wilaya de Laghouat comprend 24 communes, réparties sur 10 daïras (circonscriptions administratives) (Figure I.1).

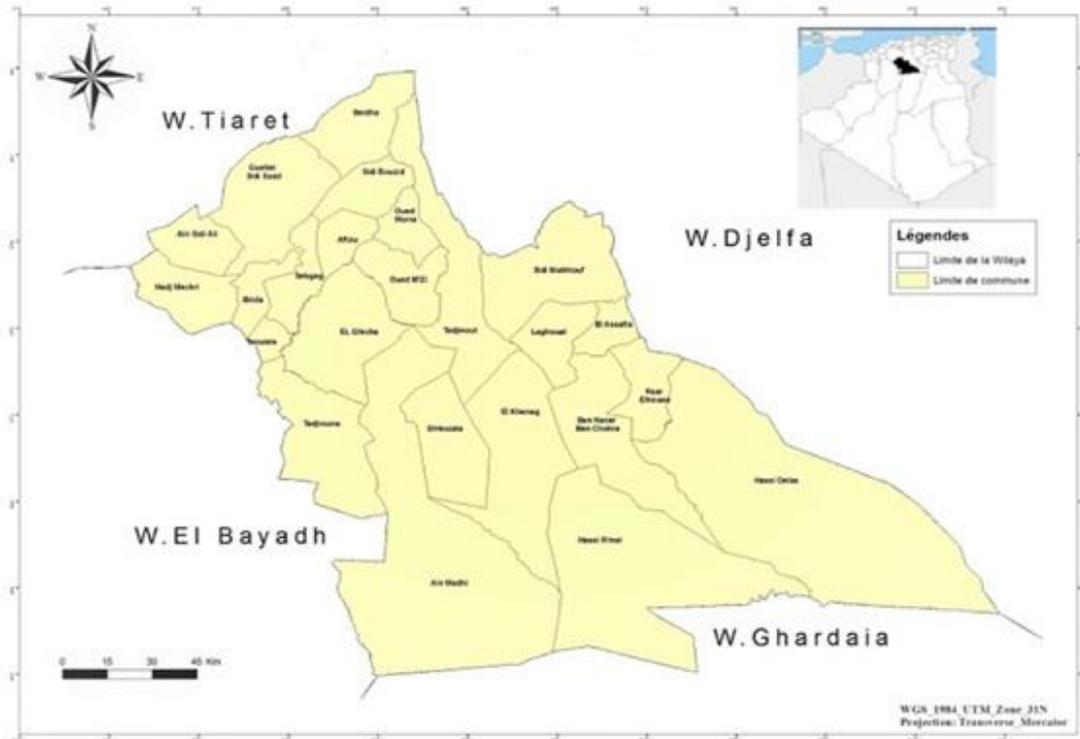


Figure I.1 : Situation géographique de wilaya de Laghouat.

➤ **CONTEXTE GEOLOGIQUE :**

Le territoire de Laghouat est partagé en deux régions d'inégale superficie, présentant chacune un intérêt particulier. La première, qui comprend la partie Nord-Ouest de la wilaya, est une région montagneuse, accidentée, à peu près nue et aride. Des chaînons rocheux, isolés à pente raide, généralement peu accessibles, y formant les ceintures des grandes vallées. Les dernières pentes de ces montagnes aboutissent à Laghouat.

Cette oasis est partagée en deux parties, Nord et Sud, par une crête rocheuse dont la direction générale est Ouest Est. Au Nord une autre ligne de crête parallèle à la précédente offre deux coupures assez larges, l'un donnant passage à l'Oued M'zi, l'autre formant un col appelé le col des sables.

La deuxième région, situé au Sud de Laghouat est constituée par d'immenses plaines ondulées formant la zone des dayas.

➤ **CONTEXTE CLIMATOLOGIQUE :**

- Le site du projet est situé dans un contexte semi-aride ayant une pluviométrie allant de 100 à 150mm ; les précipitations surviennent fréquemment sous forme d'orages.

- Sur toute l'année, les températures maximales moyennes mensuelles sont comprises entre 20 et 37°. Les températures minimales moyennes mensuelles sont comprises entre 0° et 15°.
- A la surface de la chaussée et en période estivale, la température peut atteindre 40° et plus.
- En période hivernale, la température peut osciller entre 2° le matin (on peut observer 0° et même en dessous) et 20° entre 12h et 16h.
- Les chocs thermiques sont importants avec des écarts de températures pouvant atteindre 25° et même plus.
- Les vents sont très violents à dominance Nord-Nord-Est pour des vitesses allant de 60 à 130km/h.

I.2.3 Levé topographique du projet :

Tout projet de route nécessite un document de base, qui est le plan topographique.

Ce plan doit représenter fidèlement le terrain en question (Figure I.2).

- ✓ Il représente la forme du sol et des détails qui s'y trouvent, donc il reflète la réalité du projet tel qu'il est avant conception,
- ✓ Le nivellement, partie nécessaire du levé, qui permet de donner une côte exacte des points dans chaque profil,
- ✓ Il permet d'avoir un devis quantitatif plus exact.

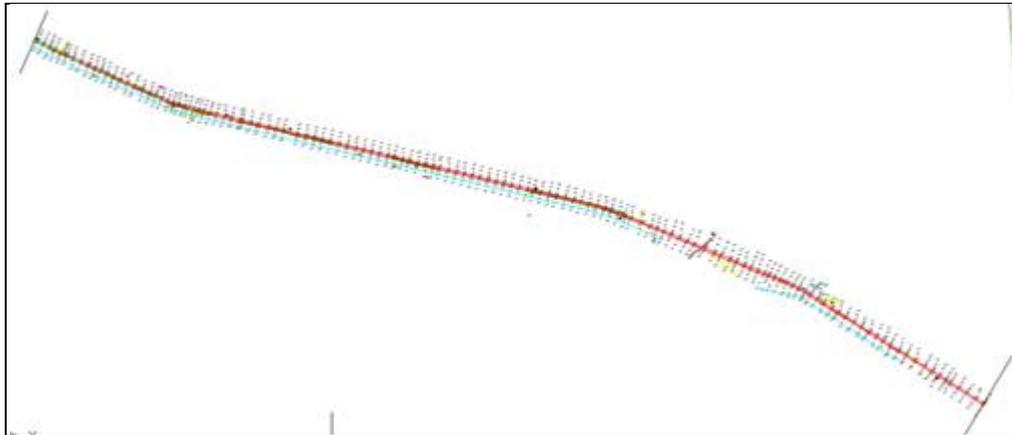


Figure I.2 : Levé topographique du tronçon concerné par l'étude

I.2.4 Localisation du projet :

Notre tronçon se situe dans la wilaya de Laghouat et débute du **PK251+000** au **PK256+000** (Figure I.3).



Figure I.3 : Photo Satellitaire de la zone du projet

I.3 OBJECTIF DE L'ETUDE :

Cette étude a été conçue dans l'objectif d'améliorer l'aménagement routier de la route nationale RN23 de telle sorte à augmenter le niveau de service et de sécurité des usagers, et aussi pour assurer une fluidité de la circulation sur le tronçon entre la commune de Hassiane Eddib en passant par Aflou vers Laghouat sur 155 Km, afin d'obtenir une variante qui répond effectivement aux critères Economique, confort et Environnement.

Notre objectif principal consiste à faire la conception de dédoublement d'un tronçon routier de la route nationale RN23 sur 05 km du PK 251+000 au PK 256+000 en utilisant le logiciel Autopiste.

CHAPITRE II
ETUDE CINEMATIQUE

CHAPITRE II : ETUDE CINEMATIQUE

II.1 ETUDE DU TRAFIC :

II.1.1 Introduction :

L'étude de trafic constitue une étape fondamentale en amont de toute réflexion relative à l'aménagement qui convient et la caractéristique à lui donner depuis le nombre de voie jusqu'à l'épaisseur des différentes couches de matériaux qui constituent la chaussée.

L'étude de trafic constitue un moyen important de saisie des grands flux à travers un pays ou une région, elle représente une partie appréciable des études de transport, et constitue parallèlement une approche essentielle de la conception des réseaux routiers.

Dans une étude complète d'infrastructure, il est impératif de :

- Définir les caractéristiques techniques des différents tronçons.
- Apprécier la valeur économique des projets.
- Estimer les coûts d'entretien.

II.1.2 Analyse du trafic :

Pour connaître en un point et à un instant donné le volume et la nature du trafic, il est nécessaire de procéder à un comptage. Ces derniers nécessitent une logistique et une organisation appropriées.

Les analyses de circulation sur les diverses artères des réseaux routiers sont nécessaires pour l'élaboration des plans d'aménagement ou de transformation et l'infrastructure, détermination des dimensions à données au route et appréciations d'utilité des travaux projetés.

Les éléments de ces analyses sont multiples :

- Statistiques générales ;
- Comptages sur routes (manuels, automatique) ;
- Enquêtes de circulation.

II.1.3 Différents types de trafic :

On distingue quatre types de trafic :

- **Trafic normal** : C'est un trafic existant sur l'ancien aménagement sans prendre en considération le trafic du nouveau projet

- **Trafic induit** : C'est un trafic qui résulte de nouveau déplacement des personnes vers d'autres déviations.
- **Trafic dévié** : C'est le trafic attiré vers la nouvelle route aménagée. La déviation du trafic n'est qu'un transfert entre les différents moyens d'atteindre la même destination.
- **Trafic total** : C'est le trafic annuel moins le trafic dévié.

II.1.4 Modèles de présentation de trafic :

Dans l'étude des projections des trafics, la première opération consiste à définir un certain nombre de flux de trafic qui constitue des ensembles homogènes, en matière d'évolution ou d'affectation.

Les diverses méthodes utilisées pour estimer le trafic dans le futur sont :

- Prolongation de l'évolution passée.
- Corrélation entre le trafic et les paramètres économiques.
- Modèle gravitaire.
- Modèle de facteur de croissance.

II.1.5 Calcul de la capacité :

II.1.5.1 Définition de la capacité :

La capacité d'une route est le flux horaire maximum des véhicules qui peuvent raisonnablement passer en un point ou s'écouler sur une section de route uniforme (ou deux directions), avec les caractéristiques géométriques et de circulation qui lui sont propres durant une période bien déterminée. La capacité s'exprime sous forme d'un débit horaire.

La capacité dépend :

- Des conditions de trafic.
- Des conditions météorologiques.
- Le type d'usagers habitués ou non à l'itinéraire.
- Des distances de sécurité (ce qui intègre le temps de réaction des conducteurs variables d'une route à l'autre)
- Des caractéristiques géométriques de la section considérée (nombre et largeur des voies).

II.1.5.2 Projection future du Trafic :

La formule qui donne le trafic journalier moyen annuel à l'année horizon est :

$$TJMA_h = TJMA_0 \times (1 + \tau)^n$$

Avec :

TJMA_h : le trafic à l'année horizon.

TJMA₀ : le trafic à l'année de référence.

n : nombre d'année.

τ : taux d'accroissement du trafic (%).

II.1.5.3 Calcul du trafic effectif :

C'est le trafic traduit en unité de véhicules particuliers (UVP), en fonction de types de route et de l'environnement. Ainsi on utilise des coefficients d'équivalences pour convertir le PL (Poids Lourd) en (UVP).

Le trafic effectif est donné par la formule ci-dessous :

$$T_{eff} = [(1-Z) + P.Z] TJMA_h$$

Avec :

T_{eff} : trafic effectif à l'année horizon en UVP/j

Z : pourcentage de Poids lourd

P : coefficient d'équivalence pour le poids lourd, il dépend de la nature de la route.

Tableau II.1 : Coefficient d'équivalence

Routes	E1	E2	E3
2 voies	3	6	12
3 voies	2.5	5	10
4 voies et plus	2	4	8

II.1.5.4 Débit de pointe horaire normal :

Le débit de pointe horaire normal est une fraction du trafic effectif à l'horizon il est exprimé en unité de véhicule particulier (uvp) et donné par la formule :

$$Q = (1/n) \cdot T_{\text{eff}}$$

Avec :

Q : débit de pointe horaire

n : nombre d'heure, (en général n=8heures)

T_{eff} : trafic effectif.

II.1.5.5 Débit horaire admissible :

Le débit horaire maximal accepté par voie est déterminé par application de la formule :

$$Q_{\text{adm}} = K_1 \cdot K_2 \cdot C_{\text{th}}$$

Avec :

K₁ : Coefficient lié à l'environnement.

K₂ : Coefficient de réduction de capacité.

C_{th} : Capacité effective par voie.

Tableau II.2 : Valeurs du coefficient K₁

Environnement	E1	E2	E3
K₁	0.75	0.85	0.90 - 0.95

Tableau II.3 : Valeurs du coefficient K₂

Catégorie de la route					
Environnement	1	2	3	4	5
E1 : facile	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E2 : moyen	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
E3 : difficile	0.91	0.95	0.97	0.98	0.96

Tableau II.4 : Valeurs de la capacité théorique

Type de voies	Capacité théorique (UVP/h)
Route à 2 voies de 3.5m	1500 à 2000
Route à 3 voies de 3.5m	2400 à 3200
Route à chaussée séparé	1500 à 1800

II.1.5.6 Détermination du nombre de Voies :

- ✓ **Cas d'une chaussée bidirectionnelle** : on compare Q à Q_{adm} et on opte le profil auquel correspond la valeur de Q_{adm} la plus proche à Q .
- ✓ **Cas d'une chaussée unidirectionnelle** : le nombre de voie à retenir par chaussée est le nombre le plus proche du rapport :

$$S.Q/Q_{adm}$$

Avec :

Q_{adm} : débit admissible par voie

S : coefficient de dissymétrie, en général égale à $2/3$

II.1.6 Application au projet :

- **Données sur le trafic :**
 - ✓ Vitesse de référence : 80km/h
 - ✓ Le taux d'accroissement annuel du trafic = 4%
 - ✓ Le pourcentage du poids lourds PL = 50%
 - ✓ L'année de mise en service sera 2023
 - ✓ La durée de vie est de 20ans
 - ✓ Le trafic à l'année 2015 $TJMA_{2015} = 3331v/j$

Applications :

- ❖ **Calcul de TJMA de l'année de mise en service (2023) :**

$$\begin{aligned} \text{TJMA}_{2023} &= (1+\tau)^n \times \text{TJMA}_{2015} \\ &= (1+0.04)^8 \times 3331 \end{aligned}$$

$$\text{TJMA}_{2023} = 4559 \text{ v/j}$$

- ❖ **Calcul de TJMA de l'année horizon (2043) :**

$$\begin{aligned} \text{TJMA}_{2043} &= (1+\tau)^n \times \text{TJMA}_{2023} \\ &= (1+0.04)^{20} \times 4559 \end{aligned}$$

$$\text{TJMA}_{2043} = 9989 \text{ v/j}$$

- ❖ **Calcul du trafic effectif**

$$\text{T}_{\text{eff}} = (1-Z+PZ) \times \text{TJMA}_{2043}$$

Avec :

Z=50%

P=3PL/UVP (environnement facile et 2 voies)

$$\text{T}_{\text{eff}} = (1-0.5+3 \times 0.5) \times 9989 = 19978 \text{ UVP/j}$$

$$\text{T}_{\text{eff}} = 19978 \text{ UVP/j}$$

❖ **Débit de pointe horaire :**

$$Q = (1/n) \cdot T_{\text{eff}}$$

Avec :

n : nombre d'heure, (en général n=8heures)

$$T_{\text{eff}} = 19978 \text{ UVP/j}$$

$$Q = (1/8) \times 19978 = 2497 \text{ UVP/h}$$

$$Q = 2497 \text{ UVP/h}$$

❖ **Calcul du Débit admissible Q_{adm} :**

$$Q_{\text{adm}} = K_1 \times K_2 \times C_{\text{th}}$$

K_1 : Coefficient correcteur pris égal à **0.75** pour **E1**

K_2 : Coefficient correcteur pris égal à **1.00** pour environnement (**E1**) et catégorie (**C2**)

Avec : C_{th} (**UVP/h**) Capacité théorique

On est dans le cas d'une route à chaussées séparées :

La capacité d'une chaussée dans ce cas est : **1500 < C_{th} < 1800 uvp/h**

Si on prend $C_{\text{th}} = 1800$, le débit horaire admissible sera donc :

$$Q_{\text{adm}} = 0.75 \times 1.00 \times 1800 = 1350 \text{ UVP/h}$$

$$Q_{\text{adm}} = 1350 \text{ UVP/h}$$

❖ **Détermination du nombre de voies par sens :**

$$N = S \times (Q/Q_{adm})$$

Avec:

$$S = (2/3)$$

$$N = (2/3) \times (2497/1350) = 1.23 \approx 2$$

N = 2 voies/sens

II.2 PARAMETRES DE BASES D'UN PROJET DE ROUTE :

II.2.1 Classifications des routes :

L'infrastructure routière est un ouvrage important et tactique dans le développement économique d'un pays.

Les routes peuvent être classées de point de vue administratif selon la domanialité et de point de vue technique selon la vitesse de référence établie en fonction des conditions du terrain ou selon le trafic qu'elles supportent, elles peuvent aussi être classées suite à leurs fonctions ou selon les différentes contraintes environnementales.

Les principales classifications les plus utilisées sont : **la classification administrative et la classification technique.**

II.2.1.1 Classification administrative :

- **Les chemins communaux (C.C) :**

Les chemins communaux représentent l'ensemble des voies de circulation appartenant au domaine routier public. Ce type de voie est non seulement imprescriptible, mais aussi inaliénable. Ils permettent la liaison des villages au réseau principal des routes, ils peuvent s'étendre sur une seule commune et sont entretenus par une collectivité locale.

- **Les chemins de wilaya (C.W) :**

Les chemins de wilaya qui desservent uniquement une wilaya ou chemins départementaux qui relient les réseaux des routes communales au réseau national. Leurs constructions et leurs entretiens relevant de la responsabilité de la wilaya.

- **Les routes nationales (RN) :**

Elles représentent des voies de grandes circulations et d'intérêt commun pour le pays. Elles constituent des itinéraires inter-wilayas qui supportent un grand trafic et sont assurées par le budget de l'Etat.

- **Les Autoroutes :**

Elles sont des routes nationales mais de catégorie spéciale dont les caractéristiques sont les suivantes :

- ✓ Elles sont réservées à la circulation rapide ($V \geq 100\text{km/h}$).
- ✓ Elles sont accessibles en des points spécialement aménagés.
- ✓ Elles ne comportent aucun carrefour à niveaux, dont il existe deux types de carrefour à savoir : à niveau (giratoire) et dénivelée (Echangeur).

Les autoroutes ont en générale deux chaussées unidirectionnelles séparées par une terre pleine centrale ne comportant aucun passage ou carrefour à niveau. Elles permettent un grand trafic dans des conditions de circulation excellente.

II.2.1.2 Classification technique :

La norme **B40** (norme technique d'aménagement routier algérien) recommandent de satisfaire les objectifs tout en adoptant les infrastructures à l'évolution du trafic, compte tenu des contraintes budgétaire grâce à une politique réaliste d'aménagement progressif.

A. Classification des routes selon la B40 :

Les routes algériennes sont classées en cinq (5) catégories correspondant au finalité économique et administrative de l'itinéraire.

Catégorie 1 : Les liaisons entre les grands centres économiques et les centres d'industries lourdes considérés deux à deux et les liaisons de rabattement de centre d'industrie de transformation vers le réseau de base.

Catégorie 2 : Liaisons de pôles d'industrie de transformation entre eux et liaison de raccordement de pôles d'industrie légère diversifiées avec le réseau précédent.

Catégorie 3 : Liaisons des chefs-lieux de DAIRA et les chefs-lieux de wilaya non desservis par le réseau précédent avec le réseau de catégorie 1 et catégorie 2.

Catégorie 4 : Liaisons de tous les centres de voie qui ne sont pas reliés au réseau de catégorie 1, 2 et 3 avec les chefs-lieux de daïra, dont ils dépendent, et avec le réseau précédent.

Catégorie 5 : Routes et pistes non comprise dans les catégories précédentes.

B. Environnement de la route :

Trois classes d'environnement (E1, E2, E3) ont été proposées dans la norme **B40** sur les coûts d'aménagement et d'entretien. Les deux indicateurs adoptés pour caractériser chaque classe d'environnement sont :

- **Dénivelée cumulée moyenne au kilomètre** : $(\frac{H}{L})$
- **La sinuosité** : σ

B.1 Dénivelée cumulée moyenne :

C'est la somme des dénivelées cumulées le long de l'itinéraire existant rapportée à la longueur de cet itinéraire, permet de mesurer la variation longitudinale du relief (Figure II.1).

$$\text{Relief} = \frac{\sum Hi}{\sum Li} = \frac{\sum \text{dénivelées}}{\text{longueur développée}} = \frac{H}{L}$$

Le terrain peut être :

- Terrain plat $\frac{H}{L} \leq 1.5\%$;
- Terrain vallonné $1.5\% \leq \frac{H}{L} \leq 4\%$;
- Terrain montagneux $\frac{H}{L} \geq 4\%$.

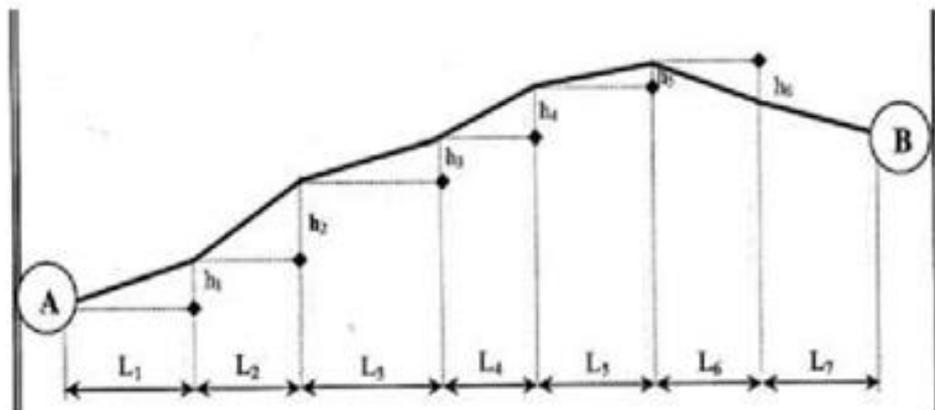


Figure II.1 : Dénivelée cumulée

B.2 Sinuosité :

La sinuosité σ d'un itinéraire est égale au rapport de la longueur sinueuse L_s sur la longueur totale de l'itinéraire.

$$\sigma = \frac{L_s}{L_t}$$

Avec :

L_s : longueur sinueuse,

L_t : longueur totale.

La longueur sinueuse L_s est la longueur cumulée des courbes de rayon en plan inférieur ou égale à 200 m (ce qui correspond au rayon minimum normal pour une vitesse d'environ 60 km/h) selon la norme **B40** (Figure II.2).

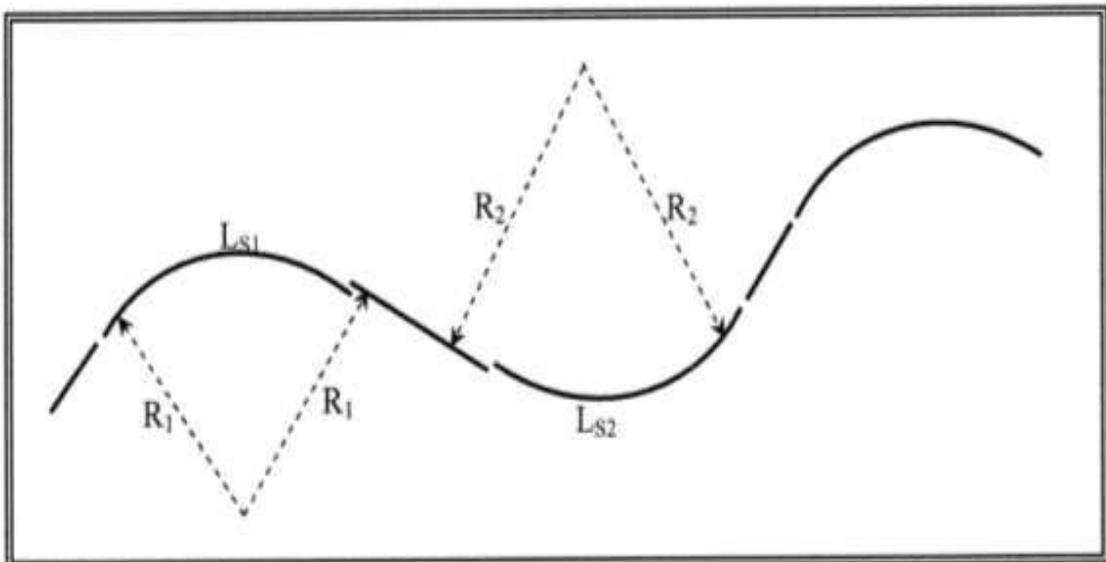


Figure II.2 : Définition de la sinuosité

Si :

$\sigma \leq 0,1 \rightarrow$ Sinuosité faible ;

$0,1 \leq \sigma \leq 0,3 \rightarrow$ Sinuosité moyenne ;

$\sigma \geq 0,3 \rightarrow$ Sinuosité forte.

En fonction des valeurs du relief et de sinuosité telle que défini ci-dessus, les classes d'environnement sont données par le tableau suivant :

Tableau II.5 : Environnement en fonction du relief et de la sinuosité

Relief \ Sinuosité	Sinuosité		
	Faible	Moyenne	Forte
Plat	E1	E2	
Vallonné	E2	E2	E3
Montagneux		E3	E3

II.2.1.3 Application au projet :

Dans notre tracé, nous avons utilisés des rayons supérieurs à 200m ce qui implique que notre sinuosité est égale à 0, **sinuosité faible**.

$$\text{Relief} = \frac{\text{Altitude max} - \text{altitude min}}{\text{Longueur totale}} = \frac{1319.354 - 1291.419}{4834.92} = 0.58\%$$

$$\frac{H}{L} = 0.58\% \leq 1.5\% \text{ Le terrain est donc plat}$$

Une **sinuosité faible** et un **terrain plat**, nous sommes donc en environnement **E1**.

II.2.2 Vitesse de référence :

Elle permet conventionnellement de définir les caractéristiques minimales d'aménagement des points particuliers d'une route.

Les points particuliers d'une route sont ceux de caractéristiques géométriques les plus contraignantes pour les usagers.

Le respect des conditions liés à cette vitesse permet de garantir l'homogénéité des caractéristiques d'une section de route et par la même le confort et la sécurité de la conduite.

En repérant la caractéristique minimale qu'offre la route en des points particuliers, la vitesse de référence domine le coût des travaux pour ce qui est du tracé.

Le choix des valeurs de la vitesse de référence au sein d'une catégorie sociaux économique donnée est un compromis entre les éléments suivants :

- **Le désir** de doter l’itinéraire des caractéristiques aussi large que possible, permettant à l’usager de circuler rapidement et dans d’excellente condition de confort et de sécurité c’est-à-dire lui conférant un niveau de service aussi satisfaisant que possible.
- **Le souci** de limiter l’investissement compte tenu des ressources du pays. Ainsi la détermination des valeurs pour la vitesse de référence ne peut donc résulter qu’un des calculs économiques comparant les avantages apportés aux usagers et les investissements consentis.

II.2.2.1 Choix des valeurs de la vitesse de référence :

En ce qui concerne le poids lourds la norme algérienne **B40** propose le choix d'une seule valeur de vitesse de référence par niveau de service, un croisement d'une catégorie sociaux économique et d'un type d'environnement tel que résume le tableau suivant :

Tableau II.6 : Vitesse de référence

	E1	E2	E3
1	120/100/80	100/80/60	80/60/40
2	120/100/80	100/80/60	80/60/40
3	120/100/80	100/80/60	80/60/40
4	100/80/60	80/60	60/40
5	80/60/40	60/40	40

II.2.3 Paramètre cinématique de la route :

Ce sont des paramètres relatifs à la considération du mouvement des véhicules, ces paramètres déterminent les distances nécessaires au tracé du projet.

1. Distance de freinage :

La distance de freinage **d₀** est la distance parcourue pendant l’action de freinage, le véhicule passe durant cette distance d’une vitesse **V** à une vitesse nulle (**V = 0**). Le résultat est exprimé par l'expression suivante :

$$d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{V^2}{f_l}$$

Dans le cas où le plan de freinage n'est pas horizontal, l'expression de d_0 s'écrit sous la forme :

$$d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{V^2}{f_l \pm \sin \alpha}$$

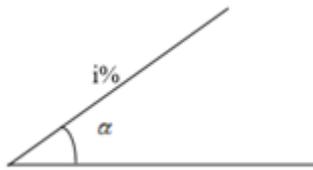


Figure II.3 : Distance de freinage

Si i exprime la tangente de α et puisque α est petit dans le cas des routes ($\sin \alpha = \tan \alpha \approx i$) on aura :

$$d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{V^2}{f_l \pm i}$$

Avec :

f_l : Coefficient de frottement longitudinal

V : Vitesse du véhicule **km/h**

d_0 : Distance de freinage en **m**

i : Déclivité de la route en %

α : Angle d'inclinaison

Remarque :

Le coefficient f_l varie avec l'état de pneus et l'état de la chaussée comme il peut varier avec la vitesse du véhicule.

Tableau II.7 : f_l en fonction de l'état de la chaussée et des pneus

État de la chaussée et des pneus	f_l
Chaussée sèche, pneus en bon état	0,8 à 0,9
Chaussée mouillée, pneus en bon état	0,6 à 0,8
Chaussée mouillée, pneus en moyen état	0,3 à 0,4
Chaussée mouillée, pneus usés	0,1 à 0,2
Verglas, boue, etc.	0,05 à 0,1

Tableau II.8 : Coefficient de frottement longitudinal en fonction de vitesse

V (km/h)	40	60	80	100	120	140
Catégories 1-2	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30
Catégories 3-4-5	0,49	0,46	0,43	0,40	0,36	

2. Temps perception réaction :

Le temps de perception- réaction est le temps nécessaire au conducteur pour prendre en toute situation les mesures nécessaires à sa sécurité ; sa durée est conditionnée par les caractéristiques du conducteur et du véhicule. Les temps de perception-réaction interviennent pour :

- Le freinage ;
- Le dépassement ;
- L'observation de la signalisation.

Selon les catégories et l'environnement dans **B40**, le temps perception-réaction est :

Catégories 1-2, Environnement (E1) et (E2) :

t = 1,8 s pour **V > 80 km/h**

t = 2 s pour **V ≤ 80 km/h**

Catégories 1-2, Environnement (E3) :

t = 1,8 s quelle que soit V

Catégories 3-4-5 :

t = 1,8 s pour **V > 60 km/h**

t = 2 s pour **V ≤ 60 km/h**

La moyenne de réaction est de **0,9 s** mais en pratique on prend toujours :

t = 2 s cas des vitesses (**V ≤ 100 km/h**) conducteur peu concentré

t = 1,8 s cas des vitesses (**V > 100 km/h**) conducteur concentré.

La distance de réaction d_{θ} :

C'est la distance parcourue pendant le temps de perception-réaction est donnée par :

$$d_{\theta} = V \times t$$

Avec :

d_{θ} : distance de réaction qui s'exprime en **m**

V : la vitesse qui s'exprime en **km/h**

t : temps de perception-réaction qui s'exprime en **s**

3. Distance d'arrêt :

C'est la distance minimum nécessaire pour stopper un véhicule se déplaçant à la vitesse de référence avant qu'il n'atteigne un objet placé dans sa trajectoire (Figure II.4).

Elle est calculée ou plutôt estimé en tenant compte de la somme des deux distances :

- La distance **d_{θ}** parcourue à partir du moment où l'objet a été aperçu jusqu'au moment où les freins entrent en actions.
- La distance **d_0** requise pour arrêter le véhicule après avoir mis en action le freinage.

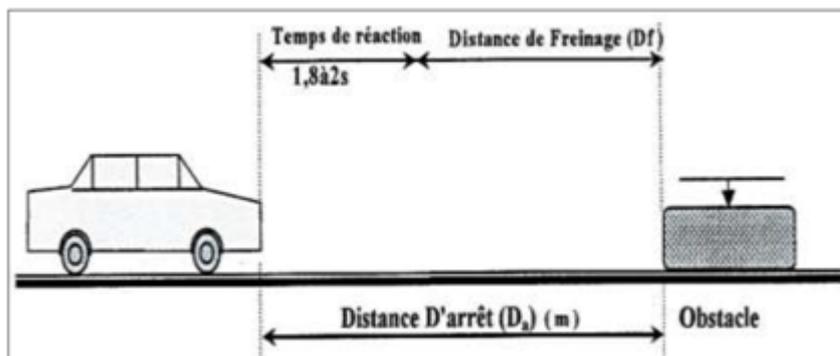


Figure II.4 : Distance d'arrêt

$$d_a = d_0 + d_\theta$$

d_a : La distance d'arrêt en **m**

d_0 : La distance de freinage en **m**

d_θ : La distance de réaction en **m**.

3.1 En alignement droit :

Pour $V \leq 100$ km/h et quand $t = 2$ s alors $d_a = d_0 + (0,55 \times V)$

Pour $V > 100$ km/h et quand $t = 1.8$ s alors $d_a = d_0 + (0,50 \times V)$

3.2 En courbe :

Dans les raccordements courbes, le freinage est moins énergique afin de ne pas perdre le contrôle de véhicule, la distance de freinage est majorée de 25%.

Pour $V \leq 100$ km/h et quand $t = 2$ s alors $d_a = 1,25 \times d_0 + (0,55 \times V)$

Pour $V > 100$ km/h et quand $t = 1.8$ s alors $d_a = 1,25 \times d_0 + (0,50 \times V)$

4. Distance de sécurité entre deux véhicules

La distance de sécurité **ds** est l'espacement entre les deux véhicules **A** et **B** pour que, si le premier s'arrête après avoir freiné au maximum le second puisse s'arrêter sans risque de collision théoriquement, les deux véhicules roulent à la même vitesse, doivent s'arrêter sur la même distance de freinage et dans le même temps.

L'espacement doit être égale au chemin parcouru par le véhicule **B** pendant le temps **t** de perception - réaction.

$$ds = (V \times t) + L$$

Avec :

L : Longueur moyenne des deux véhicules en **m**

t : Temps de perception-réaction en **s**

V : La vitesse en **km/h**

ds : La distance de sécurité en **m**

Le code de la route impose un signal arrière lumineux déclencher dès la mise en action des freins ce qui correspondant à la circulation en attention concentrée, $t = \frac{3}{4}$ s ; **L = 8m**

$$ds = \frac{V}{3.6} \times \frac{3}{4} + L = 0.2 \times V + L$$

$$ds \cong \frac{1}{5} \times V + 8 \rightarrow \text{La forme théorique}$$

Pratiquement la distance de sécurité (ds) est plus grande parce que lorsque le véhicule (**B**) voit s'allumer le stop de (**A**), il ne sait pas avec quelle intensité (**A**) va freiner et il hésite à freiner.

En se basant sur des expériences :

$$ds = 8 + 0.2 \times V + 0.003 \times V^2$$

Nous avons sur la (figure II.5) suivante la distance de sécurité entre deux véhicules

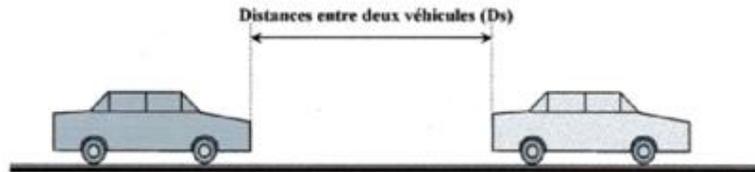


Figure II.5 : Distance de sécurité

5. Distance de dépassement :

C'est la distance pour laquelle, sur une route à deux voies un véhicule B circulant à la vitesse V_1 , ayant devant lui un véhicule A roulant à la vitesse V_2 dont il sait rapprocher au maximum, exécute la manœuvre de dépassement de B, y compris son retour sur la voie de droite. Pendant le temps de dépassement t_{dep} , le véhicule B va parcourir la distance de dépassement $d_{dep} = V_1 \times t_{dep}$, le véhicule A va parcourir une distance de $V_2 \times t_{dep}$. Il existe deux types des distances de visibilité :

- **Distance de visibilité de dépassement minimal D_m :**

Elle correspond à la longueur parcourue par le véhicule qui effectue une manœuvre de dépassement court. Une manœuvre de dépassement court dure de 7 à 8 secondes pour des véhicules disposant d'une réserve de puissance suffisante. La valeur D_m est calculer pour environ 15 secondes et est approximer par la relation suivante :

$$D_m(m) = 4 \times V_r(km/h) \rightarrow V_r \leq 90 \text{ km/h}$$

Pour $V_r = 140 \text{ km/h}$ il est proposé d'adopter :

$$D_m = 5V_r \text{ avec la possibilité d'interpolation linéaire pour } 90 < V_r < 140.$$

En retenant que la valeur de D_m sert au calcul du rayon en profil en long RV_m (Rayon verticalement).

- **Distance de visibilité de dépassement normal D_n :**

Elle correspond à la longueur parcourue durant une manœuvre de dépassement normal qui dure environ **10,8 secondes** pour des vitesses en dessous de **90km/h** et dont la durée croît linéairement au-delà de **90km/h** pour atteindre environ **12.8 secondes** à **140km/h**. L'ordre de grandeur du temps de manœuvre est de **(2 fois 11 à 12 secondes)** soit :

$$D_n = 6V_r \text{ pour } V_r \leq 90 \text{ km/h}$$

A 140km/h : $D_n = 7V_r$

On note ainsi une majoration de l'angle de **50%** par rapport à la distance de visibilité de dépassement normale **D_n** .

D'après la norme **B40** les distances sont données dans le tableau suivant :

Tableau II.9 : Distance de visibilité de dépassement normale et minimale

V (km/h)	40	60	80	100	120
D_n	250	350	500	625	800
D_m	150	250	325	425	550

✓ **Application au projet :**

$V=80\text{km/h}$

Donc :

$$D_n = 6 \times 80 = 480\text{m}$$

$$D_m = 4 \times 80 = 320\text{m}$$

Selon la B40 nous avons :

$$D_n = 500\text{m}$$

$$D_m = 325\text{m}$$

CHAPITRE III
ETUDE GEOMETRIQUE

CHAPITRE III : ETUDE GEOMETRIQUE

III.1 TRACE EN PLAN :

III.1.1 Définition :

Le tracé en plan d'une route est obtenu par projection de tous les points de cette route sur un plan horizontal. Il est constitué en général par une succession des alignements droits et des arcs reliés entre eux par des courbes de raccordement progressif.

Ce tracé est caractérisé par une vitesse de base à partir de laquelle on pourra déterminer les caractéristiques géométriques de la route.

Le tracé en plan d'une route doit permettre d'assurer de bonne sécurité et de confort.

III.1.2 Règles à respecter dans le Tracé en Plan :

- Appliquer les normes du **B40** si possible.
- Eviter de passer sur les terrains agricoles si possibles.
- Eviter les franchissements des oueds afin d'éviter le maximum de constructions des ouvrages d'art et cela pour des raisons économiques, si on n'a pas le choix on essaie de les franchir perpendiculairement.
- Adapter au maximum le terrain naturel.
- Utiliser des grands rayons si l'état du terrain le permet.
- Respecter la cote des plus hautes eaux.
- Respecter la pente maximum, et s'inscrire au maximum dans une même courbe de niveau.
- Respecter la longueur minimale des alignements droits si possible.
- Se raccorder sur les réseaux existants.
- S'inscrire dans le couloir choisi.
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques.
- Il est recommandé que les alignements représentent 60% au plus de la longueur totale du trajet.
- En présence des lignes électriques aérienne prévoir une hauteur minimale de 10m.
- Evité les longs alignements droits en respectant la condition $L_{\max} = 60 V_r$ avec V_r en m/s.
- Respecter la longueur minimale entre deux virages de sens contraire en respectant la condition $L_{\min} = 5 V_r$.

III.1.3. Les éléments du tracé en plan

Le tracé en plan est constitué par des alignements droits raccordés par des courbes, il est caractérisé par la vitesse de référence appelée aussi vitesse de base qui permet de définir les caractéristiques géométriques nécessaires à tout aménagement routier (Figure III.1).

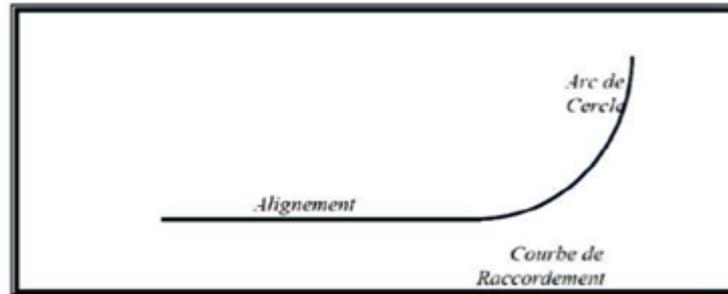


Figure III.1 : Les éléments du Tracé en Plan

Le raccordement entre les alignements droits et les courbes entre elles d'autre part, elle se fait à l'aide de Clothoïdes qui assurent un raccordement progressif par nécessité de sécurité et de confort des usagers de la route.

Un tracé en plan moderne est constitué de trois éléments :

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

III.1.3.1 Les Alignements droits :

Bien qu'en principe la droite soit l'élément géométrique le plus simple, son emploi dans le tracé des routes est restreint. La cause en est qu'il présente des inconvénients, notamment :

- ✓ De nuit, éblouissement prolongé des phares.
- ✓ Monotonie de conduite qui peut engendrer des accidents.
- ✓ Appréciation difficile des distances entre véhicules éloignés.
- ✓ Mauvaise adaptation de la route au paysage.

Il existe toutefois des cas où l'emploi d'alignement se justifie :

- ✓ En plaine ou, des sinuosités ne seraient absolument pas motivées.
- ✓ Dans des vallées étroites.
- ✓ Pour donner la possibilité de dépassement.

Donc la longueur des alignements dépend de :

- ✓ La vitesse de base, plus précisément de la durée du parcours rectiligne.
- ✓ Des sinuosités précédentes et suivant l'alignement.
- ✓ Du rayon de courbure de ces sinuosités.

Règles concernant la longueur des alignements :

Une longueur minimale d'alignement L_{\min} devra séparer deux courbes circulaires de même sens, cette longueur sera prise égale à la distance parcourue pendant **cinq (5) secondes** à la vitesse maximale permise par le plus grand rayon de deux arcs de cercle.

La longueur minimale est :

$$L_{\min} = 5 \times V$$

Avec :

L_{\min} : la longueur minimale est en **m**

V : la vitesse de base est en **m/s**

Une longueur maximale L_{\max} est prise égale à la distance parcourue pendant **soixante (60) secondes**.

La longueur maximale est :

$$L_{\max} = 60 \times V$$

Avec :

L_{\max} : la longueur maximale est en **m**

V : la vitesse de base est en **m/s**

III.1.3.2 Arc de Cercle :

Trois éléments interviennent pour limiter les courbures :

- ✓ Stabilité, sous la sollicitation centrifuge des véhicules circulant à grande vitesse.
- ✓ Visibilité en courbe.
- ✓ Inscription des véhicules longs dans les courbes de rayon faible.

Pour cela on essaie de choisir des rayons les plus grands possibles pour éviter de descendre en dessous du rayon minimum préconisé.

Stabilité en Courbe :

Dans un virage 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 (Figure III.2).

Les rayons en plans dépendent des facteurs suivants :

- ✓ Force centrifuge **F_c**.
- ✓ Poids de véhicule **P**.
- ✓ Accélération de la pesanteur **G**
- ✓ Devers **d**.

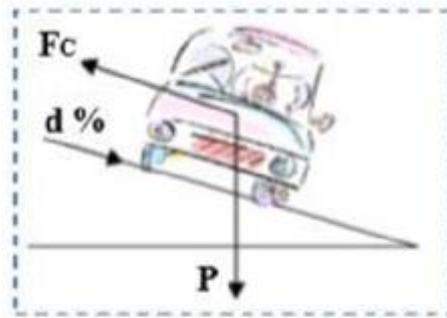


Figure III.2 : Stabilité en Courbe

L'équilibre des forces agissant sur le véhicule nous amène à la conclusion suivante :

$$R \geq \frac{Vr^2}{127 \times (ft + d)}$$

V_r : la vitesse de référence en **m/s**

f_t : coefficient de frottement

R : rayon en plan en **m**

d : dévers en (%).

a) Rayon horizontal minimal absolu (R_{Hm}) :

C'est le rayon qui assure la stabilité des véhicules à la vitesse de référence lorsqu'il est associé au dévers maximal. Ce rayon est employé généralement dans les conditions les plus difficiles (régions montagneuses).

$$R_{Hm} = \frac{V_r^2}{127 \times (f_t + d_{max})}$$

R_{Hm} : Rayon horizontal minimal absolu en **m**

f_t : coefficient de frottement transversal

V_r : vitesse de référence en **km/h**

d_{max} : dévers maximal en (%)

On a :

$d_{max} = 7\%$ **catégories 1-2**

$d_{max} = 8\%$ **catégories 3-4**

$d_{max} = 9\%$ **catégorie 5**

Nous avons sur le tableau III.1 la variation du Coefficient de frottement transversal en fonction de la vitesse et des catégories :

Tableau III.1 : Coefficient de frottement transversal

V_r (km/h)	40	60	80	100	120	140
Catégories 1-2	0,20	0,16	0,13	0,11	0,10	0,09
Catégories 3-4-5	0,22	0,18	0,15	0,125	0,11	

b) Rayon minimal normal (R_{HN}) :

Le rayon minimal normal doit permettre à des véhicules dépassant V_r de **20km/h** de rouler en sécurité.

$$R_{HN} = \frac{(V_r + 20)^2}{127 \times (f_t + d_{max})}$$

c) Rayon au dévers minimal (R_{Hd}) :

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

Dévers associé $d_{min} = 2.5\%$ en catégorie 1 – 2

$d_{min} = 3\%$ en catégorie 3 – 4

$$R_{Hd} = \frac{V_r^2}{127 \times 2 \times d_{min}}$$

d) Rayon minimal non déversé (R_{Hnd}) :

C'est le rayon non déversé telle que l'accélération centrifuge résiduelle acceptée pour un véhicule parcourant à la vitesse V_r une courbe de devers égal à d_{min} vers l'extérieur reste inférieur à valeur limitée.

$$R_{Hnd} = \frac{V^2}{127 \times (f'' - d_{min})}$$

Avec :

$$f'' = 0.06 \text{ cat 1 et 2}$$

$$f'' = 0.07 \text{ cat 3 et 4 E1}$$

$$f'' = 0.075 \text{ cat 4 -5 E2 E3}$$

En ce qui concerne notre projet de dédoublement situé dans l'environnement **E1**, et classé dans la catégorie **C2** avec une vitesse de référence de **80km/h**, la **B40** recommande les rayons suivants :

Tableau III.2 : Rayons en plan et dévers associés

Paramètres	Symboles	Valeurs
Rayon minimal absolu (m)	RHm (7%)	250
Rayon minimal normal (m)	RHn (5%)	450
Rayon au dévers minimal (m)	RHd (2.5%)	1000
Rayon minimal non déversé (m)	RHnd (-2.5%)	1400

e) Visibilité masquée dans une sinuosité

Un virage d'une route peut être masqué de côté intérieur de la courbe par le talus du déblai si la route est en tranchée, par une construction ou un forêt, pour assurer une visibilité étendue au conducteur d'un véhicule il va falloir reculer le talus ou abattre les obstacles sur une certaine largeur à déterminer.

$$S = \frac{L^2}{2 \times R}$$

Avec :

L : longueur du véhicule (valeur moyenne $L = 10$ m) ;

R : rayon de l'axe de la route ;

S : Sur largeur théorique.

III.1.3.3 Courbe de raccordement progressif :

Le raccordement d'un alignement droit à une courbe circulaire doit être fait par des courbures progressives permettant l'introduction du devers et la condition du confort et de sécurité.

La courbe de raccordement la plus utilisée est la **Clothoïde** grâce à ses particularités, c'est-à-dire pour son accroissement linéaire des courbures. Elle assure à la voie un aspect satisfaisant en particulier dans les zones de variation du devers (condition de gauchissement) et assure l'introduction de devers et de la courbure de façon à respecter les conditions de stabilité et de confort dynamique qui sont limitées par unité de temps de variation de la sollicitation transversale des véhicules.

➤ Rôle et nécessité des courbes de raccordement :

L'emploi des courbes de raccordement se justifie par les quatre conditions suivantes :

- ✓ Stabilité transversale du véhicule.
- ✓ Confort des passagers du véhicule.

- ✓ Transition de la forme de la chaussée.
- ✓ Tracé élégant, souple, fluide, optiquement et esthétiquement satisfaisant.
- **Types de Courbe de Raccordement :**

Parmi les courbes mathématiques connues qui satisfont à la condition désirée d'une variation continue de la courbure, nous pouvons citer les trois courbes suivantes :

- ✓ Parabole cubique
- ✓ Lemniscate
- ✓ Clothoïde

a. Parabole cubique :

Cette courbe est d'un emploi très limité vu le maximum de sa courbure vite atteint (utilisée dans les tracés de chemin de fer).

b. Lemniscate :

Cette courbe utilisée pour certains problèmes de tracés de routes « trèfle d'autoroute » sa courbure est proportionnelle à la longueur de rayon vecteur mesuré à partir du point d'inflexion.

c. Clothoïde :

La Clothoïde est une spirale, dont le rayon de courbure décroît d'une façon continue dès l'origine où il est infini jusqu'au point asymptotique où il est nul (Figure III.3).

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.

L'expression de la Clothoïde est :

$$A^2 = R \times L$$

Avec :

- A** : la Clothoïde en **m** ;
- R** : rayon de raccordement en **m** ;
- L** : la longueur en **m**.

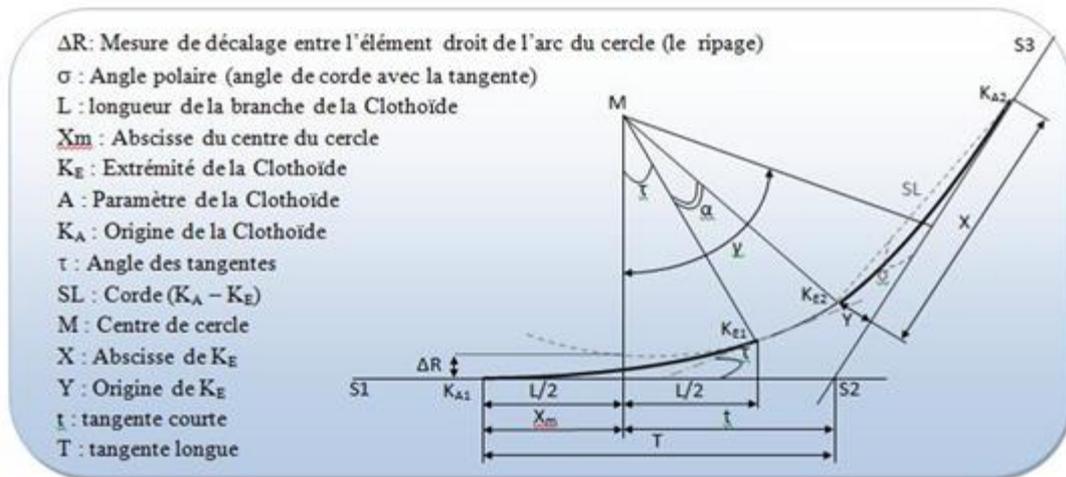


Figure III.3 : Les éléments de la clothoïde

Les conditions de raccordement :

La longueur de raccordement progressif doit être suffisante pour assurer les conditions suivantes :

➤ **Condition optique :**

C'est une condition qui permet d'assurer à l'utilisateur une vue satisfaisante de la route et de ses obstacles éventuels.

L'orientation de la tangente doit être supérieure à 3° pour être perceptible à l'œil.

$$\tau \geq 3^\circ \text{ soit } \tau \geq \frac{1}{18} \text{ rad.}$$

$$\tau = \frac{L}{2 \times R} > \frac{1}{18} \text{ rad} \Rightarrow L \geq \frac{R}{9} \text{ Soit } A \geq \frac{R}{3}.$$

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R.$$

Règles générales (B40) :

Pour $R < 1500\text{m} \Rightarrow \Delta R = 1\text{m}$ (éventuellement 0.5m) d'où $L = \sqrt{24R\Delta R}$

Pour $1500 < R < 5000\text{m}$ $\tau = 3^\circ$ c'est-à-dire $L = R/9$

Pour $R > 5000\text{m} \Rightarrow \Delta R$ Limité à 2,5m soit $L = 7,75\sqrt{R}$.

➤ **Condition de confort dynamique :**

Cette condition consiste à limiter le temps de parcours d'un raccordement et la variation par unité de temps de l'accélération transversale d'un véhicule. La variation de l'accélération transversale est : $(\frac{V^2}{R} - g \times \Delta d)$ Ce dernier est limité à une fraction de l'accélération de pesanteur $K_g = \frac{g}{0,2 \times V}$

Avec une gravitation $g = 9.8\text{m/s}$ on opte :

$$L \geq \frac{V_r^2}{18} \left(\frac{V_r^2}{127 \times R} - \Delta d \right)$$

V_r : vitesse de base (de référence) en **Km/h**.

R : le rayon en **m**.

Δd : la variation de divers (**Δd = d_{final} - d_{initial}**) en **%**.

➤ **Condition de gauchissement :**

Cette condition a pour objet d'assurer à la voie un aspect satisfaisant en particulier dans les zones de variation de devers, elle s'applique par rapport à son axe.

$$L \geq \frac{(l \times \Delta d \times V_r)}{50}$$

L : longueur de raccordement.

l : distance axe de rotation –bord de chaussée.

d : variation de dévers en **%**.

V_r : vitesse de référence **km/h**.

NB : La vérification des deux conditions relatives au gauchissement et au confort dynamique, peut se faire à l'aide d'une seule condition qui sert à limiter pendant le temps de parcours du raccordement, la variation par unité de temps, du dévers de la demie -chaussée extérieure au virage.

Cette variation est limitée à **2%**.

$$L \geq \frac{5 \times \Delta d \times V_r}{36}$$

III.1.4 Combinaison des éléments du tracé en plan :

La combinaison des éléments de tracé en plan donne plusieurs types de courbes, on cite :

➤ **Courbe en S :**

C'est une courbe constituée de deux arcs de clothoïde, de concavité opposée tangente en leur point de courbure nul et raccordant de deux arcs de cercle (Figure III.4).

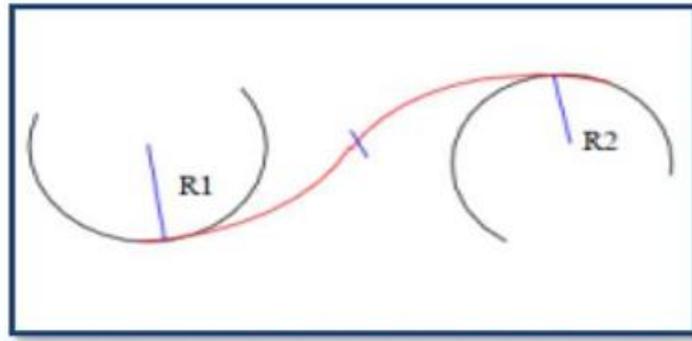


Figure III.4 : Courbe en S

➤ **Courbe à sommet :**

C'est une courbe constituée de deux arcs de clothoïde de même concavité, tangents à un point de même courbure et raccordant deux alignements (Figure III.5).

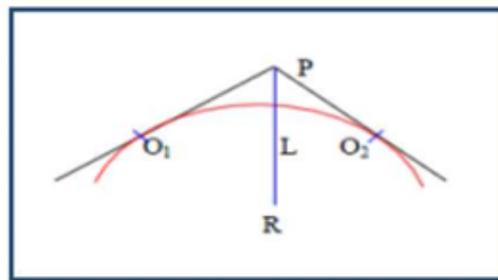


Figure III.5 : Courbe à sommet

➤ **Courbe ovale :**

C'est une courbe formée par un arc de clothoïde raccordant deux arcs de cercle dont l'un est intérieur à l'autre, sans lui être concentrique (Figure III.6).

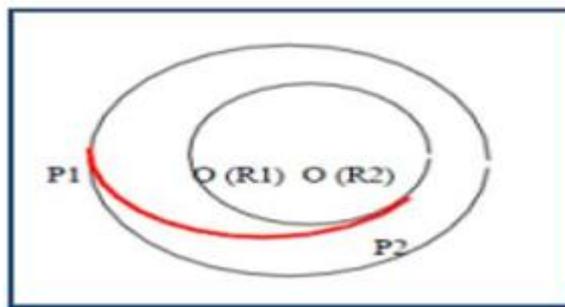


Figure III.6: Courbe ovale

➤ **Courbe en C:**

Une courbe constituée de deux arcs clothoïde, de même concavité, tangents en un point de même courbure et raccordant deux arcs de cercles sécants ou extérieurs l'un à l'autre.

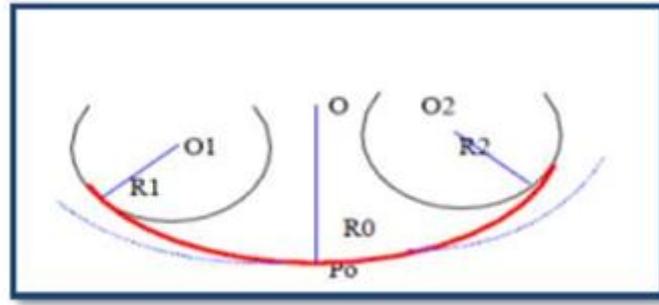


Figure III.7 : Courbe en C

III.1.5 Notion de devers :

Le devers est par définition la pente transversale de la chaussée, il permet l'évacuation des eaux pluviales pour les alignements droits et assure la stabilité des véhicules en courbe.

La pente transversale choisie résulte d'un compromis entre la limitation de l'instabilité des véhicules lorsqu'ils passent d'un versant à l'autre et la recherche d'un écoulement rapide des eaux de pluies.

a. Devers en alignement :

En alignement le devers est destiné à assurer l'évacuation rapide des eaux superficielles de la chaussée. Il est pris égal à : **dmin = 2.5%**

b. Devers en courbe:

En courbe il permet de :

- ✓ Assurer un bon écoulement des eaux superficielles.
- ✓ Compenser une fraction de la force centrifuge et assurer la stabilité dynamique des véhicules.
- ✓ Améliorer le guidage optique.

c. Rayon de courbure :

Pour assurer une stabilité du véhicule et réduire l'effet de la force centrifuge, on est obligé d'incliner la chaussée transversalement vers l'intérieur d'une pente dite devers, exprimée par sa tangente ; d'où le rayon de courbure.

d. Calcul des devers :

Dans les alignements droits et dans les courbes de **$R \geq RHnd$** le devers est égal à **2.5%** et pour les courbes de rayon **$R < RHnd$** un calcul de devers peut être fait par l'interpolation en « **1/R** ».

RHm < R < RHn on a :

$$\frac{d(R) - d(RHm)}{\frac{1}{R} - \frac{1}{RHm}} = \frac{d(RHm) - d(RHn)}{\frac{1}{RHm} - \frac{1}{RHn}}$$

RHn < R < RHd on a :

$$\frac{d(R) - d(RHd)}{\frac{1}{R} - \frac{1}{RHd}} = \frac{d(RHn) - d(RHd)}{\frac{1}{RHn} - \frac{1}{RHd}}$$

Les rayons compris entre **RHd** et **RHnd** sont au devers minimal mais des rayons supérieurs à RHnd peuvent être déversés s'il n'en résulte aucune dépense notable et notamment aucune perturbation sur le plan de drainage.

e. Raccordement de devers :

En alignement droit les devers sont de type unique et ont des valeurs constantes (**2.5%**), en courbe ils ont des valeurs supérieures (**de 3 à 7%**). Le raccordement des alignements droits aux courbes se fait par des Clothoïdes :

- ✓ Dans le cas où les devers sont de même sens le raccordement sera progressif à partir du début de la Clothoïde jusqu'au début de l'arc de cercle.
- ✓ Dans le cas où les devers sont opposés, le problème se pose pour passer du devers d'alignement en général à une distance **Dmin**.

$$D_{min} = \frac{5}{36} Vr \times \Delta d \text{ Appelée longueur de gauchissement}$$

- ✓ Pour les courbes en S, il est souhaitable de prendre le devers nul au point d'inflexion.
- ✓ Pour les courbes de raccordement de devers entre deux courbes de même sens le devers peut être unique et peut être conservé.

III.1.6 Particularité de conception du dédoublement :

L'approche d'étude de dédoublement est différente des études en site vierge et différente également des études de renforcement et réhabilitation, pour cela l'approche suivante a été adoptée :

- Elargir autant que possible d'un côté, cette démarche permet de réduire les coûts de projet, sauvegarder et préserver la chaussée existante, aussi pour l'assainissement, elle permet d'exécuter les travaux sans porter de gêne aux usagers (maintien de la circulation).

- L'emploi des rayons supérieurs ou égaux à RHnd est souhaitable, dans la mesure où cela n'induit pas de surcoût sensible, afin d'améliorer le confort et faciliter le respect des règles de visibilité.
- Néanmoins à ces avantages, des inconvénients sont à prendre en compte notamment en ce qui concerne, comment coller au maximum la chaussée nouvelle à l'ancienne tout en respectant la largeur minimale de TPC.
- Comment adopter l'axe nouveau à l'ancien sachant que ce dernier peut ne pas être conforme aux normes techniques B40.

III.1.7 La conception du tracé en plan (Application au projet) :

Le tracé est projeté parallèlement à droite de la chaussée en allant vers Tiaret à cause de la contrainte fixe (**la fibre optique**), séparé par un **T.P.C** avec rectification des points noirs. Sauf pour quelques sections, l'axe a été projeté à gauche de la chaussée existante tout en évitant les contraintes du terrain.

Nous avons un extrait du tracé en plan dans la figure suivante :

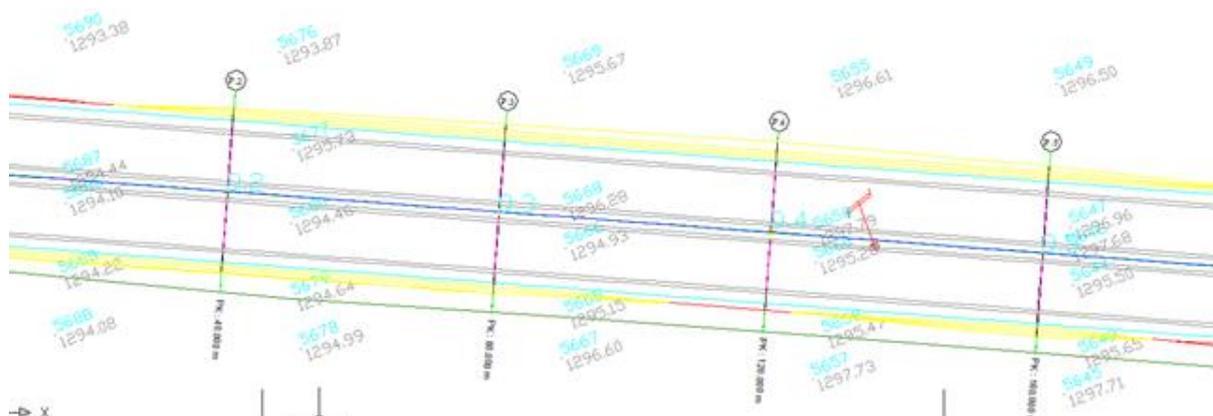


Figure III.8 : Extrait du tracé en plan

III.2. PROFIL EN LONG :

III.2.1. Définition :

Le profil en long est une coupe verticale passant par l'axe de la route, développé et représenté sur un plan à une échelle. Ou bien c'est une élévation verticale dans le sens de l'axe de la route de l'ensemble des points constituant celui-ci.

C'est en général une succession d'alignement droit (rampes et pentes) raccordés par des courbes circulaires.

Pour chaque point du profil en long on doit déterminer :

- ✓ L'altitude du terrain naturelle
- ✓ L'altitude du projet

- ✓ La déclivité du projet ... etc.

III.2.2. Règles à respecter dans le tracé du profil en long :

Respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par le règlement en vigueur :

- ✓ Eviter les angles entrants en déblai, car il faut éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulement.
- ✓ Un profil en long en léger remblai est préférable à un profil en long en léger déblai, qui complique l'évacuation des eaux et isole la route du paysage.
- ✓ Pour assurer un bon écoulement des eaux. On placera les zones des devers nuls dans une pente du profil en long.
- ✓ Rechercher un équilibre entre les volumes des remblais et les volumes des déblais dans la partie de tracé neuve.
- ✓ Eviter une hauteur excessive en remblai.
- ✓ Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long, la combinaison des alignements et des courbes en profil en long doit obéir à des certaines règles notamment.
- ✓ Eviter les lignes brisées constituées par de nombreux segments de pentes voisines, les remplacer par un cercle unique, ou une combinaison des cercles et arcs à courbures progressives de très grand rayon.
- ✓ Remplacer deux cercles voisins de même sens par un cercle unique.
- ✓ Adapter le profil en long aux grandes lignes du paysage.
- ✓ Limité la déclivité pour une catégorie donnée ($i \leq i_{max}$).

III.2.3 Coordination du tracé en plan et du profil en long :

Il est très nécessaire de veiller à la bonne coordination du tracé en plan et du profil en long en tenant compte également de l'implantation des points d'échange afin :

- ✓ D'avoir une vue satisfaisante de la route en sus des conditions de visibilité minimale.
- ✓ De prévoir de loin l'évolution du tracé.
- ✓ De distinguer clairement les dispositions des points singuliers (carrefours, échangeurs...etc.).

Pour éviter les défauts résultants d'une mauvaise coordination tracée en plan et profil en long, les règles suivantes sont à suivre :

- ✓ Si le profil en long est convexe, augmenter le ripage du raccordement en introduisant une courbe en plan.

- ✓ Avant un point haut, amorcer la courbe en plan.
- ✓ Lorsque le tracé en plan et le profil en long sont simultanément en courbe :
Faire coïncider le plus possible les raccordements du tracé en plan et celle du profil en long (porter les rayons de raccordement vertical à **6 fois** au moins le rayon en plan).

III.2.4. Déclivités

La construction du profil en long doit tenir compte de plusieurs contraintes. La pente doit être limitée pour des raisons de sécurité (freinage en descente !) et de confort (puissance des véhicules en rampe).

On appelle d'une route déclivité la tangente de l'angle que fait le profil en long avec l'horizontal. Elle prend le nom de pente pour les descentes et rampe pour les montées.

III.2.4.1. Déclivité minimum

Dans un terrain plat on n'emploie normalement jamais de pente nulle de façon à ce que l'écoulement des eaux pluviales s'effectue facilement au long de la route au bord de la chaussée.

On adopte en général les pentes longitudinales minimales suivantes :

- ✓ Au moins **0,5%** et de préférences **1 %**, si possible.
- ✓ **$i_{min} = 0,5 \%$** dans les longues sections en déblai : pour que l'ouvrage d'évacuation des eaux ne soit pas trop profondément.
- ✓ **$i_{min} = 0,5 \%$** dans les sections en remblai prévues avec des descentes d'eau.

III.2.4.2. Déclivité maximum :

La déclivité maximale est acceptée particulièrement dans les courtes distances inférieures à **1500m**, à cause de :

- ✓ La réduction de la vitesse et l'augmentation des dépenses de circulation par la suite (Cas de rampe Max).
- ✓ L'effort de freinage des poids lourds est très important qui fait l'usure de pneumatique (Cas de pente max.).

Donc, La déclivité maximale dépend de :

- ✓ Condition d'adhérence.
- ✓ Vitesse minimum de PL.
- ✓ Condition économique.

Selon la B40 nous avons dans le tableau suivant la déclivité maximum en fonction des vitesses :

Tableau III.3 : Déclivité maximum

V_r (km/h)	40	60	80	100	120	140
I_{max} (%)	8	7	6	5	4	4

Pour notre projet, la vitesse de référence **V_r = 80km/h**

donc la pente **I_{max} = 6%**.

III.2.5 Raccordements en profil en long :

Les changements de déclivités constituent des points particuliers dans le profil en long; ce changement doit être adouci par l'aménagement de raccordement circulaire qui y doit satisfaire les conditions de visibilité et de confort, on distingue deux types raccordements:

III.2.5.1. Raccordements Convexes (Angle Saillant) :

Les rayons minimums admissibles des raccordements paraboliques en angles saillants sont déterminés à partir de la connaissance de la position de l'œil humain et des obstacles d'une part, des distances d'arrêt et de visibilité d'autre part.

a) Condition de confort :

Elle consiste à limiter l'accélération verticale à laquelle le véhicule sera soumis lorsque le profil en long comporte une forte courbure convexe.

Limitation de l'accélération verticale :

$$\frac{g}{40} : \text{Pour catégories 1-2} \Rightarrow \frac{V_r^2}{R_v} \leq \frac{g}{40}$$

$$\frac{g}{30} : \text{Pour catégories 3-4-5}$$

Pour **g = 10 m/s** :

$$R_{Vmin} = 0,3 \times V_r^2 \quad \text{pour cat (1-2)}$$

$$R_{Vmin} = 0,23 \times V_r^2 \quad \text{pour cat (3-4-5)}$$

Dans notre cas : **R_{Vmin} = 0.3 × V_r²**

Avec :

R_{Vmin} : rayon vertical (m).

V_r : vitesse de référence (km/h)

b) Condition de visibilité :

Elle intervient seulement dans les raccords des points hauts comme conditions supplémentaires à celle de confort (Figure III.9).

Il faut que deux véhicules circulent en sens opposés puissent s'apercevoir à une distance double de la distance d'arrêt au minimum.

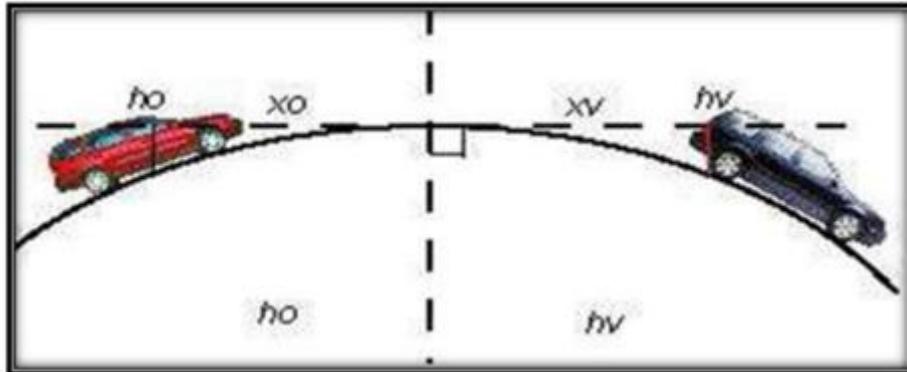


Figure III.9 : Visibilité au sommet

Le rayon de raccordement est donné par l'expression :

$$R_v = \frac{(D1)^2}{2(h_0 + h_1 + 2 \times \sqrt{h_0 h_1})}$$

Avec :

$D1$: distance d'arrêt en m

h_0 : hauteur de l'œil en m

h_1 : hauteur de l'obstacle en m.

Dans le cas d'une route bidirectionnelle : $h_0 = 1.1 \text{ m}$, $h_1 = 0.15 \text{ m}$

$$R_v = 0.24(D1)^2$$

III.2.5.2. Raccords Concaves (Angle Rentrant) :

Dans le cas de raccordement dans les points bas, la visibilité du jour n'est pas déterminante, plutôt c'est pendant la nuit qu'on doit s'assurer que les phares du véhicule devront éclairer un tronçon suffisamment long pour que le conducteur puisse percevoir un obstacle, la visibilité est assurée pour un rayon satisfaisant la relation :

$$R_v' = \frac{(d1)^2}{(1,5+0,035d1)}$$

Avec :

d1 : distance d'arrêt en m

➤ **Condition esthétique :**

Il faut éviter de donner au profil en long une allure sinusoïdale en changeant le sens de déclivité sur des distances courtes, pour éviter cet effet on imposera une longueur de raccordement minimale (**L > 50**) pour dévers **d < 10 %** (spécial échangeur).

$$RV_{\min} = 100 \times \frac{50}{\Delta d (\%)}$$

Avec :

Δd : changement de dévers

RVmin : rayon verticale minimale

III.2.6. Application au projet :

Caractéristiques des rayons en long :

Pour notre projet, les paramètres géométriques concernant le tracé de la ligne rouge sont donnés par le tableau III.4 et la Figure III.10 suivants (selon la B40) :

Tableau III.4 : Caractéristiques des rayons verticaux

Catégorie		C2
Environnement		E1
Vitesse (km/h)		80
Rayon en angle saillant  RV	Route bidirectionnelles (2×2voies)	
	RVm2 (minimal absolu) en m	4500
	RVN2 (minimal normal) en m	10000
Rayon en angle rentrant  RV	Route bidirectionnelles (2×2voies)	
	RVm2 (minimal absolu) en m	2400
	RVN2 (minimal normal) en m	3000
Déclivité maximale I_{max} (%)		6

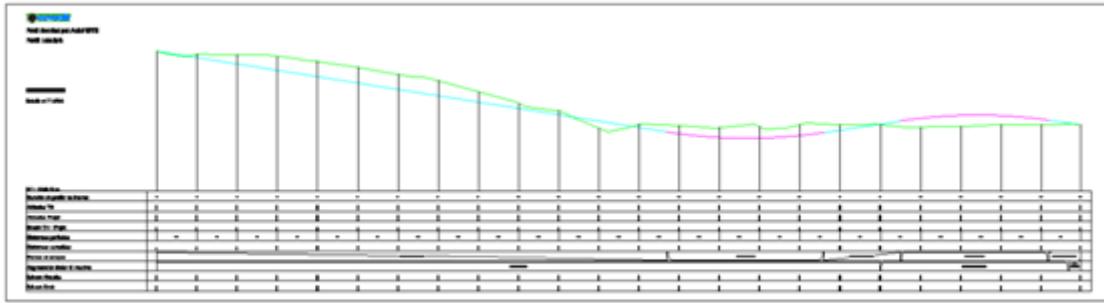


Figure III.10 : Extrait du Profil en long

III.3. PROFIL EN TRAVERS :

III.3.1. Définition :

Le profil en travers d'une chaussée est une coupe perpendiculaire à l'axe de la route de l'ensemble des points définissant sa surface sur un plan vertical.

Un projet routier comporte le dessin d'un grand nombre de profils en travers, pour éviter de rapporter sur chacun de leurs dimensions, on établit tout d'abord un profil unique appelé « Profil en travers » contenant toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs des voies, chaussées et autres bandes, pentes des surfaces et talus, dimensions des couches de la superstructure, système d'évacuation des eaux etc....).

III.3.2. Différents types de profil en travers

Dans une étude d'un projet de route l'ingénieur doit dessiner deux types de profil en travers :

III.3.2.1 Profil en travers type :

Il contient tous les éléments constructifs de la future route dans toutes les situations (en remblai, en déblai, en alignement et en courbe).

III.3.2.2 Profil en travers courants :

Ce sont des profils dessinés à des distances régulières qui dépendent du terrain naturel (Accidenté ou plat).

III.3.3 Les éléments de composition du profil en travers :

Le profil en travers doit être constitué par les éléments suivants (Figure III.11) :

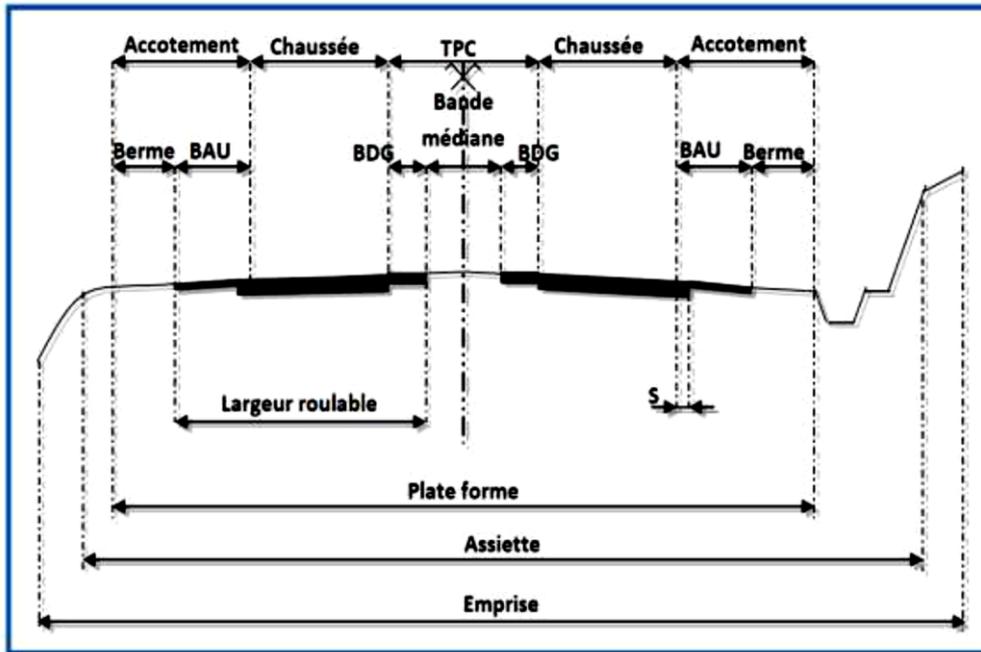


Figure III.11 : Les éléments constitutifs du profil en travers

T.P.C : Terre-Plein Central

B.A.U : Bande d'Arrêt d'Urgence

B.D.G : Bande Dérasée de Gauche.

a) La chaussée :

C'est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent normalement les véhicules. La route peut être à chaussée unique ou à chaussée séparée par un terre-plein central.

b) La largeur roulable :

Elle comprend les surlargeurs de chaussée, la chaussée et bande d'arrêt. Sur largeur structurelle de chaussée supportant le marquage de rive.

c) La plate-forme :

C'est la surface de la route située entre les fossés ou les crêtes de talus de remblais, comprenant la ou les deux chaussées et les accotements, éventuellement les terre-pleins et les bandes d'arrêts.

d) Assiette :

Surface de terrain réellement occupé par la route, ses limites sont les pieds de talus en remblai et crête de talus en déblai.

e) L'emprise :

C'est la surface du terrain naturel appartenant à la collectivité et affectée à la route et à ses dépendances elle coïncide généralement avec le domaine public.

f) Les accotements :

Les accotements sont les zones latérales de la plateforme qui bordent extérieurement la chaussée, ils peuvent être dérasés ou surélevés. Ils comportent généralement les éléments suivants : une bande de guidage, une bande d'arrêt, une berme extérieure.

g) Le terre-plein central :

Il s'étend entre les limites géométriques intérieures des chaussées. Il comprend : Les sur largeurs de chaussée (bande de guidage). Une partie centrale engazonnée, stabilisée ou revêtue.

h) Le fossé :

C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la route et talus et les eaux de pluie.

i) Bande dérasée de gauche (B.D.G) :

Elle est destinée à permettre de légers écarts de trajectoire et à éviter un effet de paroi lié aux barrières de sécurité. Elle contribue dans les courbes à gauche au respect des règles de visibilité.

Elle est dégagée de tout obstacle, revêtue et se raccorde à la chaussée sans dénivellation. Sa largeur est de 1,00 m.

j) Bande médiane :

Elle sert à séparer physiquement les deux sens de circulation, à implanter certains Équipements (barrières de sécurité, supports de signalisation, ouvrages de collecte et d'évacuation des eaux) et, le cas échéant, des piles d'ouvrages et des aménagements paysagers.

Sa largeur dépend pour le minimum des éléments qui y sont implantés Si elle est inférieure ou égale à 3 m, elle est stabilisée et revêtue pour en faciliter l'entretien. Sinon, elle peut être engazonnée et plantée d'arbustes, à moins que sa largeur et la Topographie du site ne permettent la conservation du terrain naturel et de la végétation existante ; dans ce cas une berme de 1,00 m est maintenue en bordure de la B.D.G.

k) Trottoirs :

Les trottoirs sont des accotements spécialement aménagés pour la circulation permanente des Piétons, ils sont généralement séparés de la chaussée par une bordure surélevée.

l) La bande d'arrêt d'urgence (B.A.U) :

La B.A.U facilite l'arrêt d'urgence hors chaussée d'un véhicule, la récupération d'un véhicule déviant de sa trajectoire, l'évitement d'un obstacle sur la chaussée, l'intervention des services de secours, d'entretien et d'exploitation.

Elle est constituée à partir du bord géométrique de la chaussée d'une sur largeur de chaussée qui porte le marquage en rive, puis d'une partie dégagée de tout obstacle, revêtue et apte à accueillir un véhicule lourd en stationnement. Aucune dénivellation ne doit exister entre la chaussée et la B.A.U.

m) La berme :

Elle participe aux dégagements visuels et supporte des équipements : barrières de sécurité, signalisation verticale.

Sa largeur qui dépend surtout de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place est de 1,00 m minimum ; mais elle peut être intégrée à un dispositif d'assainissement dont la pente ne dépasse pas 25%.

n) Le talus :

Le talus à une inclinaison dont dépend de la cohésion des sols qui le constitue, cette inclinaison est désignée par une fraction (A / B).

A : la base du talus.

B : hauteur du talus

III.3.4 Application au projet :

Le profil en travers type retenu pour la RN23 sera donc :

Deux chaussées à double voies : $2 \times (3.5 \times 2) = 2 \times 7.00 \text{ m}$

Accotement : $2 \times 2 \text{ m}$

Terre-plein centrale (TPC) : 3 m

Plateforme : 21 m .

CHAPITRE IV

ETUDE GEOTECHNIQUE

ET DIMENSIONNEMENT DU

CORPS DE CHAUSSEE

CHAPITRE IV : ETUDE GEOTECHNIQUE ET DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE

IV.1 ETUDE GEOTECHNIQUE :

IV.1.1 Introduction :

La géotechnique routière est une science qui étudie les propriétés physiques et mécaniques des roches et des sols qui vont servir d'assise pour la structure de chaussée.

Elle étudie les problèmes d'équilibre et de formation des masses de terre de différentes natures soumises à l'effet des efforts extérieurs et intérieurs.

Cette étude doit d'abord permettre de localiser les différentes couches et donner les renseignements de chaque couche et les caractéristiques mécaniques et physiques de ce sol.

L'exécution d'un projet routier nécessite une bonne connaissance des terrains traversés : Ce qui exige des reconnaissances géotechniques.

IV.1.2 Les différents essais en laboratoire :

Les essais réalisés en laboratoire pour les échantillons prélevés de notre projet sont :

- ✓ Des essais D'identification
- ✓ Des essais mécaniques.

1. Les essais d'identifications :

- Analyses chimiques sommaires.
- Analyse granulométrique.
- Limites d'Atterberg.

2. Les essais mécaniques :

- Essai PROCTOR et Proctor Modifié.
- Essai CBR imbibé.

1.a Définitions des Essais D'identification :

❖ Analyses chimiques sommaires :

Le but des essais chimiques est de déterminer les différents pourcentages des : insolubles, gypse, calcaire, chlorures des matériaux du sol support.

❖ Analyses granulométriques :

Les résultats des analyses granulométriques sont des courbes dite courbe granulométrique et construite emportant sur un graphique, cette analyse se fait par une série des tamis.

➤ **Principe de l'essai :**

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis et passoirs reposants sur un fond de tamis un matériau en plusieurs classes de tailles décroissantes.

➤ **But de l'essai :**

C'est un essai qui a pour objet la détermination en poids des éléments d'un sol (matériau) suivant leurs dimensions (cailloux, gravier, gros sable, sable fin, limon et argile).

➤ **Domaine d'utilisation :**

La granulométrie est utilisée pour la classification des sols en vue de leur utilisation.

❖ **Limites d'Atterberg :**

a. Limite de plasticité (Wp) :

Caractérisant le passage du sol de l'état solide à l'état plastique.

Elle varie de **0%** à **100%**, mais elle demeure généralement inférieure à **40%**.

b. Limite de liquidité (WL) :

Caractérisant le passage du sol de l'état plastique à l'état liquide.

$$WL = \omega(N/25)^{0.121}$$

ω : teneur en eau au moment de l'essai donnant n coups

N : nombre de coups

➤ **L'indice de plasticité :**

L'indice de plasticité mesure l'étendue de la plage de teneur en eau dans laquelle le sol se trouve à l'état plastique. Cet indice est d'autant plus élevé que le matériau est plus plastique, au sens commun du terme comme du point de vue de son comportement en cours de terrassement.

Suivant la valeur de leur indice de plasticité, les sols peuvent se classer comme suit :

$I_p < 12$: Faiblement argileux.

$12 \leq I_p < 25$: Moyennement argileux.

$25 \leq I_p < 40$: Argileux.

$I_p \geq 40$: Très argileux.

➤ **Principe de l'essai :**

La détermination de WL et WP nous donnent une idée approximative des propriétés du matériau étudié, elle permet de le classer grâce à l'abaque de plasticité de Casa grande.


$$I_p = W_L - W_p$$

➤ **But de l'essai :**

Cet essai permet de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement, en particulier sous l'action de la teneur en eau, il se fait uniquement sur les éléments fins du sol (caractériser les sols fins).

➤ **Domaine d'application :**

L'essai s'applique aux sols fins pendant les opérations de terrassement dans le domaine des travaux publics (assises de chaussées y compris les couches de formes).

2.a Définitions des Essais Mécaniques :

❖ **Essai PROCTOR :**

L'essai Proctor est un essai de compactage, il s'effectue à l'aide d'un moule normal ou un moule modifié.

➤ **Principe de l'essai :**

L'essai consiste à mesurer le poids volumique sec d'un sol disposé en trois couches dans un moule dit moule Proctor de volume connu, dans chaque couche étant compactée avec la dame Proctor, l'essai est répété plusieurs fois et on varie à chaque fois la teneur en eau de l'échantillon et on fixe l'énergie de compactage pour obtenir la meilleure teneur en eau qui donne la meilleure portance de sol. Les grains passants par le tamis de 5 mm sont compactés dans le moule Proctor.

➤ **But de l'essai :**

L'essai Proctor consiste à étudier le comportement d'un sol sous l'influence de compactage (La réduction de son volume par réduction des vides d'air) et la teneur en eau, c'est-à-dire la détermination de la teneur en eau optimale et la densité sèche maximale, pour avoir un terrain bien compacté et une portance acceptable.

➤ **Domaine d'utilisation :**

Cet essai est utilisé pour les études de remblai en terre, en particulier pour les sols de fondations (route, piste d'aérodromes...).

❖ **Essai C.B.R (California Bearing Ration) :**

On réalise en général trois essais :

« **CBR standard** », « **CBR immédiat** », « **CBR imbibé** ». On s'intéresse actuellement au « **CBR imbibé** ».

➤ **Principe de l'essai :**

On compacte avec une dame standard dans un moule standard, l'échantillon de sol recueilli sur le site, selon un processus bien déterminé, à la teneur en eau optimum (Proctor modifié) avec trois (3) énergies de compactage 25 c/c ; 55 c/c ; 10 c/c et imbibé pendant quatre (4) heures ou bien (4) jours. Les passants sur le tamis inférieur à 20 mm dans le moule CBR.

➤ **But de l'essai :**

L'essai a pour but de déterminer pour un compactage d'intensité donnée la teneur en eau optimum correspondant, elle permet d'évaluer la portance du sol en estimant sa résistance au poinçonnement.

➤ **Domaine d'utilisation :**

Cet essai est utilisé pour dimensionnement des structures des chaussées et orienter les travaux de terrassements.

IV.1.3 Les résultats des essais :

A travers les échantillons prélevés sur toute la longueur du projet on peut distinguer les informations suivantes sur le tableau IV.4 ci-dessous :

Tableau IV.1 : Résultats des Essais

Description géotechnique du sol support				
Numéro Du puits	Désignation	Pk	Nature du sol support	Profondeur du puits (cm)
N°09	P09	251+000	Sable limoneux graveleux	60-70
N°10	P10	252+000	Sable limoneux graveleux	70-80
N°11	P11	253+000	Sable graveleux limoneux	60-90
N°12	P12	254+000	Sable graveleux limoneux	50-70
N°13	P13	255+000	Sable limoneux graveleux	80-110
N°14	P14	256+000	Sable graveleux limoneux	60-100

Remarque : L'étude géotechnique détaillée se trouve en annexe 01 ci-joint.

IV.2 DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE :

IV.2.1 Introduction :

La qualité d'un projet routier ne se limite pas à l'obtention d'un bon tracé en plan et d'un bon profil en long. En effet une fois réalisée, la route devra résister aux agressions des agents extérieurs et aux surcharges d'exploitation (action des essieux des véhicules et notamment les poids lourds). Et aussi des gradients thermiques, pluie, neige, verglas etc..... Pour cela il faudra non seulement assurer à la route de bonnes caractéristiques géométriques mais aussi de bonnes caractéristiques mécaniques lui permettant de résister à toutes les charges pendant toute sa durée de vie.

La qualité de la construction des chaussées joue un rôle très important. Celle-ci passe d'abord par une bonne connaissance du sol support et un choix judicieux des matériaux à réaliser.

Le dimensionnement des structures de chaussée constitue une étape importante de l'étude. Il s'agit en même temps de choisir les matériaux nécessaires ayant des

caractéristiques requises et de déterminer les épaisseurs des différentes couches de la structure de la chaussée. Tout cela en fonction de paramètres très fondamentaux suivants :

- ✓ Le trafic.
- ✓ L'environnement de la route (le climat essentiellement).
- ✓ Le sol support.

IV.2.2 La Chaussée :

IV.2.2.1 Définition :

- **Au sens géométrique :**

C'est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules.

- **Au sens structurel :**

C'est l'ensemble des couches de matériaux superposées de façon à permettre la reprise des charges.

IV.2.2.2 La constitution d'une chaussée :

Une chaussée est constituée de plusieurs couches mises en œuvre sur un sol terrassé appelé **sol support**. Le sol support est généralement surmonté d'une **couche de forme**.

Le corps de la chaussée proprement dit couches de forme, d'assise, de surface, de fondation, de base, d'usure, de roulement, de liaison est constitué de deux types de couche, les **couches d'assises** et la **couche de surface**.

L'**assise** de la chaussée est généralement constituée de deux couches, la **couche de fondation** et, par-dessus, la **couche de base**. Ces couches, généralement constituées de matériaux liés, permettent à la chaussée de résister mécaniquement aux charges induites par le trafic.

Quant à la **couche de surface**, elle est constituée de la **couche de roulement** (ou **d'usure**) qui subit directement les agressions du trafic et du climat. Une couche dite de **liaison** est parfois intégrée entre la **couche de roulement** et la **couche de base** de l'assise. Elle permet de spécialiser la **couche de roulement** au confort et à la sécurité des usagers.

La **couche de roulement** et la **couche de liaison** constituent la **couche de surface** d'une chaussée (Figure IV.1).

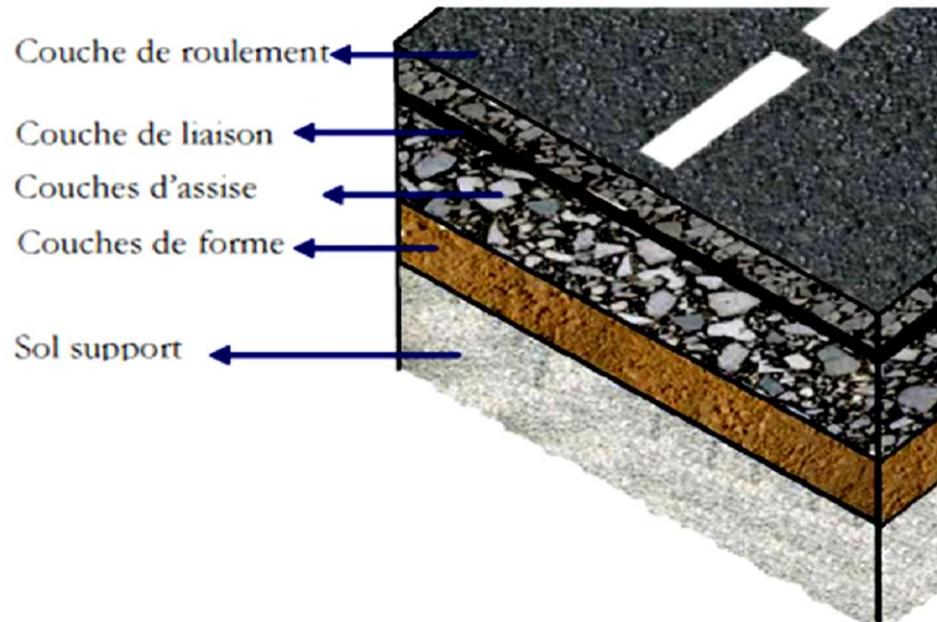


Figure IV.1 : La constitution d'une chaussée

IV.2.2.3 Les différents types de chaussées :

Du point de vue constructif les chaussées peuvent être groupées en trois grandes catégories :

- **Chaussée souple.**
- **Chaussée semi-rigide.**
- **Chaussée rigide.**

1. Chaussée souple :

Les chaussées souples constituées par des couches superposées des matériaux non susceptibles de résistance notable à la traction.

Les couches supérieures sont généralement plus résistantes et moins déformable que les couches inférieures.

Pour une assurance parfaite et un confort idéal, la chaussée exige généralement pour sa construction plusieurs couches exécutées en matériaux différents, d'une épaisseur bien déterminée ayant chacune un rôle aussi bien défini (Figure IV.2).

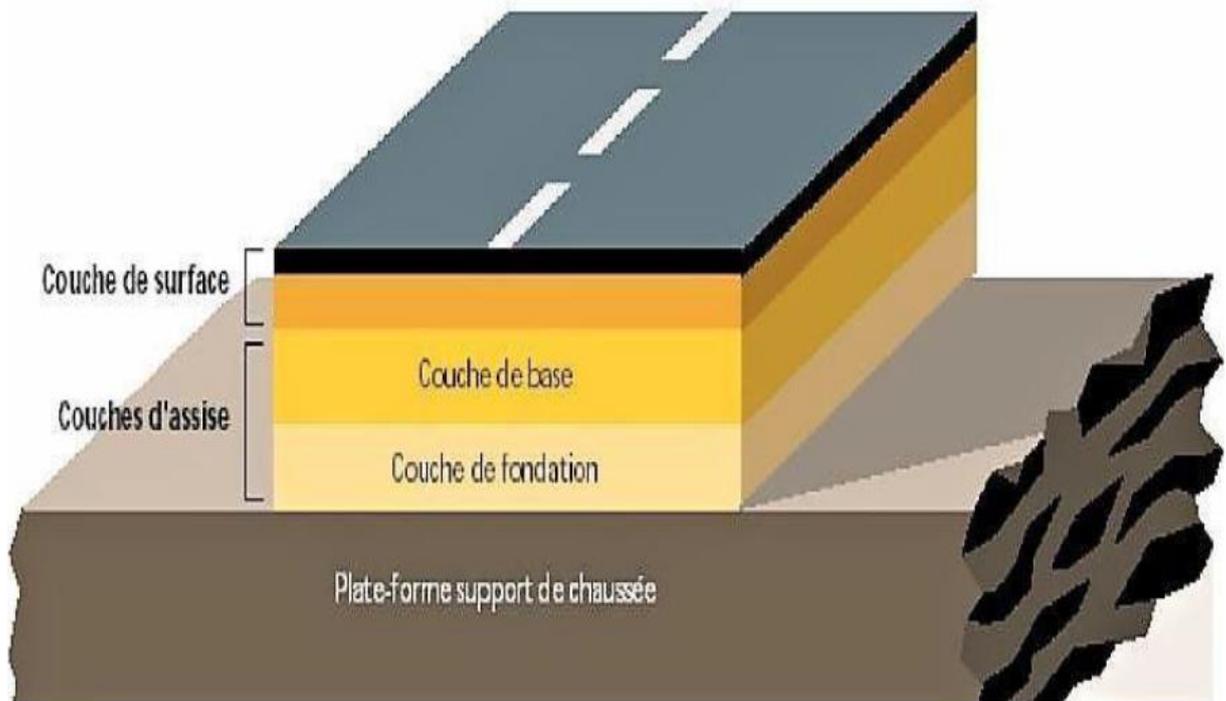


Figure IV.2 : La chaussée souple

En principe une chaussée peut avoir en ordre les trois (3) ou quatre (4) couches suivantes :

a) Couche de roulement (surface) :

La couche de surface constituant la chape (couche de surface) de protection de la couche de base par sa dureté et son imperméabilité et devant assurer en même temps la rugosité, la sécurité et le confort des usagés.

La couche de roulement est en contact direct avec les pneumatiques des véhicules et les charges extérieures. Elle encaisse les efforts de cisaillement provoqués par la circulation. La couche de liaison joue un rôle transitoire avec les couches inférieures les plus rigides.

L'épaisseur de la couche de roulement en général varie entre 6 et 8 cm.

b) Couche de base :

La couche de base joue un rôle essentiel, elle existe dans toutes les chaussées, elle résiste aux déformations permanentes sous l'effet de trafic, elle reprend les efforts verticaux et repartit les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes.

L'épaisseur de la couche de base varie entre 10 et 25 cm.

c) Couche de fondation :

Complètement en matériaux non traités (en Algérie), elle substitue en partie le rôle du sol support, en permettant l'homogénéisation des contraintes transmises par le trafic. Assurer

un bon uni et bonne portance de la chaussée finie, et aussi, elle a le même rôle que celui de la couche de base.

d) Couche de forme :

La couche de forme est une structure plus ou moins complexe qui sert à adapter les caractéristiques aléatoires et dispersées des matériaux de remblai ou de terrain naturel aux caractéristiques mécaniques, géométriques et thermiques requises pour optimiser les couches de chaussée.

L'épaisseur de la couche de forme est en général entre 40 et 70 cm.

2. Chaussée semi-rigide :

On distingue :

- Les chaussées comportant une couche de base (quelques fois une couche de Fondation) traitée au liant hydraulique (ciment, granulat,) (Figure IV.3).
- La couche de roulement est en enrobé hydrocarboné et repose quelques fois par l'intermédiaire d'une couche de liaison également en enrobé strictement minimale doit être de 15 mm.
- Ce type de chaussée n'existe à l'heure actuelle qu'à titre expérimental en Algérie.
- Les chaussées comportant une couche de base ou une couche de fondation en sable gypseux.

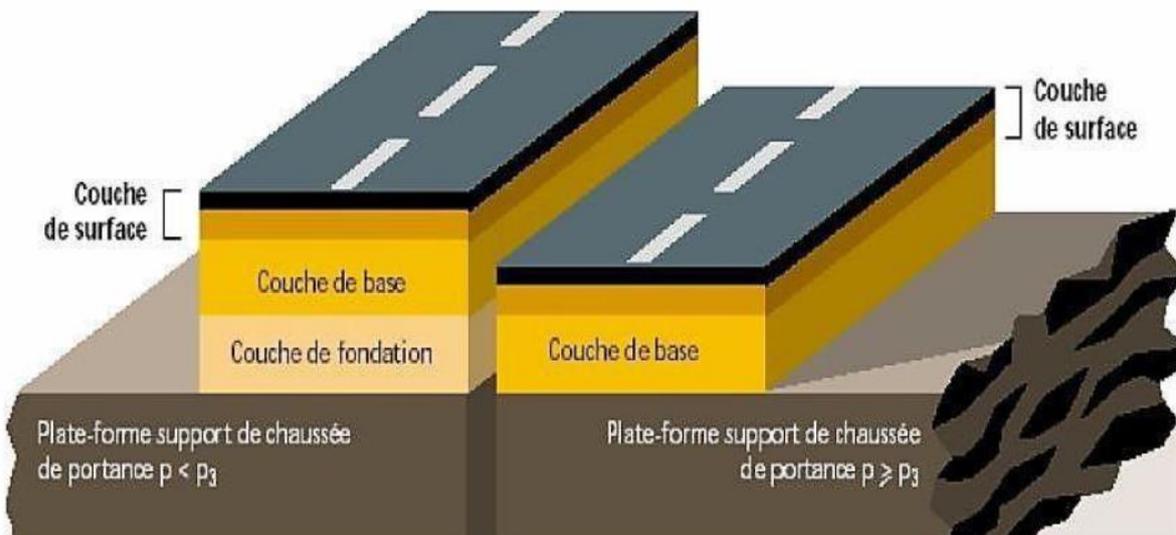


Figure IV.3 : Chaussée semi-rigide

3. Chaussée rigide :

Comportant des dalles en béton (correspondant à la couche de surface de la chaussée souple) qui, en fléchissant élastiquement sous les charges, transmettent les efforts à distance et les répartissent ainsi sur une couche de fondation qui peut être un grave stabilisé mécaniquement : elle peut être traitée aux liants hydrocarbonés ou aux liants hydrauliques.

Ce type de chaussée est pratiquement inexistant en Algérie (sauf pour les chaussées aéronautiques) (Figure IV.4).

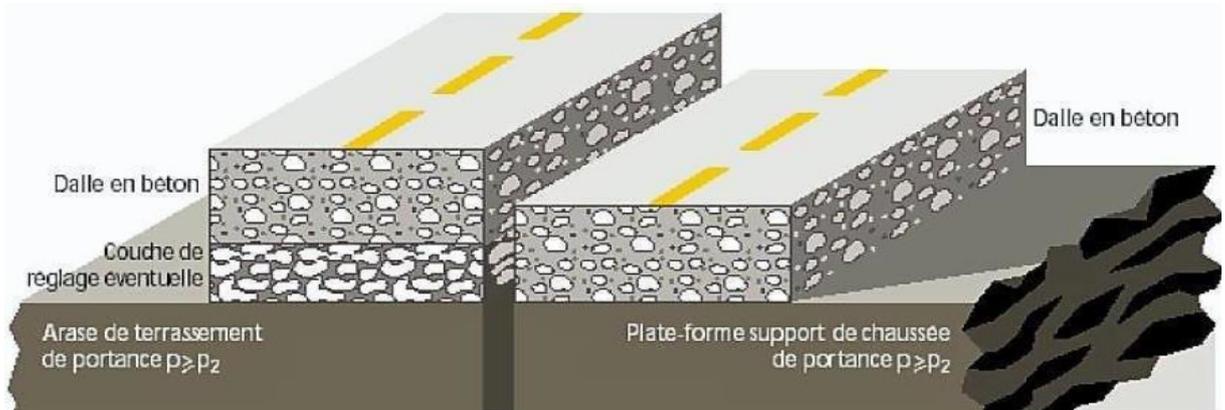


Figure IV.4 : Chaussée rigides

Les différents types de chaussée sont groupés dans la figure IV.5 ci dessous :

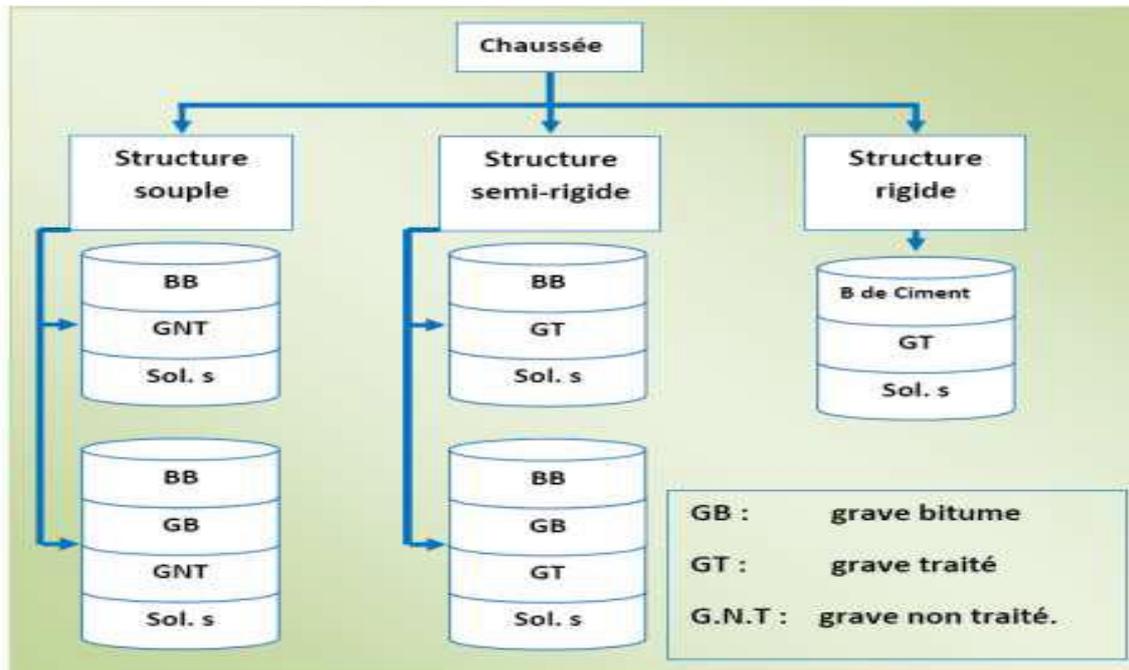


Figure IV.5 : Types de chaussée

IV.2.3 Les différents facteurs déterminants pour le dimensionnement de la chaussée :

Le nombre des couches, leurs épaisseurs et les matériaux d'exécution, sont conditionnées par plusieurs facteurs. Parmi les plus importants nous avons :

IV.2.3.1 Trafic :

La connaissance du trafic et principalement du poids lourd, constitue un des éléments essentiels pour un bon dimensionnement de la structure de chaussée. Ce trafic s'exprime généralement par deux paramètres :

- ✓ Le TJMA à la mise en service qui permet de choisir les matériaux nécessaires pour la construction de la chaussée.
- ✓ Le nombre cumulé d'essieux de référence passant sur la chaussée tout au long de sa durée de vie et qui sert à faire le calcul de dimensionnement proprement dit.

Trafic « poids lourd » comprend tous les véhicules dont la charge utile est supérieure ou égale à 5 tonnes.

IV.2.3.2 Le climat et l'environnement :

Le climat et l'environnement influent considérablement sur la bonne tenue de la chaussée en termes de résistance aux contraintes et aux déformations. L'amplitude des variations de température et la température maximum interviennent dans le choix du liant hydrocarboné. Les précipitations liées aux conditions de drainage conditionnent la teneur en eau du sol support et donc sa portance ainsi que les possibilités de réemploi des matériaux de déblai en remblai.

IV.2.3.3 Le sol support :

Les sols support sont, en général, classés selon leur portance, elle même fonction de l'indice CBR. Ce dernier est, en principe, mesuré à la teneur en eau d'équilibre à long terme du sol support.

Tableau IV.2 : Classe de portance des sols S_i

Portance	CBR	Interprétation
S_4	< 5	Très mauvaise portance
S_3	5-10	Mauvaise portance
S_2	10-25	Portance moyenne
S_1	25-40	Bonne portance
S_0	> 40	Très bonne portance

IV.2.3.4 Les matériaux :

Les matériaux utilisés doivent être conformes aux exigences en fonction de la couche de chaussée concernée et du trafic de poids lourd (PL).

IV.2.4 Méthodes de dimensionnement :

Les méthodes du dimensionnement de corps de chaussée les plus utilisées sont :

- La méthode de C.B.R (Californie -Baring - Ratio) :
- Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves.
- Méthode du catalogue des structures.

NB : la méthode C.B.R donne le corps de chaussée le plus économique et tout en sachant que cette méthode est la plus utilisée en Algérie donc on utilise dans notre projet la méthode C.B.R.

1. Dimensionnement par la méthode CBR (California-Bearing-Ratio) :

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 de 15cm.

La détermination de l'épaisseur totale à mettre en œuvre s'obtient par l'application de la formule présentée ci-après :

$$e = \frac{100 + (\sqrt{p}) \left(75 + 50 \text{LOG} \frac{N}{10} \right)}{I_{cbr} + 5}$$

Où :

- ✓ e : épaisseur totale équivalente de la chaussée (**cm**) ;
- ✓ N : trafic cumulé.
- ✓ P : charge par roue P = 6.5 t (essieu 13 t).
- ✓ I_{CBR} : indice CBR (sol support) =14.
- ✓ Log : logarithme décimal ;

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante :

$$e = a_1 \times e_1 + a_2 \times e_2 + a_3 \times e_3$$

Avec :

a₁ × e₁ : couche de roulement

a₂ × e₂ : couche de base

a₃ × e₃ : couche de fondation

Où : **a₁, a₂, a₃** : coefficients d'équivalence de chacun de matériau à utiliser.

e₁, e₂, e₃ : épaisseurs réelles des couches **en cm**.

Calcul du trafic cumulé :

Les classes de trafic considérées pour le dimensionnement des structures sont celles définies à partir du trafic cumulé pour la durée de vie (Tableau IV.3) :

$$T_c = 365 \times T_{pl} \times \frac{(1+i)^N - 1}{i} \times A$$

T_c : Trafic cumulé pour la durée de vie ;

T_{pl} : trafic de poids lourd de la voie de circulation considérée 3331pl/j/sens ;

N : Durée de vie en 5, 10, 20 ans ;

i : Taux de croissance annuel = 4% ;

A : coefficient d'agressivité : A = 0.6

A cours terme (N = 05 ans) : T_c = 3951147,73PL/sens.

A moyen terme (N = 10 ans) : T_c = 8758323,08PL/sens.

A long terme (N = 20 ans) : T_c = 21722780,8PL/sens.

Tableau IV.3 : Epaisseurs totale de corps de chaussée en fonction du trafic

Temps	Epaisseur équivalente
Cours terme (05ans)	53cm
Moyen terme (10ans)	55cm
Long terme (20ans)	58cm

Tableau IV.4 : Coefficients d'équivalence des matériaux

Grave ciment – Grave laitier	1.50
Grave bitume	1.50
Sable ciment	1.00 à 1.20
Grave concassée ou gravier	1.00
Grave roulée-Grave sableuse et T.V.O	0.75
Sable	0.50

Calcul de dimensionnement à long terme (n = 20ans) :

Le calcul à long terme donne une épaisseur équivalente de **58cm**

Type de Couche	Nature du Matériau	Epaisseur équivalente (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur réelle (cm)
Couche de roulement	Enrobé à chaud BB0/14	16	2.0	08
Couche de base	Grave bitume GB0/20	21	1.5	14
Couche de Fondation	Grave non traitée GNT0/31.5	20	1.00	20
Total		57		42

Notre chaussée sera donc structurée comme suit (Figure IV.6) :

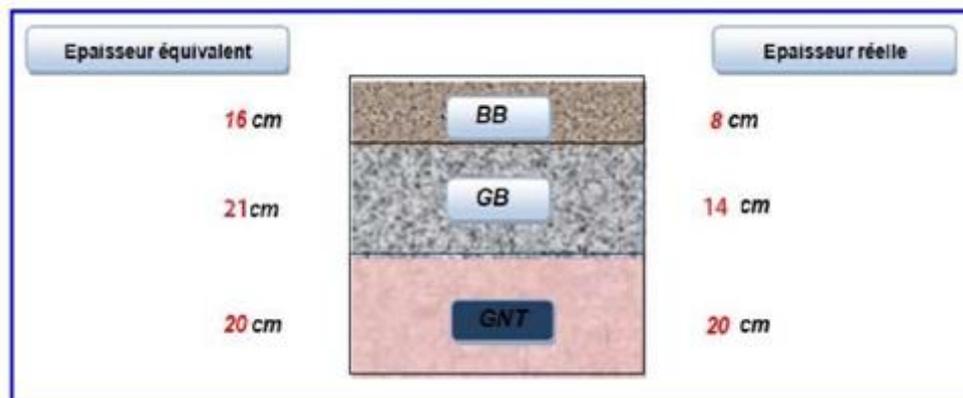


Figure IV.6 : La structure de la chaussée adoptée

CHAPITRE V
CALCUL DES CUBATURES

CHAPITRE V : CALCUL DES CUBATURES

V.1 DEFINITION :

Les cubatures de terrassement, c'est l'évolution des cubes de déblais et remblais 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 joignent ces points différents le moins possible de la ligne du terrain qu'il représente.

Les cubatures de terrassement c'est la détermination des volumes de remblais et déblais nécessaire à la réalisation du projet.

V.2 METHODE DE CALCUL DES CUBATURES :

Pour calculer un volume, il y a plusieurs méthodes parmi lesquelles on peut citer :

- **La méthode de la moyenne des aires** que nous utilisons et qui est une méthode très simple mais elle présente un inconvénient c'est de donner des résultats avec une marge d'erreur, donc pour être proche des résultats exacts on doit majorer les résultats trouvés par le coefficient de 10 % et ceci dans le but d'être en sécurité.
- **La méthode classique** qui comprend **la méthode de Gulden** et **la méthode linéaire**

V.2.1 Méthode de la moyenne des aires :

V.2.1.1 Description de la Méthode :

Elle consiste à calculé séparément les volumes des tronçons compris entre deux profils en travers successifs en utilisant la formule des trois niveaux ou formule au prismatoïde (Figure V.1). Le volume V compris entre S1 et S2 est égale à :

$$V = \frac{h}{6} (S1 + S2 + 4S0)$$

Avec :

h : hauteur entre deux profils.

S_0 : surface limitée à mi- distances des profils.

S_1, S_2 : surface des deux profils.

Ici à la figure ci-dessous on adopte pour des profils en long d'un tracé donnés.

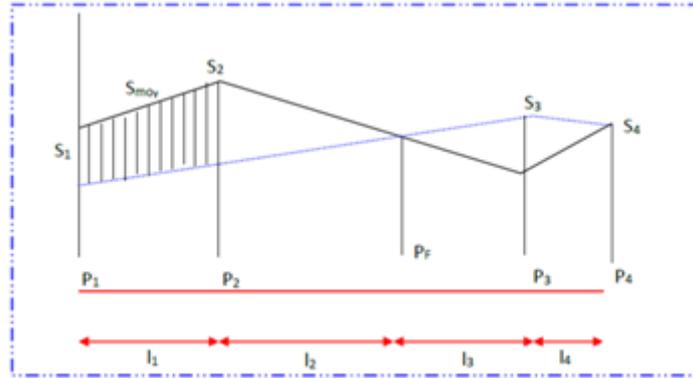


Figure V.1 : Profil adopté pour tracé en long

Tel que :

S_i : surface de profil en travers P_i .

L_i : distance entre deux profils

S_{moy} : surface intermédiaire (surface parallèle et à mi-distance L_i).

Le volume compris entre les deux profils en travers P_1 et P_2 de section S_1, S_2 sera égale à :

$$V_1 = \frac{L_1}{6} \times (S_1 + S_2 + 4S_{moy})$$

L_1 : la distance comprise entre les deux profils P_1 et P_2

S_1, S_2 : les surfaces en profil en travers

Pour éviter un calcul très long, on simplifie cette formule en considérant comme très voisines les deux expressions : S_{moy} et $(\frac{S_1+S_2}{2})$

Ce qui donne :

$$V_1 = L_1 \times \frac{(S_1 + S_2)}{2}$$

Donc les volumes seront :

$$\text{Entre } P_1 \text{ et } P_2 : V_1 = L_1 \times \frac{(S_1+S_2)}{2}$$

$$\text{Entre } P_2 \text{ et } P_f : V_2 = L_2 \times \frac{(S_2+0)}{2}$$

$$\text{Entre } P_f \text{ et } P_3 : V_3 = L_3 \times \frac{(0+S_3)}{2}$$

En additionnant membres à membre ces expressions on a le volume total des terrassements :

$$V = \left(\frac{L1}{2}\right) \times S1 + \left(\frac{L1 + L2}{2}\right) \times S2 + \left(\frac{L2 + L3}{2}\right) \times 0 + \left(\frac{L3 + L4}{2}\right) \times S3 + \left(\frac{L4}{2}\right) \times S4$$

V.2.2. Méthode classique

Dans cette méthode on distingue deux différents sous méthodes de calcul dont la première est celle dite de GULDEN où les quantités des profils sont multipliées par la longueur d'application au droit de leur centre de gravité, prenant en compte la courbure au droit de profil. Mais dans l'autre méthode classique les quantités des profils sont multipliées par la longueur d'application à l'axe (indépendant de la courbure).

V.2.2.1 Méthode de Gulden

Dans cette méthode, les sections et les largeurs des profils sont calculées de façon classique mais la distance du barycentre de chacune des valeurs à l'axe est calculée. Pour obtenir les volumes et les surfaces, ces valeurs sont multipliées par le déplacement du barycentre en fonction de la courbure au droit du profil concerné.

Cette méthode permet donc de prendre en compte la position des quantités par rapport à la courbure instantanée (Figure V.2).

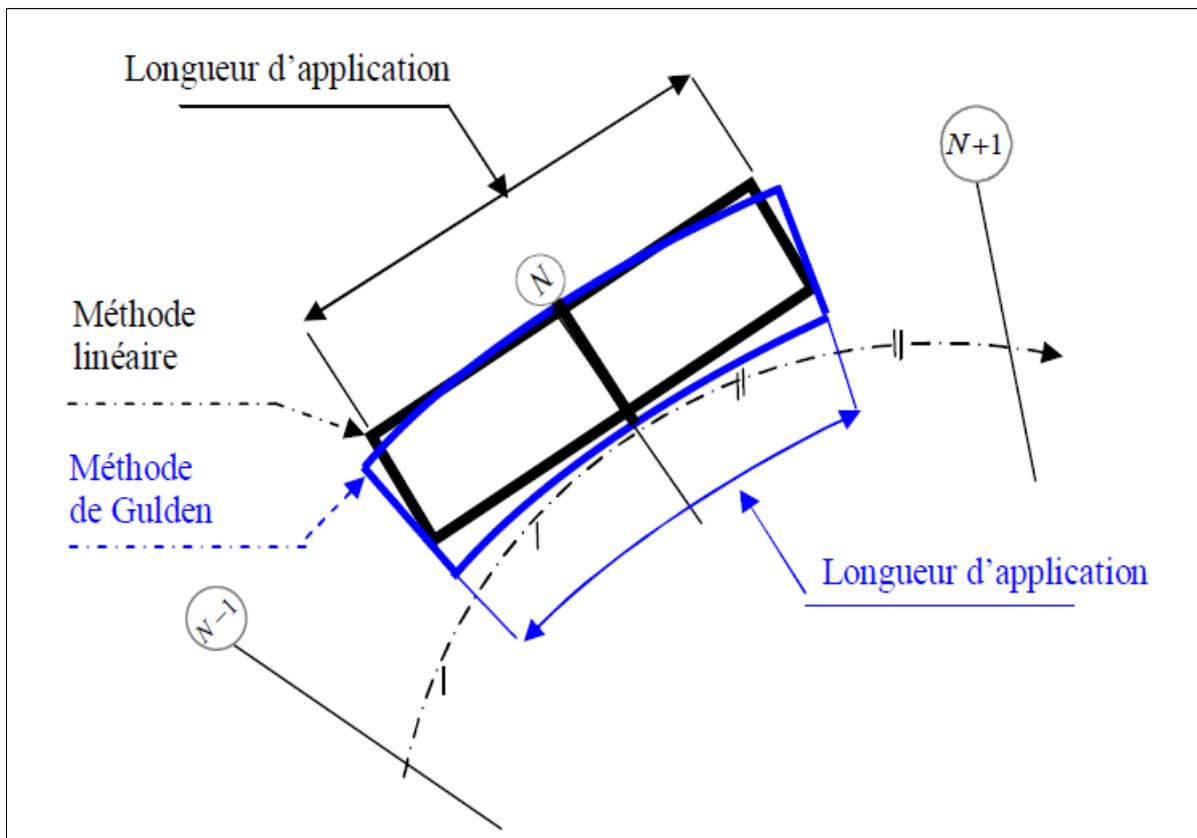


Figure V.2 : Méthode de Gulden

V.2.2.2 Méthode linéaire :

C'est la méthode classique, les sections et les largeurs sont multipliées par la longueur d'application pour obtenir les volumes et les surfaces. Cette méthode ne prend pas en compte la courbure du projet donc les résultats sont identiques quel que soit le tracé en plan.

V.3 APPLICATION AU PROJET :

Pour notre calcul automatique nous avons utilisé le logiciel Autopiste et les résultats obtenus sont récapitulés sur le tableau V.1 ci-dessous :

Tableau V.1 : Tableau récapitulatif

Variante		
Décapage (m ³)	Déblais (m ³)	Remblais (m ³)
6173.273	49394	83646

CHAPITRE VI

OUVRAGES D'ASSAINESSEMENT

CHAPITRE VI : OUVRAGES D'ASSAINESSEMENT

VI.1 INTRODUCTION :

L'assainissement routier est une composante essentielle de la conception, de la réalisation et de l'exploitation des infrastructures linéaires.

L'eau est la première ennemie de la route car elle pose des grands problèmes multiples et complexes sur la chaussée, Ce qui met en jeu la sécurité de l'utilisateur (glissance, inondation diminution des conditions de visibilité, projection des gravillons par désenrobage des couches de surface, etc.) et influe sur la pérennité de la chaussée en diminuant la portance des sols de fondation.

Les types de dégradation provoquée par les eaux sont engendrés comme suit :

1. Pour les chaussées :

- Affaissement (présence d'eau dans le corps de chaussées).
- Désenrobage.
- Nid de poule (dégel, forte proportion d'eau dans la chaussée avec un trafic important).
- Décollement des bords (affouillement des flancs).

2. Pour les talus :

- Glissement.
- Erosion.
- Affouillements du pied de talus.

Les études hydrauliques inventorieront l'existence de cours d'eau et d'une manière générale des écoulements d'eau en surface. Elles détermineront ensuite l'incidence du projet sur ces écoulements et les équipements à prendre en compte pour maintenir ces écoulements.

VI.2 OBJECTIF DE L'ASSAINISSEMENT :

L'assainissement des routes doit remplir les objectifs suivants :

- Assurer l'évacuation rapide des eaux tombant et s'écoulant directement sur le revêtement de la chaussée (danger d'aquaplaning).
- Le maintien de bonne condition de viabilité.
- Réduction du coût d'entretien.
- Eviter les problèmes d'érosions.
- Assurer l'évacuation des eaux d'infiltration à travers le corps de chaussée. (Danger de ramollissement du terrain sous-jacent et effet de gel).

- Evacuation des eaux s'infiltrant dans le terrain en amont de la plate-forme (danger de diminution de l'importance de celle-ci et l'effet de gel).

VI.3 ASSAINISSEMENT DE LA CHAUSSEE :

La détermination du débouché a donné aux ouvrages tels que dalots, ponceaux, ponts, etc. dépend du débit de crue qui est calculé d'après les mêmes considérations. Les ouvrages sous chaussée les plus courants utilisés pour l'évacuation des petits débits sont les dalots et buses à section circulaire.

Parmi les ouvrages destinés à l'écoulement des eaux, on peut citer ces deux catégories :

- Les réseaux de canalisation longitudinaux (fossés, cuvettes, caniveaux).
- Ouvrages transversaux et ouvrages de raccordement (regards, décente d'eau, tête de collecteur et dalot) Les ouvrages d'assainissement doivent être conçus dans le but d'assainir la chaussée et l'emprise de la route dans les meilleures conditions possibles et avec un moindre coût.

a) Fossé de pied du talus de déblai :

Ces fossés sont prévus au pied du talus de déblai afin de drainer la plate-forme et les talus vers les exutoires.

Ces fossés sont en terre et de section trapézoïdale. Ils seront bétonnés lorsque la pente en profil en long dépasse les 3%.

b) Fossé de crête de déblai :

Ce type de fossé est toujours en béton. Il est prévu lorsque le terrain naturel de crête est penché vers l'emprise de la chaussée, afin de protéger les talus de déblais des érosions dues au ruissellement des eaux de pluie et d'empêcher ces eaux d'atteindre la plate-forme.

c) Fossé de pied de talus de remblai :

Le fossé est en terre ou en béton (en fonction de leur vitesse d'écoulement). Ils sont prévus lorsque la pente des terrains adjacents est vers la plate-forme et aussi de collecter les eaux de ruissellement de la chaussée, en remblai, par l'intermédiaire des descentes d'eau.

d) Drain :

Le drainage du corps de chaussée est assuré par une tranchée drainante longeant l'autoroute. Ce drain est constitué par un matériau graveleux comportant en son centre un tuyau circulaire en plastique perforé à sa génératrice supérieure à 150 mm de diamètre. Ce

drain est positionné sous le fossé trapézoïdal et à la limite des accotements. Les eaux collectées par le drain sont rejetées dans des regards de drainage et en dernier lieu dans les points de rejet.

e) Descente d'eau :

Dans les sections d'autoroute en remblai, lorsque la hauteur de ces remblais dépasse les 2,50 m, les eaux de ruissellement de la chaussée sont évacuées par des descentes d'eau.

Elles sont espacées généralement tous les 50 m lorsque la pente en profil en long est supérieure à 1%. Lorsque la pente est inférieure à 1 %, leur espacement est varié entre 30 m et 40 m.

VI.4 DEFINITIONS DES TERMES HYDRAULIQUES :

a) Bassin versant :

C'est un secteur géographique qui est limité par les lignes de crêtes ou lignes de partage des eaux. C'est la surface totale de la zone susceptible d'être alimentée en eau pluviale, d'une façon naturelle, ce qui nécessite une canalisation en un point bas considéré (exutoire).

b) Collecteur principal (canalisation) :

C'est la Conduite principale récoltant les eaux des autres conduites (dites collecteurs secondaires), recueillant directement les eaux superficielles ou souterraines.

c) Chambre de visite (cheminée) :

C'est un ouvrage placé sur les canalisations pour permettre leur contrôle et le nettoyage.

Les chambres de visites sont à prévoir aux changements de calibre, de direction ou de pente longitudinale de la canalisation, aussi qu'aux endroits où deux collecteurs se rejoignent.

Pour faciliter l'entretien des canalisations, la distance entre deux chambres consécutives ne devrait pas dépasser 80 à 100m.

d) Sacs :

C'est un ouvrage placé sur les canalisations pour permettre l'introduction des eaux superficielles. Les sacs sont fréquemment équipés d'un dépotoir, destiné à retenir des déchets solides qui peuvent être entraînés, par les eaux superficielles.

e) Fossés de crêtes :

C'est un outil construit afin de prévenir l'érosion du terrain ou cours des pluies.

f) Décente d'eau :

Elle draine l'eau collectée sur les fossés de crêtes.

g) Les regards :

Ils sont constitués d'un puits vertical, muni d'un tampon en fonte ou en béton armé, dont le rôle est d'assurer pour le réseau des fonctions de raccordement des conduites, de ventilation et d'entretien entre autres et aussi à résister aux charges roulantes et aux poussées des terres.

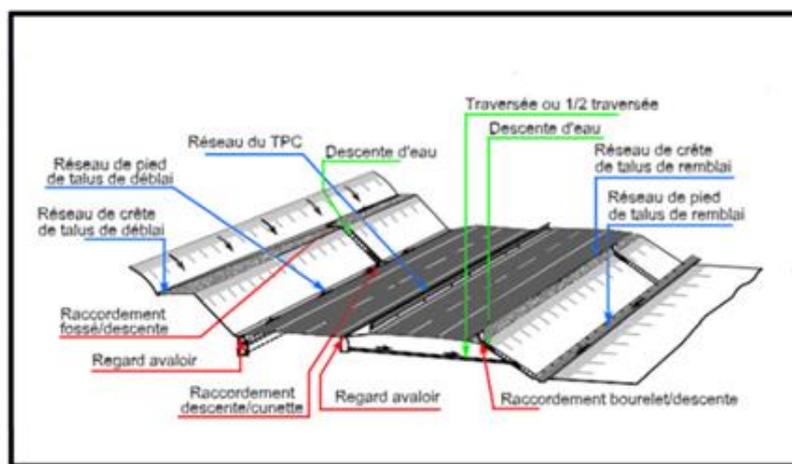


Figure VI.1 : Assainissement de la plate-forme

VI.5. OUVRAGES HYDROLIQUES PROPOSES :

Les ouvrages hydrauliques à prolonger sont repartis conformément au tableau VI.1 ci-dessous :

Tableau VI.1 : Emplacement des ouvrages à prolonger

Endroit des ouvrages (PK)	Types d'ouvrage
PK 251+500	Ouvrage busé
PK 252+100	Ouvrage busé
PK 254+600	Ouvrage busé
PK 254+850	Ouvrage busé
PK 255+550	Ouvrage busé

N.B : Le dimensionnement des buses n'a pas été étudié, il s'agit tout simplement d'un prolongement des ouvrages existants.

CHAPITRE VII
SIGNALISATION HORIZONTALE
ET VERTICALE

CHAPITRE VII : SIGNALISATION HORIZONTALE ET VERTICALE

VII.1 INTRODUCTION :

La signalisation routière permet d'informer les usagers qu'ils soient conducteurs ou piétons, quant aux règles à respecter lors de leurs déplacements. Qu'elle soit verticale ou horizontale, permanente ou temporaire, la signalisation routière a été conçue et intégrée dans le code de la route avec un objectif très précis : limiter les causes d'accident de la route et l'excès de la vitesse.

VII.2 OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION ROUTIERE :

- De rendre plus sûre la circulation routière en informant les usagers d'éventuels dangers qu'ils peuvent rencontrer ;
- De faciliter cette circulation en indiquant par exemple les directions à suivre ;
- D'indiquer ou de rappeler diverses prescriptions particulières de police ;
- De donner des informations relatives aux usagers de la route.

VII.3 CATÉGORIES DE SIGNALISATION :

On distingue :

- La signalisation par panneaux.
- La signalisation par feux.
- La signalisation par marquage des chaussées.
- La signalisation par balisage.
- La signalisation par bornage.

VII.4 REGLES A RESPECTER POUR LA SIGNALISATION :

Il est nécessaire de concevoir une bonne signalisation en respectant les règles suivantes :

- Cohérence entre la géométrie de la route et la signalisation (homogénéité).
- Cohérence avec les règles de circulation.
- Cohérence entre la signalisation verticale et horizontale ;
- Eviter la publicité irrégulière.
- Simplicité qui s'obtient en évitant une surabondance de signaux qui fatiguent l'attention de l'utilisateur.

VII.5 TYPES DE SIGNALISATION :

En générale, les types de la signalisation de route sont : la signalisation verticale et la signalisation horizontale.

VII.5.1 Signalisation verticale :

Elle se fait à l'aide de panneaux, qui transmettent des renseignements sur le trajet emprunté par l'usager à travers leur emplacement, leur couleur et leur forme. Elles peuvent être classées dans quatre classes :

❖ Signaux de danger :

Panneaux de forme triangulaire, ils doivent être placés à 150 m en avant de l'obstacle à signaler (Signalisation avancée) (Figure VII.1).

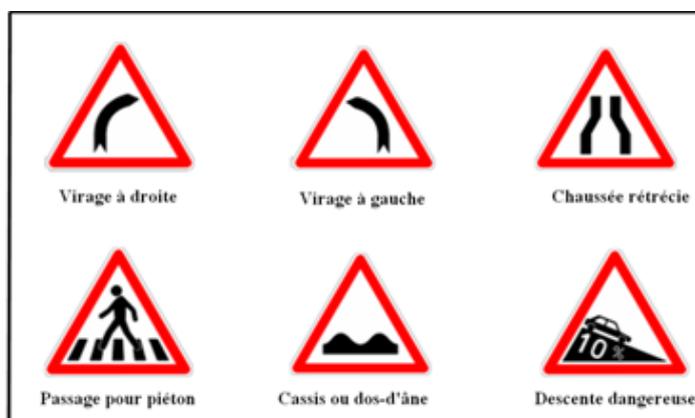


Figure VII.1 : Les signaux de danger

❖ Signaux comportant une prescription absolue :

Panneaux de forme circulaire, on trouve (Figure VII.2) :

- L'interdiction.
- L'obligation.
- La fin de prescription.

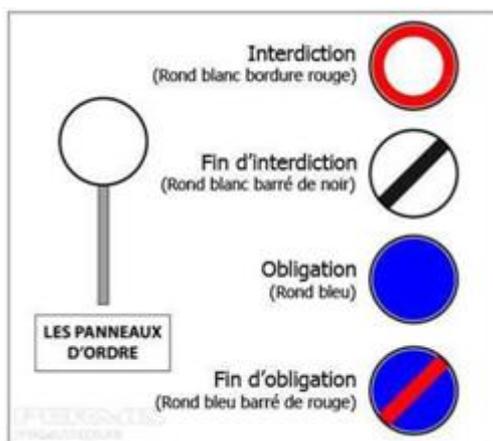


Figure VII.2 : Différents signaux de la prescription absolue

❖ **Signaux à simple indication :**

Panneaux en général de forme rectangulaire, des fois terminés en pointe de flèche :

- Signaux d'indication (Figure VII.3).
- Signaux de direction.
- Signaux de localisation.
- Signaux divers.

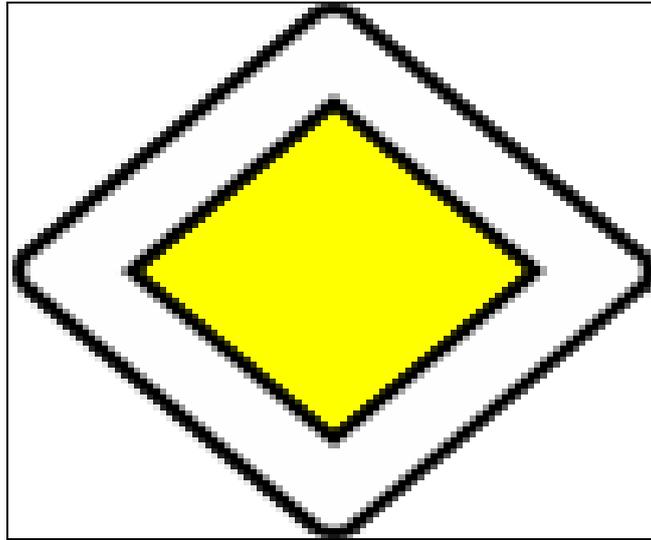


Figure VII.3 : Signaux d'indication (route prioritaire)

❖ **Signaux de direction :**

L'objet de cette signalisation est de permettre aux usagers de suivre la route ou l'itinéraire qu'ils se sont fixés, ces signaux ont la forme d'un rectangle terminé par une pointe de flèche d'angle au sommet égal à 75° (Figure VII.4).



Figure VII.4 : Signaux de direction

VII.5.2 Signalisation Horizontale :

Ces signaux horizontaux sont représentés par des marques sur chaussées, à indiquer clairement les parties de la chaussée réservées aux différents sens de circulation. Elle se divise en trois types :

❖ Marquage longitudinal :

• Lignes continue :

Les lignes continues sont annoncées à ceux des conducteurs auxquels il est interdit de les franchir par une ligne discontinue éventuellement complétée par des flèches de rabattement (Figure VII.5).



Figure VII.5 : Ligne continue interdisant le franchissement ou le chevauchement

• Lignes discontinue :

Les lignes discontinues sont destinées à guider et à faciliter la libre circulation et on peut les franchir, elles se différencient par leur module, qui est le rapport de la longueur des traits sur celle de leur intervalle (Figure VII.6).

a) Lignes axiales ou lignes de délimitation de voie pour lesquelles la longueur du trait est environ égale au tiers (1/3) de leur intervalle.

b) Lignes de rive, les lignes de délimitation des voies d'accélération et de décélération ou d'entrecroisement pour lesquelles la longueur des traits est sensiblement égale à celle de leur intervalle.

c) Ligne d'avertissement de ligne continue, les lignes délimitant les bandes d'arrêt d'urgence, dont la longueur des traits est le triple de celle de leurs intervalles.



Figure VII.6 : Ligne discontinue

- **Modulation des lignes discontinues :**

Elles sont basées sur une longueur parodique de 13 m, elles sont définies par rapport à une valeur unité **T**.

Leurs caractéristiques sont données par le tableau VII.1 ci-dessous :

Tableau VII.1 : Modulation des lignes discontinues

Type de marquage	Type de modulation	Longueur du trait (en m)	Intervalle entre 2 traits successifs (m)	Rapport (plein/vide)
Ligne longitudinale axiale	T'1	3	10	1/3
	T'1	1,5	5	1/3
	T'3	3	1,33	3
Ligne longitudinale de rive	T'2	3	3,5	1
	T'3	20	6	3
Ligne transversale	T'2	0,5	0,5	1

N.B : Les lignes longitudinales axiales et les lignes de rives

Pour les routes, autoroutes et en milieu urbain, il existe 3 modulations différentes (**T1**, **T'1** et **T3**) pour les lignes axiales et 2 modulations (**T2** et **T'3**) pour les lignes de rives (lignes séparant l'accotement de la chaussée) (Figure VII.7).

- **Marques sur chaussée :**

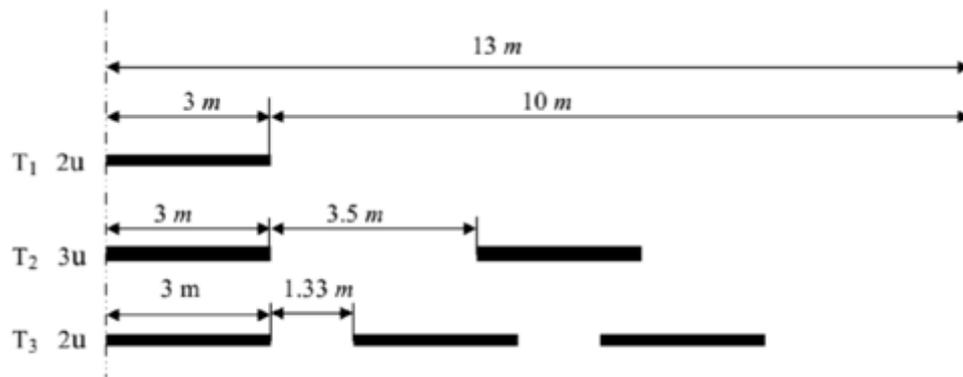


Figure VII.7 : Types de modulation

T1 2U : ligne axiale ou délimitation de voie.

T2 3U : ligne de rive.

T3 2U : ligne de délimitation des voies de décélération, d'accélération ou d'entrecroisement.

- **Les lignes mixtes :**

Sont des lignes continues doublées par des lignes discontinues du type T1 dans le cas général (Figure VII.8).



Figure VII.8 : Ligne mixte

- ❖ **Marques transversales :**

Elles sont utilisées pour le marquage, on distingue :

- **Les lignes transversales :**

Pour les lignes transversales, la modulation **T'2** comporte alternativement 0,5 mètre de trait et 0,5 mètre de vide (Figure VII.9).

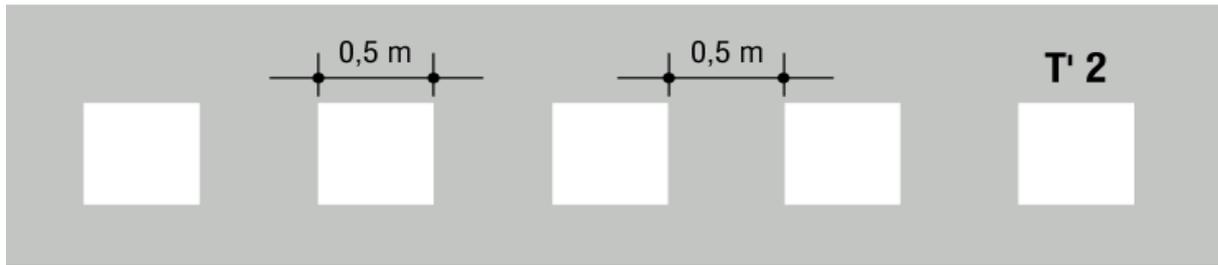


Figure VII.9 : Les lignes transversales

- **Ligne de stop :**

C'est une ligne continue qui oblige les usagers à marquer un arrêt.

- **Ligne de cédez le passage :**

Une marque routière transversale discontinue blanche qui a pour objet d'indiquer aux conducteurs la règle de priorité s'appliquant à l'intersection de deux voies.

- **Ligne feux de circulation :**

C'est une ligne discontinue qui indique l'emplacement où les véhicules doivent s'arrêter en amont des feux tricolores.

- ❖ **Autres signalisations :**

- **Les flèches de rabattement :**

Ces flèches légèrement incurvées signalent aux usagers qu'ils doivent emprunter la voie située du côté qu'elles indiquent (Figure VII.10).

- **Les flèches de sélection :**

Ces flèches situées au milieu d'une voie signalent aux usagers, notamment à proximité des intersections, qu'ils doivent suivre la direction indiquée.

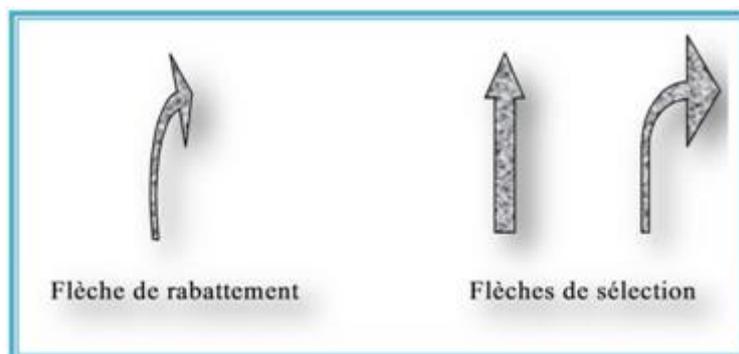


Figure VII.10 : Flèche de signalisation

VII.6 LARGEUR DES LIGNES :

La largeur des lignes est définie par rapport à une largeur unité « U » différente suivant le type de route :

U = 7.5cm sur autoroutes et voies rapides urbaines.

U = 6cm sur les routes et voies urbaines.

U = 5cm sur les autres routes.

**DEVIS QUANTITATIF
ET ESTIMATIF**

N°	Désignation des travaux	U	Quantité	P. U (DA)	Montant (H.T)
1- TERRASSEMENT					
1.1	Déblais en terrain de toute nature confondu	M ³	49394	300.00	14818200.00
1.2	Remblais en provenance d'emprunt y compris transport	M ³	83646	400.00	33458400.00
1.3	Décapage de la terre végétale	M ³	6174	300.00	1852200.00
<i>Sous total :</i>					50128800.00
2- CORPS DE CHAUSSEE					
2.1	F/Pose couche de fondation en GNT sur 20 cm d'épaisseur	M ³	15200	1200.00	18240000.00
2.2	F/Pose couche de base en GB sur 14 cm d'épaisseur	T	24010	6200.00	148862000.00
2.3	F/Pose couche de roulement en BB sur 8 cm d'épaisseur	T	13440	6500.00	87360000.00
2.4	Rechargement des accotements en GNT	M ³	8400	1500.00	12600000.00
2.5	Couche d'imprégnation en cut- back 0/1	M ²	70000	60.00	4200000.00
<i>Sous total :</i>					271262000.00
3- ASSAINISSEMENT					
3.1	Prolongement d'ouvrages busés Ø1000	U	5	50 000.00	250000.00
3.2	Fossés bétonnés	ML	4878	2 000.00	9756000.00
<i>Sous total :</i>					10006000.00
4- SIGNALISATION					
4.1	Signalisation	F	1%		3313968.00
<i>Sous total :</i>					3313968.00
Total (H.T)					334710768.00
TVA 19%					63595046.00
Total (T.T.C)					398305814.00

Le devis en T.T.C s'élève à la somme de :

Trois cent quatre-vingt-dix-huit millions trois cent cinq mille huit cent quatorze dinars

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

Ce présent travail de fin d'étude était l'occasion pour perfectionner nos modestes connaissances dans le domaine des travaux publics et en particulier celui des routes.

Ce projet de fin d'étude est considéré pour nous comme une première expérience de projet réel à réaliser. Il a été une occasion pour mettre en application nos connaissances théoriques acquises pendant notre cycle de formation et de pouvoir les appliquer sur le terrain.

De plus une occasion pour nous d'approfondir nos connaissances et de mieux maîtriser l'outil informatique en l'occurrence les logiciels AUTOPISTE, AUTOCAD et COVADIS.

Le travail que nous avons effectué consiste à chercher les caractéristiques géométriques d'un tronçon de dédoublement tout en respectant les normes techniques en vigueur et en tenant compte, du confort, de la sécurité des usagers ainsi que de l'aspect économique du projet.

Il était pour nous d'une part l'occasion de tirer profit de l'expérience des personnes du domaine et d'autre part d'apprendre une méthodologie rationnelle à suivre pour élaborer un projet des travaux publics.

Nous espérons acquérir plus dans notre vie professionnelle et toucher les grands projets concernant le domaine des travaux publics et surtout côtoyer des professionnels du métier.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Référence bibliographique

Ouvrages

- SETRA, Guide technique d'assainissement routier, octobre 2006
- B40 (normes techniques d'aménagement des routes)
- LTPS Antenne (Laboratoire des Travaux Publics du Sud) Rapport géotechnique
- CTTTP(2010) « catalogue de dimensionnement des chaussées»
- R. Coquand. « Routes ». Tomes 1 et 2, Edition Eyrolles.
- G. Jeuffroy & J. Sauterey. « Cours de routes : dimensionnement des chaussées ». Presses de l'école Nationale des ponts et chaussées, France.
- M. Faure. « Cours des routes ». Tomes 1 et 2. Aléas
- Cours de Constructions Routières « Tome 1 ». Préparé par : BANNOUR Abdelilah Doctorant en Génie Civil, Année 2013-2014.

Autres

- Aides mémoire Routes.
- Wikipidia

Logiciels utilisés

- Autocad 2007
- Covadis 10.1
- Autopiste
- Google Earth pro

ANNEXES

ANNEXE 01 : ETUDE GEOTECHNIQUE

DESCRIPTION GEOTECHNIQUE DU SOL SUPPORT				
Numéro du puits	Désignation	PK	Nature du sol support	Profondeur du puits (cm)
N° 01	P01	243+000	Sable limoneux	60 - 90
N° 02	P02	244+000	sable graveleux	50 - 80
N° 03	P03	245+000	Grave sablo caillouteux	50 - 80
N° 04	P04	246+000	Sable limoneux graveleux	80 - 100
N° 05	P05	247+000	Sable graveleux limoneux	50 - 90
N° 06	P06	248+000	Grave limoneux sableux	80 - 100
N° 07	P07	249+000	Grave caillouteux sableux	70 - 110
N° 08	P08	250+000	Sable limoneux	50 - 90
N° 09	P09	251+000	Sable limoneux graveleux	60 - 70
N° 10	P10	252+000	Sable limoneux graveleux	70 - 80
N° 11	P11	253+000	Sable graveleux limoneux	60 - 90
N° 12	P12	254+000	Sable graveleux limoneux	50 - 70
N° 13	P13	255+000	Sable limoneux graveleux	80 - 110
N° 14	P14	256+000	Sable graveleux limoneux	60 - 100
N° 15	P15	257+000	Sable graveleux limoneux	70 - 100
N° 16	P16	258+000	Limon sableux graveleux	60 - 80
N° 17	P17	259+000	Sable graveleux limoneux	80 - 120
N° 18	P18	260+000	Grave sableuse	80 - 110
N° 19	P19	261+000	Limon sableux graveleux	70 - 80
N° 20	P20	262+000	Limon sableux graveleux	40 - 70
N° 21	P21	263+000	Limon sableux graveleux	80 - 110
N° 22	P22	264+000	Limon Graveleux sableux	60 - 80
N° 23	P23	265+000	Sable limoneux graveleux	70 - 80
N° 24	P24	266+000	Limon sableux graveleux	80 - 100
N° 25	P25	267+000	Grave sablo limoneux	70 - 90

Puits	Les essais d'identification										
	Analyse granulométrique (%)							Limites d'Atterberg			ES (%)
	<31.5 mm	< 10 mm	< 02 mm	< 01 Mm	< 0.4 mm	< 0.2 mm	< 0.08 mm	LL (%)	LP (%)	IP (%)	
N°01	100	100	98	94	84	65	48	37.94	19.24	18.70	23.12
N°02	100	98	90	87	78	56	45	35.12	17.43	17.59	09.65
N°03	73	60	41	35	30	22	16	23.45	15.08	08.37	29.62
N°04	93	89	78	74	76	64	60	36.34	17.03	19.31	14.53
N°05	68	60	47	43	40	31	26	34.74	20.04	14.70	19.45
N°06	72	58	48	46	44	42	38	34.61	16.45	18.16	14.74
N°07	73	60	40	34	30	22	16	31.54	22.40	09.14	26.33
N°08	100	100	98	95	86	46	22	34.11	16.20	19.91	13.88
N°09	100	98	94	86	78	48	38	36.99	22.67	14.32	09.67
N°10	96	95	92	85	76	47	28	35.91	16.97	18.94	17.44
N°11	82	60	41	35	30	22	16	30.88	21.76	09.12	22.84
N°12	96	90	77	68	57	32	16	38.80	18.46	20.34	14.69
N°13	100	100	94	91	90	43	20	39.34	25.62	13.72	11.23
N°14	94	87	76	70	66	33	15	22.58	10.35	12.43	18.04
N°15	100	94	86	80	68	40	23	41.67	26.72	14.95	16.83
N°16	98	86	72	69	65	50	44	28.47	13.46	15.01	08.34
N°17	94	84	70	63	56	40	28	31.58	16.19	15.39	17.56
N°18	86	72	58	54	50	43	38	30.43	21.50	08.93	26.29
N°19	100	90	81	78	71	53	42	45.69	28.91	16.78	15.46
N°20	99	95	85	80	75	62	54	48.53	23.22	25.31	10.43
N°21	100	92	84	80	76	58	50	34.43	21.74	12.69	12.66
N°22	95	86	77	74	70	66	62	47.73	24.87	22.86	10.88
N°23	96	92	75	68	61	46	38	41.72	26.01	15.71	18.94
N°24	98	94	84	81	76	64	58	44.67	22.23	22.44	16.40
N°25	78	62	57	50	46	26	22	39.69	25.72	13.97	21.73

Sachant que :

- **LL. Limite de liquidité**
- **LP. Limite de plasticité**
- **IP. Indice de plasticité**
- **ES. Equivalent de sable**

Puits		Les essais mécaniques des puits d'axe				
		Caractéristiques Proctor		Indice CBR Imbibé (4Jours)	Classe de portance	Classification selon NFP 11- 300
		Teneur en eau optimale (%)	Densité sèche maximale (t/m³)			
N°01	P01	08.30	1.94	13.27	S2	A2
N°02	P02	09.40	1.96	14.98	S2	A2
N°03	P03	10.80	1.88	14.67	S2	C2A2
N°04	P04	10.20	2.07	13.34	S2	A2
N°05	P05	08.70	1.99	13.15	S2	C2A2
N°06	P06	07.30	2.01	14.65	S2	C2A2
N°07	P07	06.20	2.15	13.50	S2	C2A2
N°08	P08	08.80	1.97	17.21	S2	B6
N°09	P09	07.40	1.98	21.02	S2	A2
N°10	P10	09.40	1.99	15.82	S2	B6
N°11	P11	10.30	1.95	13.97	S2	B6
N°12	P12	08.90	1.93	17.15	S2	B6
N°13	P13	06.30	1.90	12.68	S2	B6
N°14	P14	7.70	1.95	16.33	S2	B6
N°15	P15	09.60	1.99	19.20	S2	B6
N°16	P16	08.50	1.98	15.64	S2	A1
N°17	P17	08.60	1.92	07.07	S3	B6
N°18	P18	09.02	1.94	12.43	S2	C2A2
N°19	P19	08.40	1.98	14.43	S2	A2
N°20	P20	9.30	1.95	11.37	S2	A2
N°21	P21	09.80	1.90	11.65	S2	A2
N°22	P22	7.90	1.92	13.06	S2	A2
N°23	P23	10.20	2.00	11.79	S2	A2
N°24	P24	09.60	1.98	12.78	S2	A2
N°25	P25	10.30	1.94	12.72	S2	C2A2

<i>Les essais chimiques</i>				
<i>Echantillon</i>		<i>Caractéristiques</i>		
		<i>Insolubles (%) NP15- 461</i>	<i>Sulfates (%) BS1377</i>	<i>Carbonates (%) NFP15- 461</i>
<i>N°01</i>	<i>P01</i>	<i>42</i>	<i>0.45</i>	<i>56</i>
<i>N°02</i>	<i>P02</i>	<i>51</i>	<i>Néant</i>	<i>44</i>
<i>N°03</i>	<i>P03</i>	<i>55</i>	<i>Néant</i>	<i>40</i>
<i>N°04</i>	<i>P04</i>	<i>61</i>	<i>1.56</i>	<i>33</i>
<i>N°05</i>	<i>P05</i>	<i>65</i>	<i>Néant</i>	<i>29</i>
<i>N°06</i>	<i>P06</i>	<i>63</i>	<i>Néant</i>	<i>32</i>
<i>N°07</i>	<i>P07</i>	<i>45</i>	<i>Néant</i>	<i>49</i>
<i>N°08</i>	<i>P08</i>	<i>51</i>	<i>Néant</i>	<i>42</i>
<i>N°09</i>	<i>P09</i>	<i>48</i>	<i>Néant</i>	<i>48</i>
<i>N°10</i>	<i>P10</i>	<i>45</i>	<i>Néant</i>	<i>51</i>
<i>N°11</i>	<i>P11</i>	<i>67</i>	<i>0.42</i>	<i>28</i>
<i>N°12</i>	<i>P12</i>	<i>42</i>	<i>Néant</i>	<i>51</i>
<i>N°13</i>	<i>P13</i>	<i>48</i>	<i>Néant</i>	<i>47</i>
<i>N°14</i>	<i>P14</i>	<i>33</i>	<i>Néant</i>	<i>62</i>
<i>N°15</i>	<i>P15</i>	<i>46</i>	<i>Néant</i>	<i>47</i>
<i>N°16</i>	<i>P16</i>	<i>58</i>	<i>Néant</i>	<i>35</i>
<i>N°17</i>	<i>P17</i>	<i>71</i>	<i>Néant</i>	<i>25</i>
<i>N°18</i>	<i>P18</i>	<i>67</i>	<i>Néant</i>	<i>24</i>
<i>N°19</i>	<i>P19</i>	<i>44</i>	<i>Néant</i>	<i>47</i>
<i>N°20</i>	<i>P20</i>	<i>33</i>	<i>Néant</i>	<i>62</i>
<i>N°21</i>	<i>P21</i>	<i>48</i>	<i>Néant</i>	<i>45</i>
<i>N°22</i>	<i>P22</i>	<i>63</i>	<i>Néant</i>	<i>40</i>
<i>N°23</i>	<i>P23</i>	<i>56</i>	<i>1.77</i>	<i>41</i>
<i>N°24</i>	<i>P24</i>	<i>69</i>	<i>Néant</i>	<i>26</i>
<i>N°25</i>	<i>P25</i>	<i>71</i>	<i>Néant</i>	<i>22</i>

ANNEXE 02 : CUBATURES DE TERRASSEMENTS

Cubatures Déblai Remblai (compensé)

Num.	Abscisse	Longueur	Surfaces		Volumes Partiels		Volumes Cumulés	
			Déblai	Remblai	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
P.1	0.000	20.00	6.58	0.70	131.632	14.020	132	14
P.2	40.000	40.00	4.02	0.76	160.814	30.436	292	44
P.3	80.000	40.00	15.49	0.58	619.758	23.062	912	68
P.4	120.000	28.82	1.00	10.41	28.874	300.112	941	368
P.5	137.649	8.82	0.00	12.74	0.000	112.441	941	480

Num	Abscisse	Longueur	Surfaces		Volumes Partiels		Volumes Cumulés	
			Déblai	Remblai	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
P.1	0.000	20.00	7.07	1.17	141.470	23.344	141	23
P.2	40.000	40.00	14.54	0.00	581.447	0.179	723	24
P.3	80.000	40.00	21.32	0.01	852.791	0.535	1576	24
P.4	120.000	40.00	31.01	0.17	1240.245	6.961	2816	31
P.5	160.000	40.00	20.49	0.13	819.401	5.271	3635	36
P.6	200.000	40.00	5.91	8.45	236.530	338.018	3872	374
P.7	240.000	40.00	0.00	18.63	0.000	745.027	3872	1119
P.8	280.000	40.00	0.00	32.75	0.000	1309.860	3872	2429
P.9	320.000	40.00	0.00	33.74	0.000	1349.696	3872	3779
P.10	360.000	40.00	0.00	40.63	0.000	1625.287	3872	5404
P.11	400.000	40.00	0.00	45.94	0.000	1837.713	3872	7242
P.12	440.000	40.00	0.00	38.75	0.000	1549.334	3872	8791
P.13	480.000	40.00	0.00	27.05	0.000	1082.600	3872	9874
P.14	520.000	40.00	0.03	17.34	1.267	694.494	3873	10568
P.15	560.000	40.00	6.33	7.27	252.540	291.939	4126	10860
P.16	600.000	40.00	7.26	3.84	289.188	154.166	4415	11014
P.17	640.000	40.00	4.56	0.99	181.693	39.821	4597	11054
P.18	680.000	40.00	8.08	1.21	322.015	48.513	4919	11103
P.19	720.000	40.00	2.24	9.35	89.426	375.261	5008	11478
P.20	760.000	40.00	0.00	22.60	0.000	904.120	5008	12382
P.21	800.000	40.00	0.00	43.60	0.000	1744.079	5008	14126
P.22	840.000	40.00	0.00	58.25	0.000	2330.017	5008	16456
P.23	880.000	40.00	0.00	80.74	0.000	3229.748	5008	19686
P.24	920.000	40.00	0.00	74.12	0.000	2964.772	5008	22651
P.25	960.000	40.00	0.00	68.38	0.000	2735.319	5008	25386
P.26	1000.000	40.00	0.00	54.79	0.000	2191.479	5008	27578
P.27	1040.000	40.00	0.00	39.58	0.000	1583.267	5008	29161
P.28	1080.000	40.00	0.00	22.00	0.000	880.146	5008	30041
P.29	1120.000	40.00	6.95	0.41	278.186	16.225	5286	30057
P.30	1160.000	40.00	36.45	0.01	1458.052	0.200	6744	30057
P.31	1200.000	40.00	24.34	0.01	973.575	0.201	7718	30058
P.32	1240.000	40.00	31.15	0.01	1246.007	0.201	8964	30058
P.33	1280.000	40.00	38.29	0.01	1531.497	0.202	10495	30058
P.34	1320.000	40.00	40.34	0.01	1613.646	0.202	12109	30058
P.35	1360.000	40.00	34.81	0.01	1392.303	0.200	13501	30058
P.36	1400.000	40.00	24.89	0.01	995.672	0.200	14497	30059
P.37	1440.000	40.00	20.78	0.00	831.134	0.189	15328	30059
P.38	1480.000	40.00	18.94	0.00	757.498	0.189	16086	30059
P.39	1520.000	40.00	12.25	0.07	490.154	2.633	16576	30062
P.40	1560.000	40.00	11.10	0.00	443.870	0.199	17020	30062
P.41	1600.000	40.00	4.94	0.51	197.401	20.412	17217	30082
P.42	1640.000	40.00	1.10	3.00	43.820	119.984	17261	30202
P.43	1680.000	40.00	0.00	9.75	0.000	389.981	17261	30592
P.44	1720.000	40.00	0.00	16.28	0.000	651.225	17261	31243
P.45	1760.000	40.00	0.00	23.58	0.000	943.233	17261	32187
P.46	1800.000	40.00	0.00	35.86	0.000	1434.381	17261	33621

P.47	1840.000	40.00	0.00	51.45	0.000	2057.956	17261	35679
P.48	1880.000	40.00	0.00	65.78	0.000	2631.247	17261	38310
P.49	1920.000	40.00	0.00	66.99	0.000	2679.761	17261	40990
P.50	1960.000	40.00	0.00	57.96	0.000	2318.205	17261	43308
P.51	2000.000	40.00	0.00	39.44	0.000	1577.738	17261	44886
P.52	2040.000	40.00	0.00	27.77	0.000	1110.657	17261	45997
P.53	2080.000	40.00	0.00	25.29	0.000	1011.489	17261	47008
P.54	2120.000	40.00	0.00	24.13	0.000	965.291	17261	47973
P.55	2160.000	40.00	0.00	16.57	0.000	662.837	17261	48636
P.56	2200.000	40.00	0.07	5.76	2.774	230.410	17264	48867
P.57	2240.000	40.00	3.50	1.44	139.912	57.490	17404	48924
P.58	2280.000	40.00	11.90	0.00	476.101	0.198	17880	48924
P.59	2320.000	40.00	21.40	0.01	856.128	0.201	18736	48925
Num	Abscisse	Longueur	Surfaces		Volumes Partiels		Volumes Cumulés	
			Déblai	Remblai	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
P.60	2360.000	40.00	39.04	0.01	1561.572	0.200	20297	48925
P.61	2400.000	40.00	30.63	0.01	1225.048	0.201	21522	48925
P.62	2440.000	40.00	20.58	0.01	823.359	0.200	22346	48925
P.63	2480.000	40.00	13.44	1.14	537.530	45.420	22883	48971
P.64	2520.000	40.00	7.92	1.97	316.871	78.881	23200	49049
P.65	2560.000	40.00	5.70	0.59	227.897	23.690	23428	49073
P.66	2600.000	40.00	5.79	1.08	231.638	43.039	23660	49116
P.67	2640.000	40.00	1.82	4.91	73.348	195.350	23733	49311
P.68	2680.000	40.00	0.00	7.60	0.000	303.567	23733	49615
P.69	2720.000	40.00	0.00	10.66	0.000	427.214	23733	50042
P.70	2760.000	40.00	0.78	2.70	31.044	107.984	23764	50150
P.71	2800.000	40.00	2.81	1.52	112.439	60.966	23876	50211
P.72	2840.000	33.70	5.74	0.65	193.362	21.763	24070	50233
P.73	2867.410	13.70	6.71	0.52	92.025	7.153	24162	50240

Num.	Abscisse	Longueur	Surfaces		Volumes Partiels		Volumes Cumulés	
			Déblai	Remblai	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
P.1	0.000	20.00	6.69	0.43	133.857	8.632	134	9
P.2	40.000	40.00	12.83	0.64	513.235	25.778	647	34
P.3	80.000	40.00	30.39	0.00	1215.650	0.191	1863	35
P.4	120.000	40.00	38.20	0.00	1527.880	0.191	3391	35
P.5	160.000	40.00	36.76	0.00	1470.394	0.197	4861	35
P.6	200.000	40.00	42.72	0.00	1708.996	0.198	6570	35
P.7	240.000	40.00	50.02	0.01	2000.849	0.207	8571	35
P.8	280.000	40.00	47.68	0.01	1907.232	0.204	10478	36
P.9	320.000	40.00	36.87	0.01	1474.654	0.203	11953	36
P.10	360.000	40.00	13.78	0.74	551.066	29.504	12504	65
P.11	400.000	40.00	8.83	4.53	353.307	181.285	12857	247
P.12	440.000	40.00	0.00	12.93	0.000	517.150	12857	764
P.13	480.000	40.00	8.26	2.32	330.205	92.933	13187	857
P.14	520.000	40.00	19.05	0.20	761.941	8.160	13949	865
P.15	560.000	40.00	26.51	0.00	1060.242	0.198	15010	865
P.16	600.000	40.00	34.08	0.00	1363.155	0.192	16373	865
P.17	640.000	40.00	23.52	0.00	940.882	0.200	17314	865
P.18	680.000	40.00	11.80	0.99	472.051	39.624	17786	905
P.19	720.000	40.00	3.69	4.88	147.239	195.891	17933	1101
P.20	760.000	40.00	0.00	16.41	0.000	658.571	17933	1760
P.21	800.000	40.00	0.00	26.39	0.000	1057.722	17933	2817
P.22	840.000	40.00	0.00	23.46	0.000	940.174	17933	3757
P.23	880.000	39.77	0.00	13.27	0.000	529.272	17933	4287

P.24	919.531	19.77	5.33	0.62	105.267	12.194	18038	4299
------	---------	-------	------	------	---------	--------	-------	------

Num.	Abscisse	Longueur	Surfaces		Volumes Partiels		Volumes Cumulés	
			Déblai	Remblai	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
P.1	0.000	20.00	7.80	0.73	155.946	14.700	156	15
P.2	40.000	40.00	16.59	0.05	663.455	1.832	819	17
P.3	80.000	40.00	17.07	0.01	682.897	0.290	1502	17
P.4	120.000	40.00	16.91	0.00	676.570	0.189	2179	17
P.5	160.000	40.00	20.54	0.01	821.515	0.207	3000	17
P.6	200.000	40.00	31.23	0.01	1249.349	0.212	4250	17
P.7	240.000	40.00	31.47	0.01	1258.783	0.343	5509	18
P.8	280.000	40.00	15.47	0.89	618.808	35.702	6127	53
P.9	320.000	40.00	0.44	10.20	17.751	407.864	6145	461
P.10	360.000	40.00	0.00	45.80	0.000	1832.031	6145	2293
P.11	400.000	40.00	0.00	69.10	0.000	2764.116	6145	5057
P.12	440.000	40.00	0.00	54.05	0.000	2161.892	6145	7219
P.13	480.000	40.00	0.00	53.89	0.000	2155.554	6145	9375
P.14	520.000	40.00	0.00	41.25	0.000	1650.200	6145	11025
P.15	560.000	40.00	0.00	45.29	0.000	1811.678	6145	12837
P.16	600.000	40.00	0.00	65.47	0.000	2618.791	6145	15456
P.17	640.000	40.00	0.00	72.97	0.000	2918.989	6145	18375
P.18	680.000	40.00	0.00	70.24	0.000	2809.505	6145	21184
P.19	720.000	40.00	0.00	65.21	0.000	2608.545	6145	23793
P.20	760.000	40.00	0.00	54.01	0.000	2160.271	6145	25953
P.21	800.000	40.00	0.00	38.90	0.000	1556.004	6145	27509
P.22	840.000	40.00	0.00	23.43	0.000	937.099	6145	28446
P.23	880.000	35.17	0.00	5.08	0.000	178.807	6145	28625
P.24	910.332	15.17	7.15	0.15	108.428	2.295	6253	28627

Cubatures Décapage (compensé)

Num	Abscisse	Lg Ap.	Décapage		Surface En Coupe	Volumes		Surfaces en plan	
			Gauche	Droite		Partiels	Cumulés	Partielles	Cumulées
P.1	0.000	20.00	0.10	Aucun	1.16	23.133	23.133	231.33	231.33
P.2	40.000	40.00	0.10	Aucun	1.20	48.114	71.247	481.14	712.47
P.3	80.000	40.00	0.10	Aucun	1.33	53.125	124.372	531.25	1243.72
P.4	120.000	28.82	0.10	Aucun	1.25	35.973	160.345	359.73	1603.45
P.5	137.649	8.82	0.10	Aucun	1.25	11.013	171.358	110.13	1713.58

Num.	Abscisse	Lg Ap.	Décapage		Surface En Coupe	Volumes		Surfaces en plan	
			Gauche	Droite		Partiels	Cumulés	Partielles	Cumulées
P.1	0.000	20.00	0.10	Aucun	1.18	23.505	23.505	235.05	235.05
P.2	40.000	40.00	0.10	Aucun	1.22	48.801	72.306	488.01	723.06
P.3	80.000	40.00	0.10	Aucun	1.30	51.941	124.247	519.41	1242.47
P.4	120.000	40.00	0.10	Aucun	1.34	53.684	177.930	536.84	1779.30
P.5	160.000	40.00	0.10	Aucun	1.29	51.430	229.360	514.30	2293.60
P.6	200.000	40.00	0.10	Aucun	1.16	46.250	275.610	462.50	2756.10
P.7	240.000	40.00	0.10	Aucun	1.23	49.084	324.694	490.84	3246.94
P.8	280.000	40.00	0.10	Aucun	1.32	52.601	377.294	526.01	3772.94
P.9	320.000	40.00	0.10	Aucun	1.32	52.848	430.143	528.48	4301.43
P.10	360.000	40.00	0.10	Aucun	1.34	53.692	483.835	536.92	4838.35
P.11	400.000	40.00	0.10	Aucun	1.39	55.477	539.312	554.77	5393.12
P.12	440.000	40.00	0.10	Aucun	1.37	54.733	594.045	547.33	5940.45
P.13	480.000	40.00	0.10	Aucun	1.28	50.941	644.987	509.41	6449.87
P.14	520.000	40.00	0.10	Aucun	1.23	49.076	694.063	490.76	6940.63
P.15	560.000	40.00	0.10	Aucun	1.22	48.459	742.521	484.59	7425.21
P.16	600.000	40.00	0.10	Aucun	1.23	49.019	791.541	490.19	7915.41
P.17	640.000	40.00	0.10	Aucun	1.20	47.836	839.377	478.36	8393.77
P.18	680.000	40.00	0.10	Aucun	1.26	50.027	889.404	500.27	8894.04
P.19	720.000	40.00	0.10	Aucun	1.15	45.914	935.318	459.14	9353.18
P.20	760.000	40.00	0.10	Aucun	1.21	48.479	983.797	484.79	9837.97
P.21	800.000	40.00	0.10	Aucun	1.35	54.172	1037.969	541.72	10379.69
P.22	840.000	40.00	0.10	Aucun	1.43	57.303	1095.272	573.03	10952.72
P.23	880.000	40.00	0.10	Aucun	1.49	59.757	1155.029	597.57	11550.29
P.24	920.000	40.00	0.10	Aucun	1.48	59.092	1214.121	590.92	12141.21
P.25	960.000	40.00	0.10	Aucun	1.45	58.161	1272.282	581.61	12722.82
P.26	1000.000	40.00	0.10	Aucun	1.40	56.138	1328.420	561.38	13284.20
P.27	1040.000	40.00	0.10	Aucun	1.35	53.994	1382.414	539.94	13824.14
P.28	1080.000	40.00	0.10	Aucun	1.29	51.550	1433.964	515.50	14339.64
P.29	1120.000	40.00	0.10	Aucun	1.20	48.008	1481.973	480.08	14819.73
P.30	1160.000	40.00	0.10	Aucun	1.32	52.755	1534.727	527.55	15347.27
P.31	1200.000	40.00	0.10	Aucun	1.29	51.573	1586.301	515.73	15863.01
P.32	1240.000	40.00	0.10	Aucun	1.31	52.413	1638.714	524.13	16387.14
P.33	1280.000	40.00	0.10	Aucun	1.34	53.431	1692.145	534.31	16921.45
P.34	1320.000	40.00	0.10	Aucun	1.33	53.003	1745.148	530.03	17451.48
P.35	1360.000	40.00	0.10	Aucun	1.29	51.458	1796.606	514.58	17966.06
P.36	1400.000	40.00	0.10	Aucun	1.23	49.398	1846.004	493.98	18460.04
P.37	1440.000	40.00	0.10	Aucun	1.21	48.428	1894.431	484.28	18944.31
P.38	1480.000	40.00	0.10	Aucun	1.25	49.992	1944.423	499.92	19444.23
P.39	1520.000	40.00	0.10	Aucun	1.21	48.291	1992.714	482.91	19927.14
P.40	1560.000	40.00	0.10	Aucun	1.22	48.780	2041.494	487.80	20414.94
P.41	1600.000	40.00	0.10	Aucun	1.21	48.286	2089.781	482.86	20897.81
P.42	1640.000	40.00	0.10	Aucun	1.16	46.229	2136.010	462.29	21360.10
P.43	1680.000	40.00	0.10	Aucun	1.19	47.625	2183.635	476.25	21836.35
P.44	1720.000	40.00	0.10	Aucun	1.21	48.586	2232.222	485.86	22322.22
P.45	1760.000	40.00	0.10	Aucun	1.24	49.703	2281.925	497.03	22819.25
P.46	1800.000	40.00	0.10	Aucun	1.30	52.195	2334.120	521.95	23341.20
P.47	1840.000	40.00	0.10	Aucun	1.41	56.406	2390.526	564.06	23905.26
P.48	1880.000	40.00	0.10	Aucun	1.49	59.601	2450.127	596.01	24501.27
P.49	1920.000	40.00	0.10	Aucun	1.48	59.077	2509.204	590.77	25092.04
P.50	1960.000	40.00	0.10	Aucun	1.43	57.192	2566.395	571.92	25663.95
P.51	2000.000	40.00	0.10	Aucun	1.33	53.315	2619.711	533.15	26197.11
P.52	2040.000	40.00	0.10	Aucun	1.25	49.922	2669.632	499.22	26696.32
P.53	2080.000	40.00	0.10	Aucun	1.24	49.704	2719.336	497.04	27193.36
P.54	2120.000	40.00	0.10	Aucun	1.26	50.340	2769.677	503.40	27696.77
P.55	2160.000	40.00	0.10	Aucun	1.23	49.091	2818.768	490.91	28187.68
P.56	2200.000	40.00	0.10	Aucun	1.18	47.175	2865.943	471.75	28659.43
P.57	2240.000	40.00	0.10	Aucun	1.15	46.078	2912.022	460.78	29120.22
P.58	2280.000	40.00	0.10	Aucun	1.25	49.870	2961.891	498.70	29618.91
P.59	2320.000	40.00	0.10	Aucun	1.29	51.793	3013.684	517.93	30136.84

Num.	Abscisse	Lg Ap.	Décapage		Surface En Coupe	Volumes		Surfaces en plan	
			Gauche	Droite		Partiels	Cumulés	Partielles	Cumulées
P.60	2360.000	40.00	0.10	Aucun	1.35	53.810	3067.494	538.10	30674.94
P.61	2400.000	40.00	0.10	Aucun	1.32	52.819	3120.313	528.19	31203.13
P.62	2440.000	40.00	0.10	Aucun	1.24	49.674	3169.987	496.74	31699.87
P.63	2480.000	40.00	0.10	Aucun	1.17	46.974	3216.961	469.74	32169.61
P.64	2520.000	40.00	0.10	Aucun	1.19	47.556	3264.517	475.56	32645.17
P.65	2560.000	40.00	0.10	Aucun	1.21	48.306	3312.823	483.06	33128.23
P.66	2600.000	40.00	0.10	Aucun	1.22	48.818	3361.641	488.18	33616.41
P.67	2640.000	40.00	0.10	Aucun	1.21	48.682	3410.323	486.82	34103.23
P.68	2680.000	40.00	0.10	Aucun	1.17	47.218	3457.542	472.18	34575.42
P.69	2720.000	40.00	0.10	Aucun	1.22	49.060	3506.602	490.60	35066.02
P.70	2760.000	40.00	0.10	Aucun	1.18	47.419	3554.021	474.19	35540.21
P.71	2800.000	40.00	0.10	Aucun	1.17	46.667	3600.688	466.67	36006.88
P.72	2840.000	33.70	0.10	Aucun	1.15	38.869	3639.557	388.69	36395.57
P.73	2867.410	13.70	0.10	Aucun	1.15	15.761	3655.318	157.61	36553.18

Num.	Abscisse	Lg Ap.	Décapage		Surface En Coupe	Volumes		Surfaces en plan	
			Gauche	Droite		Partiels	Cumulés	Partielles	Cumulées
P.1	0.000	20.00	0.10	Aucun	1.15	23.070	23.070	230.70	230.70
P.2	40.000	40.00	0.10	Aucun	1.16	46.342	69.412	463.42	694.12
P.3	80.000	40.00	0.10	Aucun	1.27	50.833	120.245	508.33	1202.45
P.4	120.000	40.00	0.10	Aucun	1.28	51.009	171.254	510.09	1712.54
P.5	160.000	40.00	0.10	Aucun	1.24	49.622	220.876	496.22	2208.76
P.6	200.000	40.00	0.10	Aucun	1.33	53.084	273.960	530.84	2739.60
P.7	240.000	40.00	0.10	Aucun	1.38	55.291	329.251	552.91	3292.51
P.8	280.000	40.00	0.10	Aucun	1.40	55.851	385.102	558.51	3851.02
P.9	320.000	40.00	0.10	Aucun	1.36	54.232	439.334	542.32	4393.34
P.10	360.000	40.00	0.10	Aucun	1.16	46.546	485.879	465.46	4858.79
P.11	400.000	40.00	0.10	Aucun	1.23	49.342	535.222	493.42	5352.22
P.12	440.000	40.00	0.10	Aucun	1.23	49.398	584.620	493.98	5846.20
P.13	480.000	40.00	0.10	Aucun	1.19	47.758	632.378	477.58	6323.78
P.14	520.000	40.00	0.10	Aucun	1.20	48.003	680.380	480.03	6803.80
P.15	560.000	40.00	0.10	Aucun	1.24	49.630	730.010	496.30	7300.10
P.16	600.000	40.00	0.10	Aucun	1.28	51.182	781.192	511.82	7811.92
P.17	640.000	40.00	0.10	Aucun	1.22	48.706	829.898	487.06	8298.98
P.18	680.000	40.00	0.10	Aucun	1.17	46.795	876.693	467.95	8766.93
P.19	720.000	40.00	0.10	Aucun	1.21	48.561	925.253	485.61	9252.53
P.20	760.000	40.00	0.10	Aucun	1.27	51.060	976.313	510.60	9763.13
P.21	800.000	40.00	0.10	Aucun	1.31	52.846	1029.159	528.46	10291.59
P.22	840.000	40.00	0.10	Aucun	1.29	52.083	1081.242	520.83	10812.42
P.23	880.000	39.77	0.10	Aucun	1.25	50.228	1131.470	502.28	11314.70

P.24	919.531	19.77	0.10	Aucun	1.15	22.825	1154.296	228.25	11542.96
------	---------	-------	------	-------	------	--------	----------	--------	----------

Num.	Abscisse	Lg Ap.	Décapage		Surface En Coupe	Volumes		Surfaces en plan	
			Gauche	Droite		Partiels	Cumulés	Partielles	Cumulées
P.1	0.000	20.00	0.10	Aucun	1.25	24.998	24.998	249.98	249.98
P.2	40.000	40.00	0.10	Aucun	1.28	51.304	76.301	513.04	763.01
P.3	80.000	40.00	0.10	Aucun	1.27	50.775	127.077	507.75	1270.77
P.4	120.000	40.00	0.10	Aucun	1.27	50.724	177.800	507.24	1778.00
P.5	160.000	40.00	0.10	Aucun	1.28	51.127	228.928	511.27	2289.28
P.6	200.000	40.00	0.10	Aucun	1.28	51.055	279.983	510.55	2799.83
P.7	240.000	40.00	0.10	Aucun	1.30	51.947	331.930	519.47	3319.30
P.8	280.000	40.00	0.10	Aucun	1.15	46.056	377.985	460.56	3779.85
P.9	320.000	40.00	0.10	Aucun	1.22	48.792	426.778	487.92	4267.78
P.10	360.000	40.00	0.10	Aucun	1.33	53.054	479.832	530.54	4798.32
P.11	400.000	40.00	0.10	Aucun	1.41	56.492	536.324	564.92	5363.24
P.12	440.000	40.00	0.10	Aucun	1.35	53.874	590.197	538.74	5901.97
P.13	480.000	40.00	0.10	Aucun	1.35	54.145	644.342	541.45	6443.42
P.14	520.000	40.00	0.10	Aucun	1.33	53.219	697.561	532.19	6975.61
P.15	560.000	40.00	0.10	Aucun	1.35	54.079	751.640	540.79	7516.40
P.16	600.000	40.00	0.10	Aucun	1.43	57.198	808.838	571.98	8088.38
P.17	640.000	40.00	0.10	Aucun	1.43	57.076	865.914	570.76	8659.14
P.18	680.000	40.00	0.10	Aucun	1.40	55.821	921.735	558.21	9217.35
P.19	720.000	40.00	0.10	Aucun	1.38	55.085	976.820	550.85	9768.20
P.20	760.000	40.00	0.10	Aucun	1.35	53.927	1030.746	539.27	10307.46
P.21	800.000	40.00	0.10	Aucun	1.30	51.867	1082.614	518.67	10826.14
P.22	840.000	40.00	0.10	Aucun	1.24	49.762	1132.376	497.62	11323.76
P.23	880.000	35.17	0.10	Aucun	1.18	41.593	1173.969	415.93	11739.69
P.24	910.332	15.17	0.10	Aucun	1.21	18.333	1192.301	183.33	11923.01

ANNEXE 03: LISTING D'IMPLANTATION

Station / Référence angulaire				
	Matricule	X (m)	Y (m)	Z (m)
Station	ST.95	-2548.330	105.935	1299.163
Référence V0	ST.94	-2145.911	106.323	1302.562

Points rayonnés					
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
P.1	213.7029	333.210	-2873.919	176.790	1293.088
P.2	214.7847	293.565	-2834.079	173.225	1293.339
P.3	216.2038	254.032	-2794.239	169.660	1294.236
P.4	218.1447	214.669	-2754.397	166.095	1294.302
P.5	219.2467	197.383	-2736.818	164.522	1293.593

Station / Référence angulaire				
	Matricule	X (m)	Y (m)	Z (m)
Station	ST.94	-2145.911	106.323	1302.562
Référence V0	ST.95	-2548.330	105.935	1299.163

Points rayonnés					
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
Q.1	6.3519	583.824	-2726.888	163.917	1293.865
Q.2	6.4598	543.836	-2687.002	160.890	1294.392
Q.3	6.5773	503.847	-2647.122	157.802	1295.846
Q.4	6.7992	463.879	-2607.195	155.327	1297.530
Q.5	6.9059	423.883	-2567.347	151.808	1297.314
Q.6	7.1165	383.905	-2527.461	148.781	0.000
Q.7	7.3760	343.933	-2487.576	145.753	1297.029
Q.8	7.6951	303.966	-2447.694	142.684	1295.863
Q.9	8.1310	264.013	-2407.806	139.699	0.000
Q.10	8.7103	224.074	-2367.920	136.671	0.000
Q.11	9.5409	184.162	-2328.035	133.644	0.000
Q.12	10.8636	144.306	-2288.144	130.691	1299.667
Q.13	13.6699	104.675	-2248.204	128.528	1300.194
Q.14	20.7658	65.759	-2208.223	127.334	1299.916
Q.15	47.8076	30.495	-2168.224	127.109	1300.977
Q.16	143.8024	27.872	-2128.233	127.870	1301.238
Q.17	175.6577	62.152	-2088.270	129.568	1301.444
Q.18	183.5230	100.937	-2048.361	132.251	1301.371
Q.19	186.5618	140.530	-2008.529	135.900	0.000
Q.20	187.9229	180.384	-1968.796	140.509	1299.833
Q.21	188.6760	220.315	-1929.110	145.515	1299.152
Q.22	189.1979	260.266	-1889.425	150.520	1300.876
Q.23	189.5809	300.231	-1849.739	155.526	1297.485
Q.24	189.8739	340.204	-1810.054	160.532	1300.629
Q.25	190.1053	380.183	-1770.368	165.537	1300.506
Q.26	190.2927	420.165	-1730.683	170.543	0.000
Q.27	190.4475	460.151	-1690.997	175.549	1298.586
Q.28	190.5775	500.139	-1651.312	180.554	1299.100

Q.29	190.6883	540.129	-1611.626	185.560	0.000
Q.30	190.7838	580.120	-1571.940	190.566	1299.887
Q.31	190.8670	620.112	-1532.255	195.571	1299.764
Q.32	190.9402	660.106	-1492.569	200.577	1300.617
Q.33	191.0049	700.100	-1452.884	205.583	1299.649
Q.34	191.0627	740.094	-1413.198	210.588	0.000
Q.35	191.1145	780.089	-1373.513	215.594	1301.433
Q.36	191.1613	820.085	-1333.827	220.600	0.000
Q.37	191.2037	860.081	-1294.142	225.605	1301.064

Matricule	Angle (gr)	Distance (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
Q.38	191.2424	900.078	-1254.456	230.611	1301.985
Q.39	191.2778	940.074	-1214.770	235.617	1302.008
Q.40	191.3102	980.071	-1175.085	240.622	1302.741
Q.41	191.3402	1020.069	-1135.399	245.628	1302.863
Q.42	191.3722	1060.589	-1095.185	250.634	1302.932
Q.43	191.3935	1100.064	-1056.028	255.639	1303.192
Q.44	191.4174	1140.061	-1016.343	260.645	1303.397
Q.45	191.4396	1180.059	-976.657	265.651	0.000
Q.46	191.4604	1220.057	-936.972	270.656	1303.658
Q.47	191.4799	1260.056	-897.286	275.662	1303.924
Q.48	191.4982	1300.054	-857.600	280.668	0.000
Q.49	191.5153	1340.052	-817.915	285.673	0.000
Q.50	191.5315	1380.051	-778.229	290.679	1307.202
Q.51	191.5465	1419.998	-738.595	295.685	1305.916
Q.52	191.5612	1460.048	-698.858	300.690	1306.668
Q.53	191.5749	1500.047	-659.173	305.696	1308.619
Q.54	191.5878	1540.046	-619.487	310.702	0.000
Q.55	191.6001	1580.045	-579.802	315.707	1308.690
Q.56	191.6118	1620.045	-540.114	320.713	1309.502
Q.57	191.6230	1660.042	-500.430	325.718	1310.507
Q.58	191.6336	1700.042	-460.745	330.724	1310.980
Q.59	191.6437	1740.041	-421.059	335.730	1311.452
Q.60	191.6533	1780.040	-381.374	340.735	1313.191
Q.61	191.6626	1820.039	-341.688	345.741	1312.396
Q.62	191.6714	1860.038	-302.003	350.747	1313.546
Q.63	191.6799	1900.037	-262.317	355.752	1313.341
Q.64	191.6880	1940.036	-222.632	360.758	1313.813
Q.65	191.6958	1980.036	-182.946	365.764	1314.285
Q.66	191.7033	2020.035	-143.260	370.769	1314.745
Q.67	191.7203	2060.030	-103.538	375.459	0.000
Q.68	191.7819	2099.977	-63.669	378.665	0.000
Q.69	191.8888	2139.815	-23.704	380.266	1314.512
Q.70	192.0380	2179.491	16.293	380.280	1314.712
Q.71	192.2123	2219.035	56.279	379.222	1314.580
Q.72	192.3814	2258.590	96.264	378.133	1314.410
Q.73	192.4939	2285.705	123.664	377.386	1314.148

Station / Référence angulaire				
	Matricule	X (m)	Y (m)	Z (m)
Station	ST.89	469.940	438.706	1314.932
Référence V0	ST.90	31.525	352.548	1314.834

Points rayonnés					
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
R.1	0.7843	339.543	135.988	377.340	1314.006
R.2	398.9830	300.578	175.967	376.040	1313.723
R.3	396.6426	261.931	215.945	374.719	1313.655
R.4	393.5099	223.746	255.925	373.441	0.000
R.5	389.0974	186.332	295.904	372.142	1311.461
R.6	382.5203	150.256	335.883	370.842	1310.825
R.7	371.9957	116.767	375.861	369.542	1310.188
R.8	354.0382	88.836	415.840	368.243	0.000
R.9	324.7225	73.139	455.819	366.943	1308.916
R.10	290.6984	77.503	495.798	365.643	1308.280
R.11	266.2200	99.319	535.777	364.344	1307.643
R.12	251.8713	130.083	575.756	363.044	1306.279
R.13	243.2740	164.861	615.735	361.744	1306.707
R.14	237.7209	201.567	655.715	360.496	1306.579
R.15	233.9243	239.362	695.692	359.145	0.000
R.16	231.1587	277.761	735.671	357.846	1305.313
R.17	229.0678	316.558	775.650	356.546	0.000
R.18	227.4348	355.621	815.629	355.246	1306.130
R.19	226.1264	394.873	855.608	353.942	1306.650
R.20	225.1783	434.391	895.547	351.788	1306.431
R.21	224.6141	474.185	935.359	347.946	1306.479
R.22	224.3323	514.125	974.990	342.536	1306.673
R.23	224.3116	554.123	1014.316	335.232	1306.687
R.24	224.4450	593.633	1052.898	326.632	1306.665

Station / Référence angulaire				
	Matricule	X (m)	Y (m)	Z (m)
Station	ST.87	1710.084	168.169	1319.354
Référence V0	ST.88	1115.607	333.036	1306.661

Points rayonnés					
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
S.1	189.7510	254.296	1962.855	140.369	0.000
S.2	188.6291	214.508	1923.686	148.480	1316.451
S.3	186.9970	174.817	1884.517	156.591	1316.393
S.4	184.4093	135.309	1845.348	164.701	1316.335
S.5	179.7042	96.208	1806.179	172.812	1316.277
S.6	168.7469	58.337	1767.010	180.922	0.000
S.7	127.6676	27.397	1727.841	189.033	0.000
S.8	42.2618	36.028	1688.672	197.144	1316.102
S.9	17.7476	71.031	1649.503	205.254	1316.044
S.10	9.8605	109.511	1610.334	213.365	1313.937
S.11	6.1029	148.795	1571.164	221.476	1315.702
S.13	2.4951	228.111	1492.826	237.697	1314.729
S.14	1.4938	267.922	1453.657	245.807	1311.570
S.15	0.7517	307.782	1414.488	253.918	0.000
S.16	0.1798	347.674	1375.319	262.029	1309.900
S.17	399.7144	387.584	1336.136	270.072	1308.803
S.18	399.3564	427.518	1296.981	278.250	1308.125
S.19	399.0502	467.460	1257.812	286.361	1310.212
S.20	398.7922	507.411	1218.643	294.471	0.000
S.21	398.5718	547.370	1179.474	302.582	1306.895
S.22	398.3815	587.334	1140.304	310.693	1307.934
S.23	398.2154	627.303	1101.135	318.803	1306.716
S.24	398.1029	657.613	1071.434	324.953	1306.524