



République Algérienne Démocratique et populaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie



UNIVERSITE
Abdelhamid Ibn Badis
MOSTAGANEM

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : TRAVAUX PUBLICS

Spécialité : VOIES ET OUVRAGES D'ART (VOA).

Etude de la Route Reliant Silet-
Tinzaouatine sur 367 Km
2^{ème} Tranche (Du PK 55+325
Au Pk 58+325) Sur 03km
Wilaya de Tamanrasset

Présenté par :

-ABDELSADOK CHEMSEDDINE.

-AMRANI ELHADJ BRAHIM.

Soutenu le : 08/06/2021 Devant le jury de soutenance composé de :

Président: **Mr. BOUHALOUFA AHMED**

Encadreur : **Mr. ROUAM SERIK MOHAMED.**

Examinatrice : **Mme. EL MASCRI SETTI**

Invité : **Mr. CHERIF MOURAD**

Année Universitaire : 2020-2021.

Remerciement

Tout notre remerciement à ALLAH qui nous a donné le courage, la détermination, la volonté et la persévérance d'aller jusqu'au bout.

C'est avec une profonde et particulière reconnaissance que nous remercions notre encadreur Mr ROUAM SERIK MOHAMED pour son aide, ses conseils et ses remarques qui nous ont permet

D'accomplir notre travail de fin d'étude.

Nos remerciements s'adressent aux membres de jury qui ont accepté de juger ce modeste travail.

Dédicace

Au meilleur des pères Ahmed

A ma très chère maman Halima

Pour leur patience, leur amour,

leur soutien et leurs encouragements,

Qu'ils trouvent en moi la source de leur fierté.

A mes chères sœurs Imane, Yousra et Hadjer

A qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite.

A mon ami et mon frère Seddik Foghloul pour son appui et son
encouragement,

A ma grande famille et tout qui a une relation avec elle
soit du proche ou du lointain.

Sans oublier tous les enseignants qui ont contribué à mon soutien
scolaire.

Chemseddine ABDELSADOK.

Dédicace

Je dédie ce mémoire A mes chers parents.

A mes frères qui m'ont toujours aidé et qui ont été ma première source d'inspiration et de courage, et à ma très chère sœur.

A toute ma famille oncles, tantes et cousins.

A tous mes amis.

A tous ceux que j'ai côtoyés au cours de mes études, enseignants et étudiants.

A vous tous.

El Hadj Brahim Amrani.

Résumé

Notre projet de fin d'étude rentre dans le domaine des études des infrastructures de transport, et en particulier les routes.

La route est considérée comme un élément efficace reliant les différentes régions du pays. Elle contribue au développement à travers différentes activités économiques et les échanges commerciaux.

Ce projet présente une étude géométrique et une approche géotechnique du projet de Réalisation de la route Reliant Silet-Tinzaouatine sur 367 km 2ème Tranche

(Du PK 55 + 325 au PK 58 + 325) Sur 03km dans la Wilaya de Tamanrasset.

Cette étude se compose de deux parties :

- * La première partie : étude bibliographique des routes saharienne.
- * La deuxième partie: étude géométrique et géotechnique d'un tronçon de 03 Km.

Summary

Our Project of end of study returns in the field of the infrastructures of transport, and in particular the roads.

The road is considered an effective element linking the various regions of the country and to contribute its development through various economic activities and commercial exchanges.

This Project presents a geotechnical and geometrical study of the Construction of the Route Reliant Silet-Tinzaouatine over 367 km 2nd Tranche (From PK 55 + 325 To PK 58 + 325) Over 03km Wilaya of Tamanrasset.

This study consists of three parts:

- * The first part: bibliographical study of Saharan roads.
- *The second part: geometric study and geotechnical.

ملخص

يقع مشروع نهاية دراستنا في مجال البنية التحتية للنقل ، ولا سيما الطرق. يعتبر الطريق عنصرا فعالا يربط بين مختلف مناطق الدولة ويساهم في تنميتها من خلال الأنشطة الاقتصادية المختلفة والتجارة.

يقدم هذا المشروع دراسة جيوتقنية وهندسية لإنشاء الطريق الذي يربط بين سيلت - تين زاواتين، ولاية تمنراست،

بطول 367 كم الشطر الثاني (من النقطة الكيلو مترية 55 + 325 PK إلى النقطة الكيلو مترية 58 + 325 PK) على امتداد 03 كم.

تتكون هذه الدراسة من جزئين:

*الجزء الأول: دراسة بيليوغرافية لطرق الصحراء.

*الجزء الثاني: دراسة هندسية وجيوتقنية.

Sommaire

Introduction générale	1
Partie I	
Chapitre I : Les Routes sahariennes	
I.1. Le Sahara	4
I.1.2. Géographie physique	4
I.1.3. Route transsaharienne	4
I.2. les routes sahariennes en Afrique	5-6
Chapitre II : conception et réalisation des chaussées en milieu désertique	
II.1. Les routes sahariennes en Algérie	7
II.2. Le réseau routier non revêtu	8
II.4. Classification des Pistes Sahariennes Au sud	9
II.4.1. Généralité sur les pistes sahariennes	10
II.4.2. Contexte du Sahara Algérien	11
II.4.3. Les difficultés des pistes sahariennes	13
II.4.4. Nomenclature des taches d'entretien de la piste saharienne	14
Partie II	
Chapitre I Présentation du projet	
I.1. Présentation du projet	16
I.2. Aperçu géologique	16
I.3. Quelques informations sur la ville de Tamanrasset et Tinzaouatine	17
I.3.1. Tamanrasset ou Tamanghasset	17
I.3.1.1. Localisation	17
I.3.1.2. Relief	17
I.3.1.3. Démographie	18
I.3.1.4. Tourisme	18
I.3.1.5. Réseau routier	18
I.3.2. Tin Zaouatine	18
I.3.2.1. Géographie	18
I.4. Justification du projet	19
I.5. Objectifs du projet	19
Chapitre II Normes géométriques et données de base	
II.1. Généralités	21
II.2. Environnement de la route	21
II.3. La dénivelée cumulée moyenne	21
II.3.1. Calcul de la dénivelée cumulée moyenne	22
II.4. Catégorie de la route	27
II.5. La vitesse de référence	27
Chapitre III Etude du trafic	
III.1. Généralités	29
III.2. Différents types de trafics	29

III.3. Analyse du trafic	29
III.4. Calcul de la capacité	30
III.5. Calcul du trafic effectif	30
III.6. Débit de pointe horaire normal	31
III.7. Débit horaire admissible	31
III.8. Application au projet	32
Chapitre IV Paramètre cinématique	
IV.1. Distance de freinage	34
IV.2. Temps de réaction	35
IV.3. Distance d'arrêt	36
IV.4. Manœuvre de dépassement	36
IV.5. Espacement entre deux véhicules	37
IV.6. Application au projet	37
Chapitre V Tracé en plan	
V.1. Introduction	40
V.2. La vitesse de référence (de base)	40
V.3. Paramètres fondamentaux (B40)	40
V.4. Règles et principes du tracé en plan	41
V.5. Les éléments du tracé en plan	41
V.6. Courbes en plan	43
V.7. courbes de raccordements	47
Chapitre VI Profil en long	
VI.1. Définition	53
VI.2. Règles à respecter dans le tracé de la ligne rouge	53
VI.3. Eléments de composition du profil en long	53
VI.4. Coordination entre le tracé en plan et le profil en long	54
VI.5. Déclivité	54
VI.6. Les raccordements en profil en long	55
VI.7. Détermination pratique du profil en long	57
VI.8. Exemple de calcul du profil en long	60
Chapitre VII Profil en travers	
VII.1. Généralités	63
VII.2. Les éléments du profil en travers	63
VII.3. Classification du profil en travers	65
VII.4. Application numérique au projet	65
Chapitre VIII Cubature	
VIII.1. Généralités	67
VIII.2. Définition	67
VIII.3. Méthode de calcul des cubatures	67
VIII.4. Application au projet	70
Chapitre IX Dimensionnement de corps de chaussée	
IX.1. Introduction	72

IX.2. La chaussée	73
IX.3. Les différentes catégories de chaussée	74
IX.4. Les principales méthodes de dimensionnement	75
IX.5. Application au projet	77
Chapitre X Etude géotechnique	
X.1. Introduction	82
X.2. Objectif de la géotechnique routière	82
X.3. Moyens de reconnaissance	82
X.4. Réglementation algérienne en géotechnique	83
X.5. Les essais en géotechnique	83
X.5.1. Essais physiques	84
X.5.2. Essais mécaniques	97
X.5.3. Essais chimiques	100
X.5.4. Essais des Enrobées	101
Chapitre XI Assainissement	
XI.1. Généralités	105
XI.2. Objectif de l'assainissement	105
XI.3. Assainissement de la chaussée	106
XI.4. Définitions des termes hydrauliques	107
Chapitre XII Signalisation et éclairage	
XII.1.1 Signalisation	110
XII.1.2 Objectifs de signalisation routière	110
XII.1.3 Critères à respecter pour les signalisations	110
XII.1.4 type de signalisation	110
XII.1.5 Application au projet	114
XII.2.1 Eclairage	120
XII.2.2 Catégorie d'éclairage	120
XII.2.3 Paramètres d'implantation des luminaires	120
XII.2.4 Eclairage d'un point singulier	121
Chapitre XIII Impact sur l'environnement	
XIII.1. Impacts du projet sur l'environnement	123
XIII.2. Mesures d'atténuation	123
Chapitre XIV. Devis quantitatif et estimatif	
XIV. Devis quantitatif et estimatif	126
Conclusion générale	
Bibliographie	
Annexes	

Liste des figures

Figure n°01 : Zone d'impact de la route transsaharienne.	05
Figure n°02 : 5 membres du Comité de liaison de la route transsaharienne : l'Algérie, le Mali, le Niger, la Tunisie et le Tchad.	06
Figure n°03 : Villes et réseaux des routes nationales au Sahara.	09
Figure n°04 : Consistance du Réseau Routier non Revêtu (Algérie).	09
Figure n°05 : La piste au Grand Sud (Tinzaouatine-Silet).	10
Figure n°06 : Tracé globale de de la route Tamanrasset-Silet-Tinzaouatine-Mali.	16
Figure n°07 : Image Satellitaire Présentation du Projet sur la Carte.	16
Figure n°08 : Carte géographique de la wilaya de Tamanrasset.	17
Figure n°09 : Carte du réseau routier de la wilaya de Tamanrasset.	18
Figure n°10 : Lancement du projet de la route nationale reliant Tin-Zaouatine-Silet (Tamanrasset)	19
Figure n°11 : Distance de freinage	34
Figure n°12 : Temps de réactions.	35
Figure n°13 : Distance d'arrêt.	36
Figure n°14 : Espacement entre véhicule	37
Figure n°15 : Élément du tracé en plan	41
Figure n°16 : Élément de la Clothoïde	48
Figure n°17 : Raccordement convexe et concave	55
Figure n°18 : Visibilité	56
Figure n°19 : Détermination du profil en long	58
Figure n°20 : Éléments du profil en travers	63
Figure n°21 : Volume déblai, remblai	68
Figure n°22 : Calcul volume déblai, remblai	68
Figure n°23 : Les différentes catégories de chaussée	74
Figure n°24 : Les couches du corps de chaussée	79
Figure n°25 : Matériels d'essai teneur en eau	85
Figure n°26 : Analyse granulométrique	87
Figure n°27 : Tamisage électrique et manuel	87
Figure n°28 : Méthode d'essai	88
Figure n°29 : Mode opératoire 01	88
Figure n°30 : Mode opératoire 2	89
Figure n°31 : Matériels utilisés dans l'essai équivalent de sable	90
Figure n°32 : L'essai d'équivalent de sable	91
Figure n°33 : Matériels utilisés	93
Figure n°34 : Limite de plasticité	94
Figure n°35 : Appareillage	95

Figure n°36 : Tamisage de l'échantillon	95
Figure n°37 : Pesé l'échantillon	95
Figure n°38 : Mode opératoire de l'essai carbonate	96
Figure n°39 : Modalité d'exécution des essais Proctor modifié	97
Figure n°40 : Matériels de l'essai Proctor	98
Figure n°41 : Les étapes de l'essai Proctor	98
Figure n°42 : Matériels d'essai CBR	99
Figure n°43 : Matériels d'essai CBR	100
Figure n°44 : L'appareil de compacité (nucléo-densimètre)	102
Figure n°45 : Exemple d'un essai de carottage	103
Figure n°46 : Flèche de sélection	114
Figure n°47 : Marque sur la chaussée	115
Figure n°48 : Flèche de rabattement	115
Figure n°49 : Schéma de signalisation stop sur chaussée	116
Figure n°50 : Schémas de marquage par hachures (sur le nez d'ilot)	116
Figure n°51 : Panneaux spéciaux (type A).	119
Figure n°52 : Les signaux d'identification des routes (type E)	119
Figure n°53 : Paramètres de l'implantation des luminaires	121

Liste des tableaux

Tableau n°01 : Le réseau routier des territoires sahariens.	06
Tableau n°02 : Dénivelé de chaque profil	25
Tableau n°03 : Détermination de la nature des terrains	25
Tableau n°04 : Sinuosité	26
Tableau n°05 : Environnement de la route	26
Tableau n°06 : Vitesse de référence	27
Tableau n°07 : Valeurs du coefficient P	31
Tableau n°08 : Valeurs de K1 en fonction de l'environnement	31
Tableau n°09 : Valeurs de K2 en fonction de l'environnement	32
Tableau n°10 : Valeurs de la capacité théorique	32
Tableau n°11 : Coefficient de frottement longitudinal selon les normes de B40	35
Tableau n°12 : Les valeurs du temps et de perception réaction t en fonction de E, CAT et Vr	35
Tableau n°13 : Lois de distance d'arrêt	36
Tableau n°14 : Valeur de dvd et dmd en fonction de la vitesse	37
Tableau n°15 : Devers en fonction de l'environnement	43
Tableau n°16 : Dévers [Normes B40]	44
Tableau n°17 : Valeur du coefficient f_t	45
Tableau n°18 : Valeur du coefficient « F'' »	45
Tableau n°19 : Tableau récapitulatif des paramètres cinématiques	45
Tableau n°20 : Les rayons en plan selon [Normes B40]	45
Tableau n°21 : Valeur de déclivité maximale [Normes B40]	54
Tableau n°22 : Rayons convexes (angle saillant) [Normes B40]	56
Tableau n°23 : Rayons concaves (angle rentrant)	57
Tableau n°24 : Valeurs de la tangente et de la flèche	61
Tableau n°25 : Coefficient d'équivalence des matériaux	77
Tableau n°26 : Dimensionnement du corps de chaussée.	79
Tableau n°27 : Nature du sol en fonction d'E.S	91
Tableau n°28 : Qualification des horizons en fonction de leur teneur en calcaire total selon le GEPPA	96
Tableau n°29 : Modulation de la ligne continue	112

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, soit par défaut, soit 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.

Nous visons à travers la présente étude, la mise en application nos connaissances acquises durant notre cycle de formation, en mettant en évidence ; les normes géométriques et celles géotechniques appliquées à ce types de projet, avec la prise en considération du volet économique et financier.

Durant la réalisation de la présente étude, nous accordons beaucoup d'importance à la sécurité routière, le confort routier pour les usagers de la route.

Notre thème de fin d'étude, se base sur l'étude d'un tronçon de ce projet, lancé par la Direction des Travaux Publics de la wilaya de Tamanrasset.

Le projet faisant l'objet du présent mémoire s'intitule:

« Réalisation de la route Silet - Tinzaouatine sur 367 km (2eme Tranche sur 207 km) du PK (Du PK 55+325 Au Pk 58+325) Sur 03km Wilaya de Tamanrasset».

Ce projet vise à la création d'une nouvelle route qui lie directement la ville de Tinzaouatine avec la Wilaya de Tamanrasset.

De ce fait notre travail se divise en deux parties : La première partie porte sur l'étude bibliographique sur les routes sahariennes en Afrique et en Algérie suivie par une présentation de la région.

Dans la deuxième partie l'étude géométrique et géotechnique d'un tronçon de trois kilomètres et en fin nous terminerons par une conclusion générale.

1ère partie

Chapitre I

Les Routes Sahariennes

Chapitre I : Les Routes Sahariennes

I.1. Le Sahara :

Le Sahara est le plus grand désert chaud du monde. Occupant presque tout le nord de l'Afrique, il mesure environ 4 800 kilomètres d'est en ouest et entre 1 300 et 1 900 kilomètres du nord au sud, soit une superficie totale de près de 8 600 000 kilomètres carrés. Il se prolonge au-delà de la mer Rouge et est appelé alors désert saharo-arabique, étiré sur 7 500 kilomètres et couvrant 12 millions de kilomètres carrés. Le Sahara proprement dit, qui fait l'objet de cet article, est délimité à l'ouest par l'océan Atlantique, au nord par la chaîne de l'Atlas et la mer Méditerranée, à l'est par la mer Rouge et dans le sud par une zone d'anciennes dunes sableuses immobiles alignées sur la latitude 16° N.

Le Sahara s'étend sur une dizaine de pays (Maroc, Algérie, Tunisie, Libye, Égypte, Soudan, Tchad, Niger, Mali, Mauritanie) mais compte une faible population. De vastes zones sont complètement vides. Toutefois, le Sahara est un espace où la majorité des habitants vivent dans des villes. Son exceptionnelle croissance démographique et urbaine, liée notamment à l'exploitation de ses importantes ressources naturelles a transformé les modes de vie de ses diverses populations.

I.1.2. Géographie physique

Caractéristiques générales :

Le Sahara comprend plusieurs grands types de topographies : des bassins peu profonds, temporairement inondés (chotts et dayas) et de grandes cuvettes formant des oasis ; de vastes plaines rocailleuses (serirs ou regs) ; des plateaux rocheux (hamadas) ; des montagnes abruptes ; ainsi que des étendues de sable, des dunes et des mers de sable (ergs).

Le désert du Sahara couvre près de 90 % du territoire algérien, il est traversé d'« ergs » : de dunes de sables, de « regs » : de terrains caillouteux, ainsi que de massifs volcaniques dans le grand sud.

I.1.3. Route transsaharienne

La Route transsaharienne, ou en abrégé la Transsaharienne, est une route d'Afrique orientée principalement Nord-Sud, qui doit à terme accroître le commerce entre les six pays traversés (Algérie, Mali, Niger, Nigeria, Tchad et Tunisie). Longue d'environ 4 800 km, elle s'inscrit dans le projet de réseau plus ou moins bien défini de grandes routes transafricaines, lancé dans les années 1960.

Chapitre I : Les Routes Sahariennes



Figure n°01 : Zone d’impact de la route transsaharienne

I.2. les routes sahariennes en Afrique :

Les routes désertiques situées dans les pays riverains du Sahara, cet immense désert de 8 millions de km² situé entre l’Afrique du nord et l’Afrique noire. Il s’étend sur 11 pays dont 5 sont membres du Comité de liaison de la route transsaharienne : l’Algérie, le Mali, le Niger, la Tunisie et le Tchad.

Les zones désertiques occupent en moyenne plus de 70% du territoire de ces pays et sont caractérisées par une sécheresse extrême (moins de 100 mm d’eau par an).

Hormis dans quelques espaces très singuliers notamment autour du lac Tchad, du delta du Niger ou des oasis Algériennes, les cultures y sont rares. Le Sahara est surtout riche par l’industrie extractive : pétrole en Algérie et au Tchad, uranium au Niger et métaux précieux assez disséminés.

Les populations sont essentiellement regroupées dans de nombreux centres très éloignés les uns des autres. Elles sont très souvent enclavées et les distances moyennes qui les relie aux ports d’embarquement ou de débarquement dépassent de très loin les 1000 km que ce soit vers la Méditerranée ou vers le golfe de Guinée.

Les pays de la rive sud du Sahara font généralement appel à des financements extérieurs pour les extensions de leurs réseaux. Le Niger a eu recours au cours des années 1970 à la concession pour le financement de la réalisation de la liaison Tahoua Arlit (650 km).

La Tunisie et l’Algérie utilisent un système mixte (financement sur le budget de l’Etat et emprunts extérieurs). La majeure partie de la route transsaharienne RTS a été financée sur fonds propres en Algérie.

Chapitre I : Les Routes Sahariennes

Le Nigeria vient de s'ouvrir tout récemment au recours à des financements extérieurs. La section de la RTS dans ce pays (1200km) est entièrement revêtue et compte plus de 300 km en 2x2 voies.

Le tableau qui suit montre que, pour le Mali, le Niger, le Tchad et l'Algérie (4 grandes wilaya du Sud), les routes non revêtues représentent l'essentiel du réseau 34 700 km sur un total de 45 300 km soit (77 %).

	ALGERIE**	MALI	TCHAD	NIGER	TOTAL
Superficies 106 km ²	1,5	1,24	1,29	1,26	
Routes revêtues km	4 000	2 600	500	3 500	10 600
Routes non revêtues	6 000	12 200	6 200	10 300	34 700

Tableau n°1. Le réseau routier des territoires sahariens

**Données pour les 4 grandes wilayas du Sud : Adrar, Tamanrasset, Illizi et Tindouf.

Or si ces routes non revêtues existent et représentent une proportion dominante comme on vient de le voir c'est qu'elles jouent un rôle économique et qu'elles méritent une attention plus grande.



Figure n°02 : 5 membres du Comité de liaison de la route transsaharienne : l'Algérie, le Mali, le Niger, la Tunisie et le Tchad.

Chapitre II : Conception et réalisation des chaussées en milieu désertique

II.1. Les routes sahariennes en Algérie :

Le Sahara algérien couvre un peu plus de deux millions de kilomètres carrés. Les dessertes reliant les différentes régions sont donc parfois énormes. Les routes, avant 1950, avaient rarement dépassé les Hauts -Plateaux. Avec la découverte des premiers gisements du pétrole en 1955-1956, le Sahara a connu une grande extension des infrastructures routières. En trois ans, il a été construit plus de 1200 km auxquels s'ajoutaient, entre 1960 et 1962, 1000 km. L'utilisation obligatoire des matériaux locaux - dont les solutions de mise en œuvre s'écartent des normes admises- a abouti à la mise au point de techniques particulières propres aux conditions locales, différentes des techniques répandues dans les régions humides.

La conception, la construction, la qualité et la durée de vie d'une route dépendent essentiellement de son environnement : climat, qualité du sous-sol, teneur en eau du sol, matériaux disponibles, trafic.....). A ce titre, le Sahara algérien est un exemple significatif ; l'insertion de la route dans ce milieu a nécessité une révolution dans la façon de concevoir et de réaliser le corps de chaussée.

La mise en place de la technique routière saharienne fût le résultat de plusieurs années d'expériences après la réalisation de plus de 2 500 km en milieu désertique ; Aujourd'hui le défi est d'adapter cette technique aux nouvelles réalités, d'établir des critères de classification des matériaux sahariens afin de faciliter leur utilisation pour les projeteurs (choix de matériaux selon les possibilités offertes sur le terrain, les techniques de réalisation, le dimensionnement de la chaussée....).

L'exposé portera sur la technique routière saharienne, la classification des matériaux et sur quelques techniques de réalisation, après une présentation succincte du contexte saharien.

Dans les territoires des wilayas du grand Sud Algérien, l'entretien du réseau routier se fait dans des conditions difficiles pour les routes revêtues et ou ne se fait presque pas pour les routes non revêtues (pistes).

Chapitre II : Conception et réalisation des chaussées en milieu désertique

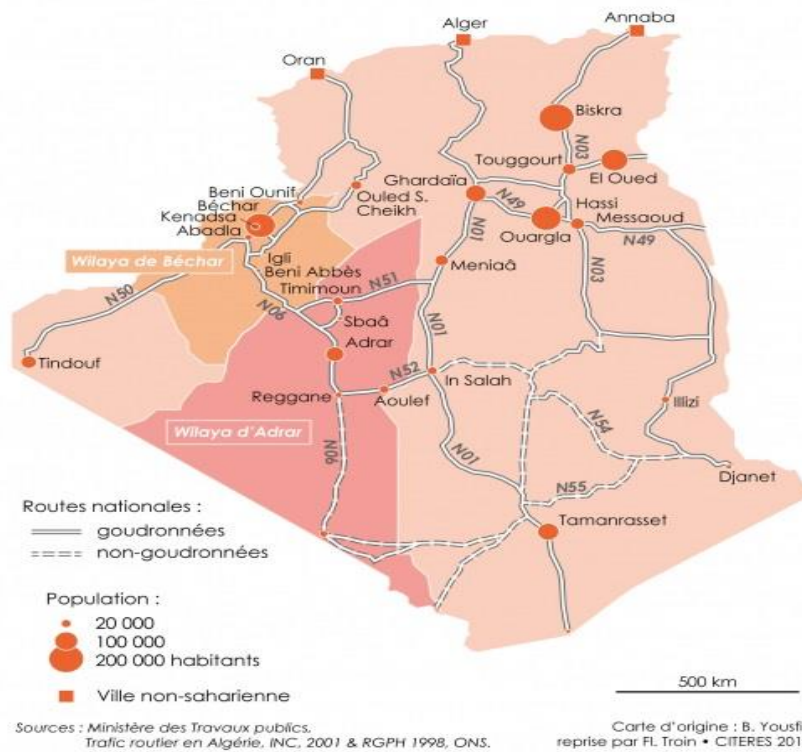


Figure n°03. Villes et réseaux des routes nationales au Sahara.

II.2. Le réseau routier non revêtu

Quant au réseau non revêtu l'Algérie dispose d'un linéaire de 30 419 km, dont 3720 km de routes nationales, 2367 km de chemins de wilaya et 24 332 km de chemins communaux.

A/ Consistance du Réseau Routier non Revêtu Selon le dernier bilan (2004), la consistance et l'état actuel du réseau non revêtu se présente comme suit : U=km

Routes Nationales			Chemins de Wilaya			Chemins communaux		
Bon	Moyen	Mauvais	Bon	Moyen	Mauvais	Bon	Moyen	Mauvais
160	535	3 025	0	91	2 276	246	2 975	21 111
S/T= 3 720			S/T= 2 367			S/T= 24 332		
TOTAL = 30 419								

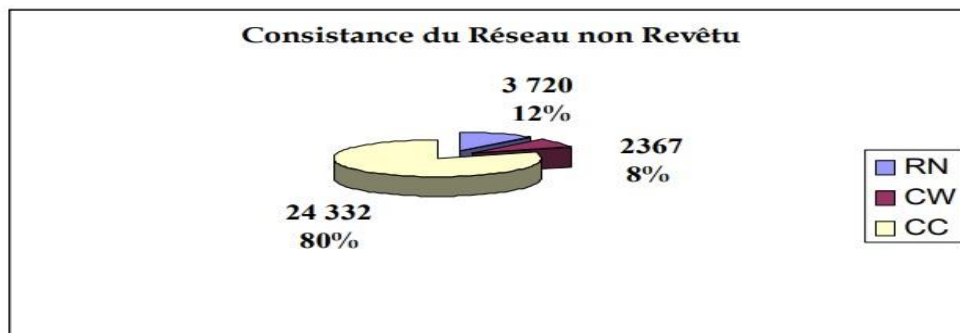


Figure n°04 : Consistance du Réseau Routier non Revêtu (Algérie).

Chapitre II : Conception et réalisation des chaussées en milieu désertique

II.4. Classification des Pistes Sahariennes Au sud

Après la présentation du réseau routier national revêtu et non revêtu, il est utile de mettre la lumière, en particulier, sur les pistes Sahariennes du Grand Sud Algérien. En effet, ces dernières se distinguent par leur très grand linéaire (de 293 km à 1148 km) et qu'elles constituent un des éléments de développement et de communication pour ces régions désertiques.

A/ Définition

La piste est définie comme étant un chemin sur lequel des véhicules circulent donc, c'est une voie de circulation parfaitement distincte et relativement confortable mais dont la couche de roulement n'est pas traitée. La piste peut donc subir des transformations successives (aménagement progressifs) avant d'arriver au stade de la route revêtue.

B/ Classification des Pistes Sahariennes

Au sud, nous rencontrons trois catégories de pistes :

- **Les Pistes Naturelles** : la portance du sol offre des conditions de roulage telles que la circulation se fait directement sur le terrain naturel, sans aucune intervention préalable, si ce n'est le balisage, pour éviter aux usagers de se perdre.
- **Les Pistes Améliorées** : Ce sont des pistes naturelles ou certaines sections difficiles (sections à faible portance, affleurement rocheux, traversées de lit d'oueds) qui nécessitent un traitement particulier.
- **Les Pistes Elaborées** : Ce sont des pistes entièrement aménagées, qui disposent d'une couche de roulement en matériaux sélectionnés sur toute leur largeur.



Figure n°05 : La piste au Grand Sud (Tinzaouatine-Silet).

Chapitre II : Conception et réalisation des chaussées en milieu désertique

II.4.2. Contexte du Sahara algérien

A/ Contexte Climatique

Le Sud Algérien est caractérisé par un climat généralement sec, aride et très chaud sur près de cinq mois par an (température moyenne à l'ombre est supérieure à 40°). On note aussi la rareté et l'irrégularité des pluies (la pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 50mm). Par ailleurs, les crues sont rares mais instantanées et brutales, les vents de sable sont très fréquents, ils se manifestent souvent sur une grande partie du Sahara.

B/ Nature des Sols Rencontrés au Sud

• Les Hamadas

Ce sont des plateaux rocheux qui sont généralement recouverts de cailloutis anguleux à granulométrie discontinue (regs). Les Hamadas sont constituées par un mélange de sable éolien plus ou moins limoneux et des produits de décomposition superficielle des roches. Ils peuvent constituer d'excellentes couches de base à condition de les mélanger à des matériaux ayant une bonne cohésion.

• Les Ergs

Ce sont des amas de dunes de sable. Les pistes évitent en général le franchissement de telles zones. Néanmoins, la proportion de sable éolien dans ces sols est suffisamment élevée pour offrir une grande résistance au roulement.

• Les Sebkhas

Ce sont des zones de dépressions, généralement sans exutoire, où s'amassent les eaux des rares pluies. Ces eaux ne s'éliminent que par infiltration et évaporation, laissant une surface unie de matériaux sédimentaires très cohésifs. Ces zones sont très favorables à la circulation et constituent des couloirs préférentiels pour les pistes. Toutefois, il faut les éviter en période de pluies.

• Les Chotts

Ce sont des dépressions où l'eau persiste toute l'année. Les sols de ces dépressions sont généralement composés de 4/5 d'insoluble et de 1/5 de sulfates, carbonate et chlorures. Quand elles ne sont pas submergées, ces zones offrent de très bonnes conditions de roulage.

• Les lits d'oueds

On rencontre au Sahara des lits de grands oueds. Les matériaux rencontrés sont des sables plus ou moins limoneux et très souvent des gros sables mélangés à des graviers. Lorsque les pluies sont faibles, ou lorsque le relief l'impose, la piste emprunte ces lits

Chapitre II : Conception et réalisation des chaussées en milieu désertique

d'oueds. Les conditions de circulation sont généralement bonnes. La formation de tôle ondulée, ou des poches de Fech Fech , dans ce type de sol sont très répandues , selon la nature du sol.

• Les Falaises

La partie Nord du Sahara est une succession de plateaux d'ages géologiques voisins. La piste rencontrera donc très souvent l'obstacle offert par le franchissement d'une falaise. Les dénivellations sont très variables de 20 m à 200 m.

• Les Zones Rocheuses

On les rencontre très rarement. Les sections des pistes qui les traversent ont en général une bonne portance.

C/ Géotechnique

La faible pluviométrie du Sud et par conséquent la faible teneur en eau des sols en place permet l'utilisation de nombreux matériaux dont l'indice de plasticité est élevé. De ce fait, toute action dirigée vers l'entretien ou la réhabilitation des pistes sahariennes comprend l'utilisation de matériaux locaux, en mettant à profit leur cohésion naturelle.

La gamme des matériaux utilisable est très large, dont les grandes classes sont :

• Les Matériaux Gypseux

Ils se présentent sous divers aspects en fonction de leur composition physico-chimique (les gypses micro cristallisés, les sables gypseux, les gypseux calcaires, les gypses à micro cristallisation), ils sont sensibles à l'imbibition, mais ce problème ne se pose pas au Sud.

• Les Matériaux de Reg

Ces matériaux sont très intéressants par le squelette qu'ils procurent au corps de chaussée mais ils ne peuvent être utilisés seuls car ils n'ont aucune cohésion. Il faut les mélangés avec d'autres matériaux.

• Les Sables

Ces matériaux sont à éviter, vu qu'il y a absence totale de cohésion

• Les Argiles et les Marnes

Ce type de matériaux est très répandu au Sud. Vu la faiblesse de la pluviométrie, ces matériaux peuvent être utilisés sans problèmes, ils ont donné d'excellents résultats sur les pistes, toutefois deux précautions sont à apprendre :

- Ne pas trop les humidifier durant la mise en œuvre.
- Faire attention avant de s'engager sur ces tronçons pendant ou après une averse de pluie .

Chapitre II : Conception et réalisation des chaussées en milieu désertique

- **Les Arènes Granitiques**

Elles proviennent de la décomposition du granite par la dégradation du feldspath. Ces matériaux, dont l'indice de plasticité varie de 10 à 15 %, possèdent une bonne cohésion et un grand angle de frottement, ils sont abondants dans le Hoggar et le Tassili.

II.4.3. Les difficultés des pistes sahariennes

A/ Les Dégradations : La spécificité des pistes sahariennes, réside dans le type de dégradation qu'on y rencontre, dont les plus importantes sont :

- **La Tôle Ondulée** : C'est des déformations régulières, sous forme d'ondes parallèles plus ou moins serrées et profondes, perpendiculaires à l'axe de la piste.

La tôle ondulée est créée sous l'action conjuguée de deux facteurs principaux :

- la nature des matériaux constituant la couche de roulement.
- L'action mécanique des véhicules.

- **Fech Fech** : Il s'agit de sols formés entièrement d'éléments fins (quelques microns au maximum). Ces sols sont souvent foisonnés, ils se présentent en place, comme une accumulation de farine. Ce phénomène est dû à la conjugaison des effets trafic et les conditions climatiques.

B/ Les Obstacles

- **Affleurement Rocheux** : Ce sont des affleurements rocheux, qui constituent des obstacles redoutables pour les pneumatiques.

Les causes probables se résument :

- Erosion des matériaux de surface sous l'effet du trafic et des conditions climatiques.
- Couche de roulement de faible épaisseur reposant sur une surface contenant des éléments supérieurs à 80 mm.

- **Zone d'Ensemblement** : Une zone d'ensemblement peut se présenter sous deux formes :

a-Dune de Sable :

Elle se présente sous forme d'accumulation massive de sable de formes diverses, formant une barrière inévitable. Lorsque la traversée dépasse les cent mètres ou présente des pentes importantes, les véhicules s'y enfoncent et restent bloqués pendant des heures, voir même des jours.

Chapitre II : Conception et réalisation des chaussées en milieu désertique

b- Le Sol Sableux : Lorsque le sol est très sableux en couche de surface sur de vastes zones, les véhicules s'y enfoncent et n'arrivent à les traverser qu'après des heures d'efforts.

Les causes probables sont :

- Implantation de la piste au droit de la zone soumise à la tempête de sable
- Obstacles naturels (relief favorables pour l'accumulation de sable)

• **Ravinement** : C'est un phénomène créé par le passage de l'eau sur la piste, il se présente sous forme de saignées longitudinales ou transversales plus ou moins profondes.

• **Passage d'Oued** : Ce sont des sections de la piste traversées par des cours d'eaux à des débits très importants, appelées aussi passages submersibles.

Ces sections peuvent être à l'état naturel ou aménagées

II.4.4. Nomenclature des tâches d'entretien de la piste saharienne

A/ Les Taches Ponctuelles

Ces tâches ont pour objectifs d'améliorer et de faciliter la traversée des points singuliers du réseau.

Les principales tâches sont :

- Le traitement de zones de Fech Fech,
- Le rechargement de zones d'affleurements rocheux,
- La mise en état des franchissements des petits oueds,
- Le désensablement,
- L'entretien des ouvrages d'écoulement,
- L'entretien ou remise en place du balisage et signalisation.

B/ les Taches Périodiques à Fréquence élevée

Il s'agit du raclage de la tôle ondulée (RTO), qui a pour objectif l'amélioration de l'uni.

C/ Les Taches Périodiques à Faible Fréquence

Il s'agit du renforcement ou de la reconstruction du corps de chaussée en matériaux choisis.

On distingue :

- Rechargement continu sur un linéaire important,
- Rechargement discontinu (plusieurs sections),
- Réhabilitation.

Chapitre II : Conception et réalisation des chaussées en milieu désertique

Cette dernière tâche qui représente un volume de travail important sera confiée obligatoirement à l'entreprise, quant aux tâches ponctuelles ou périodiques à fréquence élevée, elles peuvent être prises en charge en régie par les unités d'intervention sur pistes (UIP) avec le soutien éventuel des unités d'intervention de soutien(UIS).

2^{ème} partie

Chapitre I

Présentation du Projet

Chapitre I : Présentation du projet

I.1. Présentation du projet :

Le réseau routier saharien est constitué de plusieurs milliers de kilomètres de routes revêtues et non revêtues (des pistes), qui relient les principales agglomérations et centres de vie de cet immense désert à la fois hostile, féérique et riche. Il compte près de 6000 km de routes non revêtues, classées comme pistes principales.

Le présent projet la Réalisation de la route Silet - Tinzaouatine sur 367 km (2eme Tranche sur 207 km) rentre dans le cadre du développement du secteur routier du pays (L'Algerie). Il sera l'un des piliers de l'infrastructure routière vue qu'il va relier la ville de Tinzaouatine située à la frontière avec le Mali avec la ville de Silet (w.Tamanrasset).

Notre projet consiste a étudié la réalisation de la Route Reliant Silet-Tinzaouatine sur 367 Km 02^{ème} Tranche (Du PK 55+325 Au pk 58+325) Sur 03km.

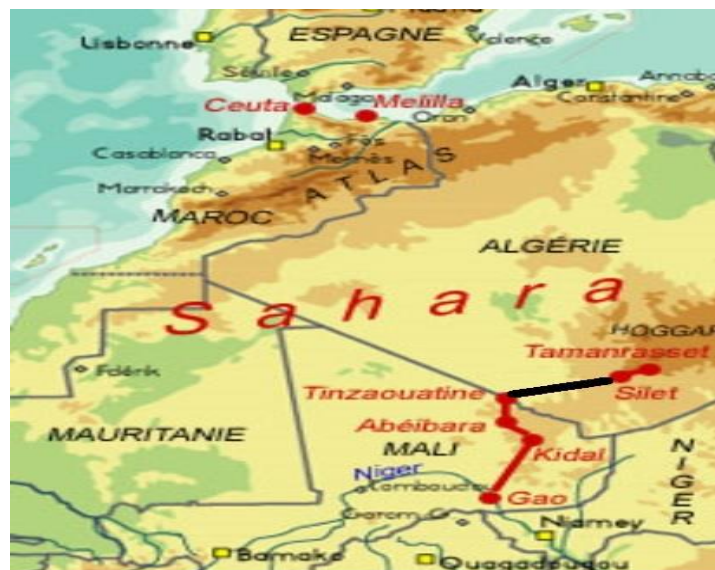


Figure n°06 : Tracé globale de de la route Tamanrasset-Silet-Tinzaouatine-Mali.

I.2. Aperçu géologique :

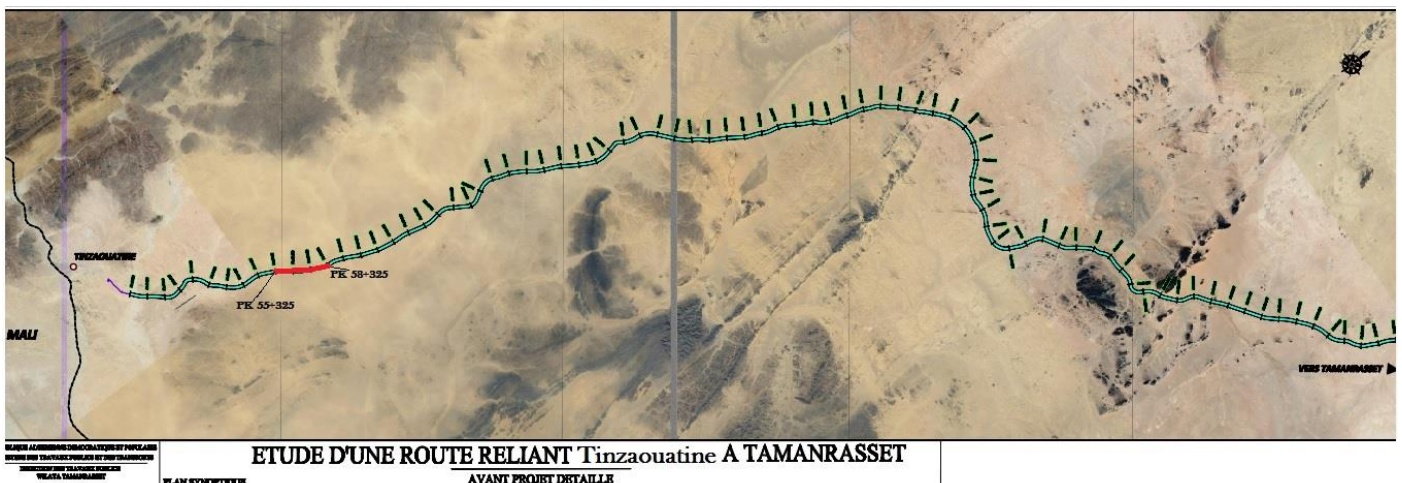


Figure n°07 : Image Satellitaire (Présentation Du Projet Sur La Carte).

I.3. Quelques informations sur la ville de Tamanrasset et Tinzaouatine

I.3.1. Tamanrasset ou Tamanghasset (en berbère : Tamenyast ; en arabe : تمنغاست),

autrefois Fort Laperrine, du nom d'un général français lors de la colonisation française, est une commune de la wilaya de Tamanrasset, dont elle est le chef-lieu, située dans le Sud de l'Algérie, à 1 900 km au sud d'Alger, à 450 km à vol d'oiseau au sud-ouest de Djanet et à environ 400 km au nord de la frontière malienne. Elle est la capitale des Touaregs (ethnie berbère) algériens.

Cette ville est notamment connue pour avoir été le lieu de résidence de Charles de Foucauld, ermite et prêtre catholique mystique, assassiné en 1916, qui fut béatifié en 2004.

I.3.1.1. Localisation

Tamanrasset est localisée dans le Sud du Sahara algérien, dans la chaîne montagneuse du Hoggar à 1 400 mètres d'altitude.



Figure n°08 : carte géographique de la wilaya Tamanrasset.

I.3.1.2. Relief

La géomorphologie de la wilaya distingue le plateau du Tidikelt au nord, recouvert de sable et au climat très rude et le Hoggar (Ahaggar) au sud, massif montagneux où les températures sont plus clémentes. La wilaya abrite le plus haut sommet d'Algérie, le mont Tahat à 3 003 m d'altitude situé dans le massif montagneux du Hoggar.

La ville de Tamanrasset est le chef-lieu de la wilaya et constitue un carrefour important d'échange commercial avec les pays du Sahel. Située dans le centre du Hoggar, à 1 400 mètres d'altitude, Tamanrasset bénéficie d'un climat tempéré et sec, les températures oscillant entre -8 degrés et 35 degrés Celsius.

Chapitre I : Présentation du projet

I.4. Justification du projet :

Ce projet rentre dans le cadre du programme de développement économique et sociale du pays Et l'amélioration du cadre de vie des citoyens d'où son rôle dans le développement, la sécurité (sécurisation des frontières Algérie-Mali) et l'économie du citoyen et du pays.

I.5. Objectifs du projet :

Cette étude a été conçue dont l'objectif d'améliorer l'aménagement de telle sorte pour Augmenter le niveau de service. Sachant qu'aucune route ne relie la localité (Ville de Tinzaouatine) à son chef-lieu Tamanrasset.

- Ce projet a pour objectif la liaison entre la ville de Tinzaouatine et la wilaya de Tamanrasset.
- Le programme de sécurisation des frontières (Algérie-Mali)
- La route reliant Tamanrasset au Mali.
- Améliorer les conditions de circulations.
- Economique.
- Environnement.



Figure n°10 : Lancement du projet de la route nationale reliant Tin-Zaouatine-Silet (Tamanrasset)

Chapitre II

Normes Géométriques et Données de Base

II.1. Généralités

L'exécution de chaque projet routier doit être précédée par une reconnaissance du terrain, à ce niveau ça concert le rôle de l'étude géotechnique soit pour prévoir les matériaux et les méthodes adéquats aux travaux de terrassement dans la phase d'exécution. Pour déterminé l'environnement de la route on doit ce referait à la norme de la B40.

II.2. Environnement de la route

La B40 (norme technique d'aménagement des routes algériennes) propose trois environnements (E1, E2, E3) chaque classe d'environnement est caractérisée par deux indicateurs à savoir :

La dénivelée cumulée moyenne (H/L=DC).

La sinuosité σ

II.3. La dénivelée cumulée moyenne :

C'est la somme en valeur absolue des dénivelées successives rencontrées le long de l'itinéraire. Le rapport de la dénivelée cumulée totale H à la longueur de l'itinéraire L permet de mesure la longitudinal du relief.

$$D_c = \frac{|\sum_{P_i > 0} P_i L_i + \sum_{P_i < 0} P_i L_i|}{L}$$

P : pente du terrain

L : longueur de l'itinéraire ($L=L_1+L_2+L_3+ \dots L_n$).

II.3.1. Calcul de la dénivelée cumulée moyenne :

Tableau :

PT N°	PK	distance entre profil	Z terrain naturel	DH(m)
2213	55325	0,00	662.49	
2214	55350	25,00	662.11	-0.38
2215	55375	25,00	661.55	-0.56
2216	55400	25,00	661.43	-0.12
2217	55425	25,00	661.29	-0.14
2218	55450	25,00	661.32	0.03
2219	55475	25,00	660.78	-0.54
2220	55500	25,00	660.72	-0.06
2221	55525	25,00	660.63	-0.09
2222	55550	25,00	660.54	-0.09
2223	55575	25,00	660.49	-0.05
2224	55600	25,00	660.42	-0.07
2225	55625	25,00	660.34	-0.08
2226	55650	25,00	660.47	0.13
2227	55675	25,00	660.46	-0.01
2228	55700	25,00	660.25	-0.21
2229	55725	25,00	660.28	0.03
2230	55750	25,00	660.25	-0.03
2231	55775	25,00	660.05	-0.2
2232	55800	25,00	659.95	-0.1
2233	55825	25,00	659.93	-0.02
2234	55850	25,00	659.91	-0.02
2235	55875	25,00	659.85	-0.06
2236	55900	25,00	659.76	-0.09
2237	55925	25,00	659.69	-0.07
2238	55950	25,00	659.66	-0.03
2239	55975	25,00	659.59	-0.07
2240	56000	25,00	659.41	-0.18
2241	56025	25,00	659.3	-0.11
2242	56050	25,00	659.3	0
2243	56075	25,00	659.24	-0.06
2244	56100	25,00	659.14	-0.1
2245	56125	25,00	659.09	-0.05
2246	56150	25,00	659.04	-0.05
2247	56175	25,00	658.96	-0.08
2248	56200	25,00	658.89	-0.07

Chapitre II: Normes géométriques et données de base

2249	56225	25,00	658.85	-0.04
2250	56250	25,00	658.81	-0.04
2251	56275	25,00	659.71	0.9
2252	56300	25,00	659.88	0.17
2253	56325	25,00	658.89	-0.99
2254	56350	25,00	658.31	-0.58
2255	56375	25,00	658.25	-0.06
2256	56400	25,00	658.33	0.08
2257	56425	25,00	658.42	0.09
2258	56450	25,00	658.5	0.08
2259	56475	25,00	658.55	0.05
2260	56500	25,00	658.33	-0.22
2261	56525	25,00	658.07	-0.26
2262	56550	25,00	657.5	-0.57
2263	56575	25,00	657.09	-0.41
2264	56600	25,00	656.89	-0.2
2265	56625	25,00	656.75	-0.14
2266	56650	25,00	656.61	-0.14
2267	56675	25,00	656.58	-0.03
2268	56700	25,00	656.54	-0.04
2269	56725	25,00	656.43	-0.11
2270	56750	25,00	656.36	-0.07
2271	56775	25,00	656.33	-0.03
2272	56800	25,00	656.26	-0.07
2273	56825	25,00	656.15	-0.11
2274	56850	25,00	655.98	-0.17
2275	56875	25,00	655.67	-0.31
2276	56900	25,00	657.36	1.69
2277	56925	25,00	657.38	0.02
2278	56950	25,00	656.39	-0.99
2279	56975	25,00	656.11	-0.28
2280	57000	25,00	656.59	0.48
2281	57025	25,00	656.09	-0.5
2282	57050	25,00	656.61	0.52
2283	57075	25,00	657.12	0.51
2284	57100	25,00	657.4	0.28
2285	57125	25,00	656.71	-0.69
2286	57150	25,00	656.7	-0.01
2287	57175	25,00	657.42	0.72
2288	57200	25,00	656.26	-1.16
2289	57225	25,00	655.68	-0.58
2290	57250	25,00	655.36	-0.32

Chapitre II: Normes géométriques et données de base

2291	57275	25,00	655.31	-0.05
2292	57300	25,00	655.29	-0.02
2293	57325	25,00	655.92	0.63
2294	57350	25,00	656.51	0.59
2295	57375	25,00	657.28	0.77
2296	57400	25,00	657.36	0.08
2297	57425	25,00	657.57	0.21
2298	57450	25,00	656.97	-0.6
2299	57475	25,00	655.64	-1.33
2300	57500	25,00	655.03	-0.61
2301	57525	25,00	654.51	-0.52
2302	57550	25,00	655.39	0.88
2303	57575	25,00	655.62	0.23
2304	57600	25,00	655.76	0.14
2305	57625	25,00	656.83	1.07
2306	57650	25,00	656.28	-0.55
2307	57675	25,00	656.07	-0.21
2308	57700	25,00	654.71	-1.36
2309	57725	25,00	653.72	-0.99
2310	57750	25,00	653.52	-0.2
2311	57775	25,00	653.32	-0.2
2312	57800	25,00	653.8	0.48
2313	57825	25,00	654.77	0.97
2314	57850	25,00	654.84	0.07
2315	57875	25,00	655.09	0.25
2316	57900	25,00	655.14	0.05
2317	57925	25,00	656.15	1.01
2318	57950	25,00	657.24	1.09
2319	57975	25,00	656.07	-1.17
2320	58000	25,00	656.58	0.51
2321	58025	25,00	656.62	0.04
2322	58050	25,00	655.9	-0.72
2323	58075	25,00	655.76	-0.14
2324	58100	25,00	654.28	-1.48
2325	58125	25,00	653.63	-0.65
2326	58150	25,00	653.13	-0.5
2327	58175	25,00	653.04	-0.09
2328	58200	25,00	652.98	-0.06
2329	58225	25,00	652.99	0.01
2330	58250	25,00	653.03	0.04
2331	58275	25,00	653.07	0.04
2332	58300	25,00	653.13	0.06

Chapitre II: Normes géométriques et données de base

2333	58325	25,00	653.16	0.03
	Σ	3000	Σ	-9.33

Tableau n°02 : dénivelé de chaque profil.

Alors

$$H/L = -9.33/3000 = -0.00311$$

$$Dc = 0.3\%$$

N°	Classification du terrain	Dénivelée cumulée
1	Plat	$Dc < 1.5\%$
2a	Plat mais inondable	$Dc = 1.5\%$
2b	Terrain vallonné	$1.5\% < Dc \leq 4\%$
3	Terrain montagneux	$Dc > 4\%$

Tableau n°3 : Détermination de la nature des terrains.

Ce qui conduit à un terrain plat à partir du (tableau 2)

Sinuosité :

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

La longueur sinueuse Ls est la longueur des courbes de rayon en plan inférieur ou égale à 200 m.

Calcul de la sinuosité :

$$\sigma = \frac{Ls}{L}$$

Avec :

- Ls : la somme des développées des rayons inférieurs ou égale à 200m ($R \leq 200m$).
- L : la longueur totale de la route.
- Ls=0 si aucun rayon n'est inférieur à 200m.

Chapitre II: Normes géométriques et données de base

N°	Classification	Sinuosité
1	Sinuosité faible	$\sigma < 0.10$
2	Sinuosité moyenne	$0.10 < \sigma < 0.30$
3	Sinuosité forte	$\sigma > 0.30$

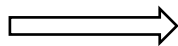
Tableau n°4 : Sinuosité.

Dans notre cas :

L= 3000m

Ls= 0

$\sigma = 0$



caractéristique d'une sinuosité faible (tableau3).

Sinuosité et relief	Faible	Moyenne	Forte
Plat	E1	E2	/
vallonné	E2	E2	E3
Montagneux	/	E3	E3

Tableau n°5 : Environnement de la route.

Les trois types d'environnement résultent du croisement des deux paramètres précédents selon le tableau ci-dessous :

Dans notre cas :

**Un terrain Plat /Une Sinuosité Faible /
L'environnement de la route E1 (tableau 5)**

II.4. Catégorie de la route :

Selon la B40 (norme technique d'aménagement des routes algériennes) les routes sont classées en Cinq catégories fonctionnelles, correspondants aux finalités économiques et administratives).

Chapitre II: Normes géométriques et données de base

Les Cinq catégories de la route sont :

- **CAT 1** : Liaison entre les grands centres économiques.
- **CAT 2** : Liaison entre d'industrie de transformation et d'industrie légère.
- **CAT 3** : Liaison entre des chefs-lieux de wilaya et de daïras non desservie par le réseau de CAT1 et CAT 2.
- **CAT 4** : Liaison des centres de vie non relie au réseau de CAT 1-2-3.
- **CAT 5** : Routes et pistes non comprises dans les CAT précédentes.

**Dans le cas de notre projet, et après l'analyse des données il s'avère que
La catégorie de notre projet rentre dans la CAT 2**

II.5. La vitesse de référence :

La vitesse de référence représente la vitesse de circulation des véhicules sur une route a circulation normale et au-dessous de laquelle les véhicules rapides peuvent circuler normalement. Elle est déterminée en fonction de l'importance des liaisons assurées par la section de la route et par les conditions géographiques. La vitesse est donc en fonction de (catégories, environnement).

Environnement Catégorie	E1	E 2	E3
CAT 1	120-100-80	100-80-60	80-60-40
CAT 2	120-100-80	100-80-60	80-60-40
CAT 3	120-100-80	100-80-60	80-60-40
CAT 4	100-80-60	80-60-40	60-40
CAT 5	80-60-40	60-40	40

Tableau n°6 : Vitesse de référence.

Pour notre projet et après analyse des données il s'avère que **V_r = 80km/h.**

Chapitre III

Etude du Trafic

III.1) Généralité :

L'étude du trafic qui est un élément essentiel qui doit être préalable à tout projet de réalisation ou d'aménagement d'infrastructure de transport, permet de déterminer le type d'aménagement qui convient et, au-delà les caractéristiques à lui donner depuis le nombre de voie jusqu'à l'épaisseur des différentes couches de matériaux qui constituent la chaussée.

L'étude du 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.

Cette conception repose, sur une partie « stratégie, planification », sur la prévision des trafics, sur les réseaux routiers, qui est nécessaire pour :

- Apprécier la valeur économique des projets.
- Estimer les coûts d'entretien du réseau routiers, qui sont en fonction du volume de circulation.
- Définir les caractéristiques techniques des différents tronçons de la route constituant le réseau qui doit être adapté au volume et la nature des circulations attendues (nombre de voies).

L'étude du trafic est une étape importante dans la mise au point d'un projet routier et consiste à caractériser les conditions de circulation des usagers de la route (volume, composition, conditions de circulation, saturation, origine et destination). Cette étude débute par le recueil des données.

III.2) Différents types de trafic :

a) Trafic normal:

C'est un trafic existant sur l'ancien aménagement sans prendre en considération le trafic du nouveau projet.

b) 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.

c) Trafic total:

C'est la somme du trafic annuel et du trafic dévié.

d) Trafic induit:

C'est un trafic qui résulte de nouveau déplacement des personnes vers d'autres déviations.

III.3) Analyse des trafics existants :

L'étude du trafic est une étape importante dans la mise au point d'un projet routier et consiste à caractériser les conditions de circulation des usagers de la route (volume, composition, conditions de circulation, saturation, origine et destination). Cette étude débute par le recueil des données.

2.1- Mesure des trafics :

Cette mesure est réalisée par différents procédés complémentaires :

- ✓ **Les comptages** : permettent de quantifier le trafic.
- ✓ **Les enquêtes** : permettent d'obtenir des renseignements qualitatifs.

Chapitre III : Etude du trafic

2.2- Comptages : C'est l'élément essentiel de l'étude de trafic, on distingue deux types

de comptage :

- ✓ Les comptages manuels.
- ✓ Les comptages automatiques

a) Comptages manuels : Ils sont réalisés par les enquêteurs qui relèvent la composition du trafic pour compléter les indicateurs fournis par les comptages automatiques. Les comptages manuels permettent de connaître le pourcentage de poids lourds et les transports en commun, Les trafics sont exprimés en moyenne journalière annuelle (T.J.M.A)

b) Comptages automatiques : Ils sont effectués à l'aide d'appareil enregistreur comportant une détection pneumatique réalisée par un tube en caoutchouc tendu en travers de la chaussée. On distingue ceux qui sont permanents et ceux qui sont temporaires.

2.3 Enquêtes « origine-destination » : Il est plus souvent opportun de compléter les informations recueillies à travers des comptages par des données relatives à la nature du trafic et à l'orientation des flux, on peut recourir en fonction du besoin, à diverse méthodes, lorsque l'enquête est effectuée sur tous les accès à une zone prédéterminée (une agglomération entière, une ville ou seulement un quartier) on parle d'enquête cordon. Cette méthode permet en particulier de recenser les flux de trafic inter zonaux.

III.4) Calcul 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 déterminer. La capacité dépend de :

- Des conditions de trafic.
- Des conditions météorologiques.
- De 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).

III.5) Calcul du trafic effectif :

C'est le trafic traduit en unité de véhicules particulier (UVP), en fonction du type de route et de l'environnement. Pour cela on utilise des coefficients d'équivalence pour convertir les PL en (UVP). Le trafic effectif est donné par la relation :

$$T_{eff} = [(1-Z) + PZ].T_n$$

T_{eff} : trafic effectif à l'horizon.

Z : pourcentage de poids lourds (%).

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

Chapitre III : Etude du trafic

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

Tableau n°7 : Valeurs du coefficient P.

III.6) 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). Il est donné par la formule :

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) \times T_{\text{eff}}$$

Avec :

$\left(\frac{1}{n}\right)$: Coefficient de pointe prise égale 0.12.

Q : est exprimé en UVP/h.

III.7) Débit horaire admissible : Le débit horaire maximal accepté par voie est déterminé par la formule :

$$Q_{\text{adm}} (\text{UVP/h}) = K1.K2. C_{\text{th}}$$

Avec :

K1 : coefficient lié à l'environnement.

K2 : coefficient de réduction de capacité.

C_{th} : capacité effective par voie, qu'un profil en travers peut écouler en régime stable.

Valeur de K1 :

Env. et CAT	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5
E1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E2	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
E3	0.91	0.95	0.97	0.96	0.96

Tableau n° 8 : Valeurs de K1 en fonction de l'environnement.

Chapitre III : Etude du trafic

Valeur de K2 :

Env	E1	E2	E3
K2	0.75	0.85	0.90 à 0.96

Tableau n° 9 : Valeurs de K2 en fonction de l'environnement.

Valeur de Cth : Capacité théorique du profil en travers en régime stable.

Capacité théorique :

Route à 2 voies de 3.5m	1500 à 2000 uvp/h
Route à 3 voies de 3.5m	2400 à 3200 uvp/h
Route à chaussées séparées	1500 à 1800 uvp/h

Tableau n°10 : Valeurs de la capacité théorique.

III.8) Application au projet :

D'après les résultats du trafic qui nous ont été fournis par la DTP de la wilaya de Tamanrasset et qui sont les suivants :

- Le trafic à l'année de compactage 2018 TMJA = 10700 V/J.
- Le taux d'accroissement annuel du trafic $\tau = 5\%$.
- La vitesse de base sur le tracé $V_b = 80 \text{ km/h}$.
- Le pourcentage moyen de poids lourds $Z = 40\%$.
- L'année de mise en service sera en 2021
- Environnement (E1) - Catégorie (CAT2).
- La durée de vie estimée à 20 ans.

Trafic à l'année horizon (2041) pour une durée de vie de 20 ans :

$$T_n = T_0 \times (1 + \tau)^n$$

$$T_{20} = 10700(1 + 0.05)^{20} = 28391 \text{ v/j}$$

$$T_{20} = 28391 \text{ v/j}$$

Chapitre IV

Paramètres Cinématique

Chapitre IV: Paramètre cinématique

IV.1. Distance de freinage :

Les possibilités de freinage sont limitées, du fait du jeu de l'adhérence, il existe une distance minimum pour obtenir l'arrêt complet du véhicule.

La distance de freinage d_0 est la distance parcourue pendant l'action de freinage pour annuler la vitesse dans une condition conventionnelle de la chaussée mouillée. Elle varie suivant la pente longitudinale de la chaussée

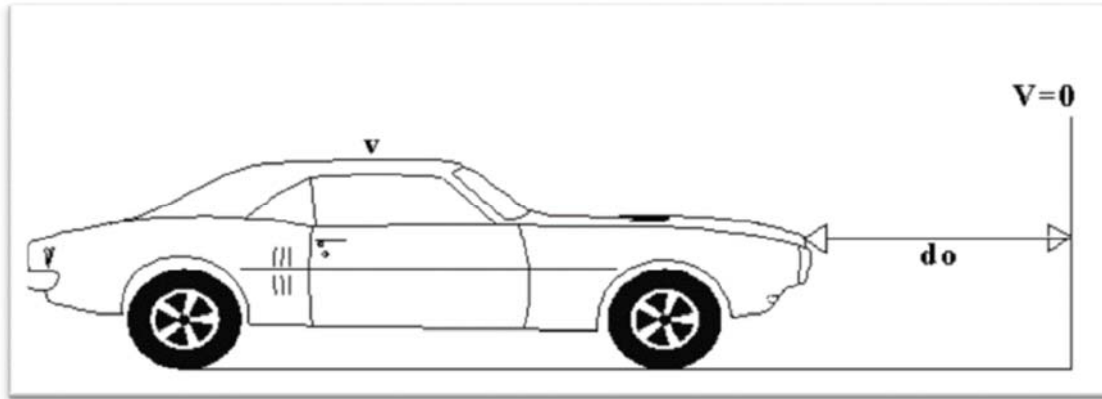


Figure n°11 : Distance de freinage.

Dans le cas général, la route est déclinée c'est-à-dire elle est en rampe ou en pente.

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

Dans ce cas la formule d_0 sera :

$$\text{Rampe : } d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{Vr^2}{(f_{rl} + e)}$$

$$\text{Pente : } d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{Vr^2}{(f_{rl} - e)}$$

En palier (e=0) on aura :

$$d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{Vr^2}{(f_{rl})}$$

Vr : Vitesse de référence en Km/h.

e : Déclivité.

f_{rl} : Coefficient de frottement longitudinal qui dépend de la vitesse Vr.

Le coefficient de frottement longitudinal f varie avec l'état des pneus de la chaussée

Comme il peut varier avec la vitesse du véhicule.

Chapitre IV: Paramètre cinématique

Vr (Km/h)		40	60	80	100	120	140
f _{rl}	Catégorie 1-2	0.45	0.42	0.39	0.36	0.33	0.30
	Catégorie 3-4-5	0.49	0.46	0.43	0.40	0.36	/

Tableau n°11 : Coefficient de frottement longitudinal selon les normes de B40.

D'après les valeurs du tableau des normes B40 et en ce qui concerne notre projet

On a $f_l = 0.39$

IV.2. Temps de réaction :

Souvent l'obstacle est imprévisible et le conducteur a besoin d'un temps pour réaliser la nature de l'obstacle ou du danger qui lui apparaît. Ce temps est en général appelé temps de perception du conducteur, il diffère d'une personne à une autre et varie en fonction de l'état psychique et physiologique.

De nombreuses études faites sur le comportement des conducteurs, ont montré que le temps de perception et de réaction est en moyenne :

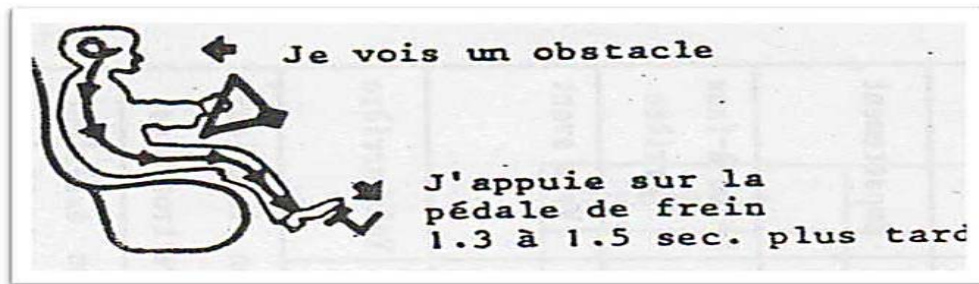


Figure n°12 : Temps de réactions.

Dans une attention concentrée : $t = 1.2 \text{ s}$ pour un obstacle imprévisible

$t = 0.6 \text{ s}$ pour un obstacle prévisible

On prend $t = 1.8 \text{ s}$ par rapport à la catégorie et la vitesse :

CAT Env	CAT 1-2		CAT 3-4-5	
	> 80	<80	>60	<60
VITESSE	> 80	<80	>60	<60
E1 et E2	1.8s	2s	1.8s	2s
E3	1.8s			

Tableau n°12 : Les valeurs du temps de perception réaction t en fonction de E,CAT et Vr

Chapitre IV: Paramètre cinématique

Donc la distance parcourue pendant le temps de réaction et de perception est :

$$d_1 = v \times t \quad \text{Avec :} \quad v : \text{m/s} \quad t : \text{s}$$

IV.3. Distance d'arrêt :

La distance parcourue par le conducteur entre le moment dans lequel l'œil du conducteur perçoit l'obstacle et l'arrêt effectif du véhicule est désigné sous le nom de distance d'arrêt (d).

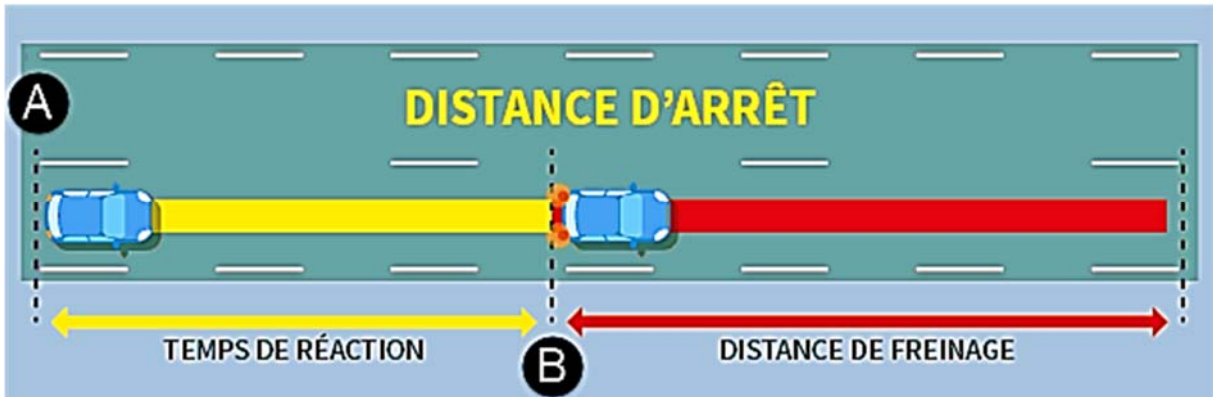


Figure n°13 : Distance d'arrêt.

Nature de route	Alignement droit	courbe
T(s)		
1.8	$D_1 = d_0 + 0.50v$	$D_1 = 1.25d_0 + 0.50v$
2	$D_1 = d_0 + 0.55v$	$D_1 = 1.25d_0 + 0.55v$

Tableau n°13 : Lois de distance d'arrêt.

D1 : distance d'arrêt

D0 : distance de freinage

V : vitesse (km/h)

IV.4. Manœuvre de dépassement :

dvdm : Distance de visibilité et de manœuvre de dépassement moyenne

dvdN : Distance de visibilité et de manœuvre de dépassement normale

dmd : Distance de visibilité de manœuvre et de dépassement

Chapitre IV: Paramètre cinématique

Vr(Km/h) Distance	40	60	80	100	120	140
dvdm	4v	4v	4v	4.2v	4.6v	5v
	160	240	320	420	550	700
dvdN	6v	6v	6v	6.2v	6.6v	7v
	240	360	480	620	790	980
Dmd	70	120	200	300	425	/

Tableau n°14 : Valeur de dvd et dmd en fonction de la vitesse.

D'après le tableau des normes de laB40, on tire les valeurs de dvdm, dvdn et dmd en fonction de la vitesse.

IV.5. Espacement entre deux véhicules :

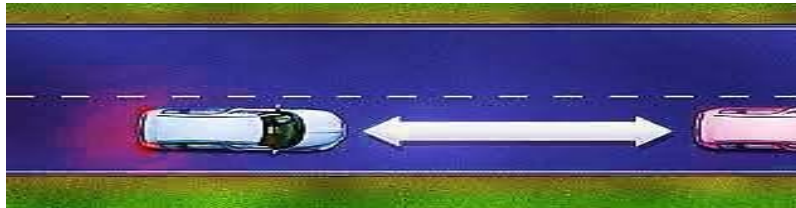


Figure n°14 : Espacement entre véhicule.

L'espacement entre deux véhicules : est une notion. Il s'agit de la distance qu'un conducteur doit conserver entre son véhicule et celui qui le précède, celle-ci dépend directement de la vitesse du véhicule. Elle correspond à la distance parcourue pendant deux secondes, durée supérieure au temps de réaction : ainsi si les deux véhicules ont la même capacité de freinage, il n'y aura pas de collision

$$E = 8 + 0.2V + 0.003V^2$$

IV.6. Application au projet :

Distance de freinage :

Pour notre projet on a fl : 0.39

- En alignement droit : e = 0 (cas purement théorique)

$$d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{v^2}{(fl \pm i)} = \frac{4}{1000} \times \frac{80^2}{(0.39)} = 65.64 \text{ m}$$

Chapitre IV: Paramètre cinématique

➤ En rampe : $e = +0.052$

$$d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{v^2}{(fl \pm e)}$$
$$d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{80^2}{(0.39 + 0.052)} = 57.91 \text{ m}$$

➤ En pente : $e = -0.052$

$$d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{v^2}{(fl \pm e)}$$
$$d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{80^2}{(0.39 - 0.052)} = 75.73 \text{ m}$$

Distance d'arrêt :

a) En alignement droit :

On a $V_r = 80 \text{ km/h}$ $t = 2 \text{ s}$ \longrightarrow $d = d_0 + 0.50V_r$

➤ En palier : $d = 65.64 + (0.50 \times 80) = 105.64 \text{ m}$

➤ En rampe : $d = 57.91 + (0.50 \times 80) = 97.91 \text{ m}$

➤ En pente : $d = 75.73 + (0.50 \times 80) = 115.73 \text{ m}$

b) En courbe :

On a $V_r = 80 \text{ km/h}$ $t = 2 \text{ s}$ \longrightarrow $d = 1.25d_0 + 0.50V_r$

➤ En palier : $d = 1.25 \times 65.64 + (0.50 \times 80) = 122.05 \text{ m}$

➤ En rampe : $d = 1.25 \times 57.91 + (0.50 \times 80) = 112.38 \text{ m}$

➤ En pente : $d = 1.25 \times 75.73 + (0.50 \times 80) = 134.66 \text{ m}$

$D_{vdm} = 320 \text{ m}$ $d_{vdN} = 480 \text{ m}$ \longrightarrow $d_{md} = 200 \text{ m}$

Espacement entre véhicules :

$$E = 8 + 0.2v + 0.003v^2$$

$$E = 8 + 0.2(80) + 0.003(80)^2$$

$$E = 43.$$

Chapitre V

Tracé en Plan

Chapitre V: Tracé en Plan

V.1. Introduction

Lors de l'élaboration de tout projet routier l'ingénieur doit commencer par la recherche du couloir de la route dans le site concerné.

Le tracé en plan est une succession de droites reliées par des courbes. Il représente la projection de l'axe routier sur un plan horizontal qui peut être une carte topographique ou un relief schématisé par des courbes de niveau.

Les caractéristiques des éléments constituant le tracé en plan doivent assurer les conditions de confort et de stabilité et qui sont données directement dans les codes routiers en fonction de la vitesse de base et le frottement de la surface assuré par la couche de roulement.

V.2. La vitesse de référence (de base)

La vitesse de référence (V_b) c'est le paramètre qui permet de déterminer les caractéristiques géométriques minimales d'aménagement des points singuliers pour le confort et la sécurité des usagers, la vitesse de référence ne devrait pas varier sensiblement entre les sections différentes, un changement de celle-ci ne doit être admis qu'en coïncidence avec une discontinuité perceptible à l'utilisateur (traverser d'une ville, modification du relief... etc.).

V.2.1. **Choix de la vitesse de référence :**

Le choix de la vitesse de référence dépend de :

- Type de route.
- Importance et genre de trafic.
- Topographie.
- Conditions économiques d'exécution et d'exploitation.

V.3. Paramètres fondamentaux (B40) :

Pour le cas de notre projet d'après les normes la route à aménager on opte pour une vitesse de référence de 80 km/h qui correspond à la catégorie L1 selon la norme établie par l'ICTAAL 2000.

V.4. Règles et principes du tracé en plan

Les normes exigées et utilisées dans notre projet sont résumées dans la B40, il faut respecter ces normes dans la conception ou dans la réalisation. Dans ce qui suit, on va citer certaines exigences qui nous semblent pertinentes :

- Toutes les courbes horizontales dont le rayon est inférieur à $RHnd$ (rayon horizontale non déversé) devront être introduites avec des raccordements progressifs.
- Le raccordement du nouveau tracé au réseau routier existant.
- Eviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières.
- Eviter au maximum les propriétés privées.
- Eviter le franchissement des oueds afin d'éviter le maximum d'ouvrages d'arts
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques.
- Limiter le pourcentage de longueur des alignements entre 40% et 60% de la longueur total du tracé.

V.5. Les éléments du tracé en plan

Un tracé en plan moderne est constitué de trois éléments :

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



Figure n°15 : Élément du tracé en plan.

V.5.1. Alignements droit

Il existe une longueur minimale d'alignement L_{min} qui devra séparer deux courbes circulaires de même sens, cette longueur sera prise égale à la distance parcourue pendant 5 secondes à la vitesse maximale permise par le plus grand rayon des deux arcs de cercles.

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

Avec V en

$$L_{min} = 5 V$$

→ (m/s).

$$L_{max} = 60 V$$

Pour des raisons de sécurité de circulation et d'esthétique, on évitera les cas particuliers suivants :

- Réunion de 2 longues courbes par un alignement court
Solution : alignement à supprimer.
- Réunion de 2 longs alignements par une courbe courte s'est à dire de faible rayon
Solution : augmenter le rayon de sa courbe.

V.5.2. Les arcs de cercle

Trois problèmes se posent :

- Stabilité des véhicules en courbe.
- Visibilité en courbe.
- Inscription des véhicules longs dans les courbes de rayon faible.

Dans un virage de rayon R, un véhicule subit l'effet de la force centrifuge qui tend à provoquer une instabilité du système, afin de réduire l'effet de la force centrifuge on incline la chaussée transversalement vers l'intérieure du virage (éviter le phénomène de dérapage) d'une pente dite devers exprimée par sa tangente

Chapitre V: Tracé en Plan

Remarque

- ❖ Le devers « d » ne doit pas être trop grand (risque de glissement à faible vitesse par temps pluvieux ou verglas)
- ❖ Le devers « d » ne doit pas être trop faible pour assurer un bon écoulement des eaux. Ceci nous conduit à la série de couples (Catégorie, d).
- ❖ Au devers maximum correspond le rayon minimum absolu RH_m avec :

Environnement Devers	Facile	moyen	Difficile
Devers Minimal			
- Cat 1-2	2.5%	2.5%	2.5%
- Cat 3-4-5	3%	3%	3%
Devers Maximal			
- Cat 1-2	7%	7%	7%
- Cat 3-4	8%	8%	7%
- Cat 5	9%	9%	9%

Tableau n°15 : Dévers en fonction de l'environnement.

V.6. Courbes en plan :

V.6.1. Le rayon minimal absolu RHM :

C'est le plus petit rayon en plan admissible pour une courbe présentant un dévers maximal et Parcourue par la vitesse de référence

$$R_{Hm} = \frac{vr^2(km/h)}{127(d+ft)}$$

V.6.2. Le rayon minimal normal RHN :

Le rayon minimal normal (RHN) doit permettre à des véhicules dépassant V_r de 20km/h de Rouler en sécurité.

$$R_{HN} = \frac{(V_r+20)^2}{127(d+ft)}$$

Chapitre V: Tracé en Plan

V.6.3. Le rayon au dévers minimal RHd :

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

$$RHd = \frac{Vr^2}{127(2.dmin)}$$

$dmin = 2.5\%$ en catégorie 1 – 2

$dmin = 3\%$ en catégorie 3– 4

V.6.4. Le rayon non déversé RHnd :

C'est le rayon tel que l'accélération centrifuge résiduelle que peut parcourir un véhicule roulant à la vitesse $V = V_r$ et présente un dévers vers l'extérieur.

$$RHnd = \frac{Vr^2}{127(F'' - dmin)}$$

V.6.5. Détermination des dévers $dmax$ et $dmin$:

	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5
d min	-2.50%	-2.50%	-3%	-3%	-4%
d max	7%	7%	8%	8%	9%

Tableau n°16 : Dévers.

Chapitre V: Tracé en Plan

V.6.6. Détermination du coefficient transversal f_t :

Vr	40	60	80	100	120	140
Cat 1-2	0.22	0.16	0.13	0.11	0.1	0.1
Cat 3-4-5	0.22	0.18	0.15	0.125	0.11	/

Tableau n°17 : Valeur du coefficient f_t .

V.6.7. Détermination du coefficient F'' en fonction de la catégorie :

Catégories	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5
F''	0.06	0.06	0.07	0.075	0.075

Tableau n°18 : Valeur du coefficient « F'' » .

- **Tableau récapitulatif :**

Vitesse réf	100km/h
dmax	7 %
dmin	-2,50 %
d=dmax-2%	5 %
F_t	0,13
f''	0,06

Tableau n°19 : Tableau récapitulatif des paramètres cinématiques.

V.6.8. Rayons en plan d'après les normes B40 :

$RH_m =$	250,00 m	$RH_N =$	400,00 m	$RH_d =$	1000,00 m	$RH_{nd} =$	1500,00 m
$d(RH_m) =$	7,0%	$d(RH_N) =$	5,0%	$d(RH_d) =$	2,5%	$d(RH_{nd}) =$	-2,5%

Tableau n°20 : Les rayons en plan selon B40.

Chapitre V: Tracé en Plan

$$R_{hm} = \frac{Vr^2(Km/h)}{127(d+ft)} R_{hm} \Rightarrow \frac{80^2}{127(0.13+0.07)} = 251,96 \text{ m}$$

$$R_{HN} = \frac{(Vr+20)^2(Km/h)}{127(d+ft)} R_{HN} \Rightarrow \frac{(80+20)^2}{127(0.13+0.07)} = 393,70 \text{ m}$$

$$R_{Hd} = \frac{Vr^2(Km/h)}{127 \times 2 \times d} R_{Hd} \Rightarrow \frac{80^2}{127 \times 2 \times 0.025} = 1007,87 \text{ m}$$

$$R_{Hnd} = \frac{Vr^2(Km/h)}{127(F'' - d_{min})} R_{Hnd} \Rightarrow \frac{80^2}{127(0.06 - 0.025)} = 1439,82 \text{ m}$$

On remarque que les valeurs calculées correspondent réellement aux valeurs du tableau N°20 (normes B40).

V.6.4. Visibilité en courbe

Un virage d'une route peut être masqué du côté inférieur de la courbe par un talus de déblai, ou par une construction ou 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. Au lieu de cela, une autre solution serait d'augmenter le rayon du virage jusqu'à ce que la visibilité soit assurée.

V.6.4. Sur largeur

Un long véhicule à deux (2) essieux, circulant dans un virage, balaye en plan une bande de chaussée plus large que celle qui correspond à la largeur de son propre gabarit. Pour éviter qu'une partie de sa carrosserie n'empiète sur la voie adjacente, on donne à la voie parcourue par ce véhicule une sur largeur par rapport à sa largeur normale en alignement égale à :

$$S = 50 / R \quad / \quad R : \text{ rayon de l'axe de la route.}$$

V.7. Courbes de raccordements

Le fait que le tracé soit constitué d'alignement et d'arc ne suffit pas, il faut donc prévoir des raccordements à courbure progressif, qui permettent d'éviter la variation brusque de la courbe lors du passage d'un alignement à un cercle ou entre deux courbes circulaires et ça pour assurer :

- ✓ La stabilité transversale du véhicule.
- ✓ Confort des passagers du véhicule.
- ✓ Transition de la forme de la chaussée.
- ✓ Un tracé élégant, souple, fluide, optiquement et esthétiquement satisfaisant.

V.7.1. Clothoïde

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

V.7.2. Expression mathématique de la Clothoïde

La Courbure K linéairement proportionnellement à la longueur curviligne.

$$K = C.L$$

$$\text{On pose: } 1/C = A^2 \Rightarrow L.R = A^2$$

Chapitre V: Tracé en Plan

V.7.4. Longueur de la Clothoïde

La longueur de la Clothoïde doit satisfaire les trois conditions suivantes :

Condition d'optique :

Pour la condition d'optique, on adoptera les conditions suivantes :

$$\tau \geq 3^\circ \text{ soit } \tau \geq 1/18 \text{ rads}$$

$$\tau = L/2R > 1/18 \text{ rads} \rightarrow L > R/9 \text{ soit } A > R/3$$

$$\boxed{R/3 \leq A \leq R}$$

Règle générale (B40) :

$$\begin{matrix} \color{blue}{\oplus} & R \leq 1500m & \Delta R = 1m & (\text{éventuellement } 0.5m) \end{matrix}$$

$$\boxed{L = \sqrt{24R\Delta R}}$$

$$\begin{matrix} \color{blue}{\oplus} & 1500 < R \leq 5000m \end{matrix}$$

$$\boxed{L \geq R/9}$$

$$\begin{matrix} \color{blue}{\oplus} & R > 5000m \end{matrix}$$

$$\Delta R = 2.5 m$$

$$\boxed{L = 7.75 \sqrt{R}}$$

Condition de gauchissement :

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

$$\boxed{L \geq l \cdot \Delta d \cdot V_B}$$

L : longueur de raccordement.

l : Largeur de la chaussée.

Δd : variation de dévers.

Condition de confort dynamique :

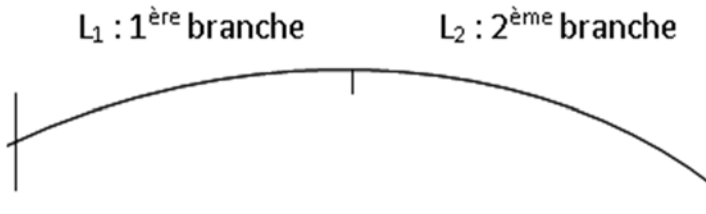
Cette condition consiste à limiter le temps de parcours t du raccordement et la variation par unité de temps de l'accélération transversale d'un véhicule.

$$L_3 \geq \frac{Vr^2}{18} \left[\frac{Vr^2}{127R} - \Delta d \right]$$

Finalement, la longueur de la Clothoïde sera le Max entre les L des 3 conditions.

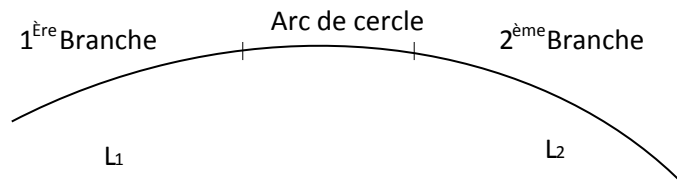
V.7.5- Vérification de non chevauchement

1^{er} cas : $\tau < \frac{Y}{2}$: Les deux alignements droits sont raccordés par les 2 branches de Clothoïde donc non chevauchement.



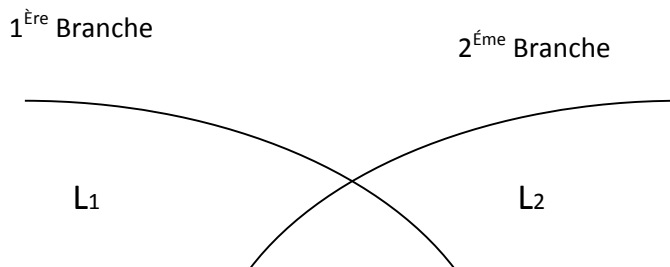
Clothoïde sans arc de cercle :

2^{ème} cas : $\tau = \frac{Y}{2}$: les 2 alignements droits sont raccordés par les 2 branches de Clothoïde sans arc de cercle.



Clothoïde avec arc de cercle :

3^{ème} cas : $\tau > \frac{Y}{2}$: la construction de la Clothoïde est impossible == chevauchement.



Chapitre V: Tracé en Plan

Clothilde impossible.

Pour résoudre le problème, il faut jouer avec les 2 inconnues L et R et comme L est limitée par les 3 conditions précédentes (condition d'optique, de gauchissement et de confort dynamique).

La seule solution est d'augmenter le rayon R.

Num.	Abscisse	X	Y	Z Tn	Z Projet	Gisement	Dévers		Pente longitudinale
							Gauche	Droite	
2213	55325.000	524369.210	2250234.690	662.490	663.220	203.973	2.500	2.500	-1.590
2214	55350.000	524394.180	2250233.510	662.110	662.840	202.033	2.500	2.500	-1.430
2215	55375.000	524419.180	2250233.090	661.550	662.510	200.092	2.500	2.500	-1.260
2216	55400.000	524444.170	2250233.440	661.430	662.210	198.204	2.500	1.790	-1.160
2217	55425.000	524469.150	2250234.420	661.290	661.920	196.903	2.500	-0.080	-1.160
2218	55450.000	524494.120	2250235.770	661.320	661.660	196.325	2.500	-1.950	-0.910
2219	55475.000	524519.080	2250237.230	660.780	661.470	196.293	2.500	-2.500	-0.620
2220	55500.000	524544.030	2250238.680	660.720	661.350	196.293	2.500	-2.500	-0.330
2221	55525.000	524568.990	2250240.140	660.630	661.300	196.293	2.500	-2.500	-0.100
2222	55550.000	524593.950	2250241.590	660.540	661.280	196.293	2.500	-2.500	-0.100
2223	55575.000	524618.910	2250243.050	660.490	661.250	196.293	2.500	-2.500	-0.100
2224	55600.000	524643.860	2250244.500	660.420	661.230	196.293	2.500	-2.500	-0.100
2225	55625.000	524668.820	2250245.900	660.340	661.200	196.807	2.500	-2.500	-0.100
2226	55650.000	524693.800	2250246.970	660.470	661.170	197.716	2.500	-2.500	-0.150
2227	55675.000	524718.790	2250247.690	660.460	661.110	198.626	2.500	-2.500	-0.320
2228	55700.000	524743.790	2250248.050	660.250	661.030	199.535	2.500	-2.500	-0.320
2229	55725.000	524768.790	2250248.060	660.280	660.950	200.445	2.500	-2.500	-0.320
2230	55750.000	524793.790	2250247.700	660.250	660.870	201.354	2.500	-2.500	-0.320
2231	55775.000	524818.770	2250246.990	660.050	660.790	202.264	2.500	-2.500	-0.320
2232	55800.000	524843.750	2250245.930	659.950	660.710	203.173	2.500	-2.500	-0.320
2233	55825.000	524868.710	2250244.500	659.930	660.630	204.082	2.500	-2.500	-0.320
2234	55850.000	524893.650	2250242.720	659.910	660.550	204.992	2.500	-2.500	-0.320
2235	55875.000	524918.560	2250240.590	659.850	660.470	205.901	2.500	-2.500	-0.320
2236	55900.000	524943.430	2250238.090	659.760	660.390	206.811	2.500	-2.500	-0.320
2237	55925.000	524968.270	2250235.270	659.690	660.310	207.403	2.500	-2.500	-0.320
2238	55950.000	524993.100	2250232.370	659.660	660.230	207.403	2.500	-2.500	-0.320

Chapitre V: Tracé en Plan

2239	55975.000	525017.930	2250229.470	659.590	660.150	207.403	2.500	-	-0.320
2240	56000.000	525042.760	2250226.570	659.410	660.070	207.403	2.500	-	-0.320
2241	56025.000	525067.600	2250223.670	659.300	659.980	207.403	2.500	-	-0.320
2242	56050.000	525092.430	2250220.760	659.300	659.900	207.403	2.500	-	-0.320
2243	56075.000	525117.250	2250217.790	659.240	659.820	208.111	2.500	-	-0.320
2244	56100.000	525142.010	2250214.350	659.140	659.740	209.460	2.500	-	-0.320
2245	56125.000	525166.690	2250210.390	659.090	659.660	210.809	2.500	-	-0.330
2246	56150.000	525191.290	2250205.900	659.040	659.580	212.158	2.500	-	-0.350
2247	56175.000	525215.780	2250200.900	658.960	659.490	213.506	2.500	-	-0.350
2248	56200.000	525240.160	2250195.380	658.890	659.400	214.855	2.500	-	-0.350
2249	56225.000	525264.420	2250189.340	658.850	659.320	216.204	2.500	-	-0.350
2250	56250.000	525288.550	2250182.790	658.810	659.230	217.553	2.500	-	-0.350
2251	56275.000	525312.530	2250175.730	659.710	659.140	218.902	2.500	-	-0.350
2252	56300.000	525336.360	2250168.160	659.880	659.050	220.250	2.500	-	-0.350
2253	56325.000	525360.020	2250160.090	658.890	658.970	221.599	2.500	-	-0.260
2254	56350.000	525383.500	2250151.520	658.310	658.940	222.948	2.500	-	-0.010
2255	56375.000	525406.800	2250142.460	658.250	658.970	224.297	2.500	-	0.240
2256	56400.000	525429.900	2250132.900	658.330	659.040	225.645	2.500	-	0.290
2257	56425.000	525452.800	2250122.860	658.420	659.110	226.994	2.500	-	0.290
2258	56450.000	525475.470	2250112.330	658.500	659.140	228.343	2.500	-	-0.160
2259	56475.000	525497.920	2250101.330	658.550	659.030	229.692	2.500	-	-0.720
2260	56500.000	525520.130	2250089.850	658.330	658.780	231.040	2.500	-	-1.270
2261	56525.000	525542.090	2250077.900	658.070	658.390	232.389	2.500	-	-1.680
2262	56550.000	525563.790	2250065.500	657.500	658.010	233.735	2.500	-	-1.320
2263	56575.000	525585.360	2250052.860	657.090	657.740	233.735	2.500	-	-0.820
2264	56600.000	525606.930	2250040.220	656.890	657.590	233.735	2.500	-	-0.390
2265	56625.000	525628.510	2250027.590	656.750	657.500	233.735	2.500	-	-0.390
2266	56650.000	525650.080	2250014.950	656.610	657.400	233.735	2.500	-	-0.390
2267	56675.000	525671.650	2250002.310	656.580	657.300	233.735	2.500	-	-0.390
2268	56700.000	525693.220	2249989.680	656.540	657.210	233.735	2.500	-	-0.390
2269	56725.000	525714.790	2249977.040	656.430	657.110	233.735	2.500	-	-0.390
2270	56750.000	525736.360	2249964.410	656.360	657.010	233.735	2.500	-	-0.390
2271	56775.000	525757.930	2249951.770	656.330	656.920	233.735	2.500	-	-0.390
2272	56800.000	525779.510	2249939.130	656.260	656.830	233.735	2.500	-	-0.220
2273	56825.000	525801.080	2249926.500	656.150	656.810	233.735	2.500	-	0.030
2274	56850.000	525822.650	2249913.860	655.980	656.850	233.735	2.500	-	0.280

Chapitre V: Tracé en Plan

2275	56875.000	525844.220	2249901.220	655.670	656.950	233.735	2.500	- 2.500	0.450
2276	56900.000	525865.790	2249888.590	657.360	657.060	233.735	2.500	- 2.500	0.450
2277	56925.000	525887.360	2249875.950	657.380	657.180	233.735	2.500	- 2.500	0.440
2278	56950.000	525908.930	2249863.310	656.390	657.260	233.735	2.500	- 2.500	0.300
2279	56975.000	525930.610	2249850.860	656.110	657.340	232.619	2.500	- 2.500	0.300
2280	57000.000	525952.510	2249838.800	656.590	657.410	231.440	2.500	- 2.500	0.300
2281	57025.000	525974.630	2249827.160	656.090	657.480	230.262	2.500	- 2.500	0.150
2282	57050.000	525996.960	2249815.920	656.610	657.480	229.083	2.500	- 2.500	-0.100
2283	57075.000	526019.500	2249805.100	657.120	657.430	227.904	2.500	- 2.500	-0.350
2284	57100.000	526042.240	2249794.700	657.400	657.310	226.725	2.500	- 2.500	-0.490
2285	57125.000	526065.160	2249784.730	656.710	657.190	225.546	2.500	- 2.500	-0.490
2286	57150.000	526088.260	2249775.170	656.700	657.070	224.367	2.500	- 2.500	-0.490
2287	57175.000	526111.540	2249766.050	657.420	656.950	223.188	2.500	- 2.500	-0.490
2288	57200.000	526134.980	2249757.360	656.260	656.800	222.009	2.500	- 2.500	-0.720
2289	57225.000	526158.580	2249749.110	655.680	656.590	220.830	2.500	- 2.500	-0.950
2290	57250.000	526182.320	2249741.300	655.360	656.420	219.651	2.500	- 2.500	-0.350
2291	57275.000	526206.210	2249733.920	655.310	656.410	218.472	2.500	- 2.500	0.280
2292	57300.000	526230.230	2249726.990	655.290	656.560	217.293	2.500	- 2.500	0.900
2293	57325.000	526254.370	2249720.510	655.920	656.870	216.114	2.500	- 2.500	1.530
2294	57350.000	526278.630	2249714.470	656.510	657.260	214.936	2.500	- 2.500	1.300
2295	57375.000	526303.000	2249708.880	657.280	657.490	213.757	2.500	- 2.500	0.590
2296	57400.000	526327.470	2249703.750	657.360	657.550	212.578	2.500	- 2.500	-0.130
2297	57425.000	526352.020	2249699.020	657.570	657.430	211.950	2.500	- 2.500	-0.840
2298	57450.000	526376.580	2249694.360	656.970	657.130	211.950	2.500	- 2.500	-1.420
2299	57475.000	526401.140	2249689.690	655.640	656.870	211.950	2.500	- 2.500	-0.710
2300	57500.000	526425.700	2249685.020	655.030	656.780	211.950	2.500	- 2.500	0.000
2301	57525.000	526450.260	2249680.360	654.510	656.860	211.950	2.500	- 2.500	0.530
2302	57550.000	526474.820	2249675.690	655.390	657.000	211.950	2.500	- 2.500	0.530
2303	57575.000	526499.380	2249671.030	655.620	657.100	211.950	2.500	- 2.500	0.140
2304	57600.000	526523.940	2249666.360	655.760	657.050	211.950	2.500	- 2.500	-0.570
2305	57625.000	526548.500	2249661.700	656.830	656.820	211.950	2.500	- 2.500	-1.290
2306	57650.000	526573.060	2249657.030	656.280	656.410	211.950	2.500	- 2.500	-2.000
2307	57675.000	526597.620	2249652.370	656.070	655.820	211.950	2.500	- 2.500	-2.710
2308	57700.000	526622.190	2249647.700	654.710	655.220	211.950	2.500	- 2.500	-2.030
2309	57725.000	526646.750	2249643.040	653.720	654.800	211.950	2.500	- 2.500	-1.320
2310	57750.000	526671.310	2249638.370	653.520	654.560	211.950	2.500	- 2.500	-0.610

Chapitre V: Tracé en Plan

2311	57775.000	526695.870	2249633.710	653.320	654.500	211.950	2.500	- 2.500	0.110
2312	57800.000	526720.430	2249629.060	653.800	654.610	211.534	2.500	- 2.500	0.820
2313	57825.000	526745.080	2249624.900	654.770	654.910	209.766	2.500	- 2.500	1.540
2314	57850.000	526769.840	2249621.420	654.840	655.380	207.997	2.500	- 2.500	2.250
2315	57875.000	526794.680	2249618.630	655.090	655.990	206.229	2.500	- 2.500	2.440
2316	57900.000	526819.590	2249616.540	655.140	656.510	204.461	2.500	- 2.500	1.720
2317	57925.000	526844.550	2249615.130	656.150	656.850	202.692	2.500	- 2.500	0.950
2318	57950.000	526869.540	2249614.420	657.240	656.990	200.924	2.500	- 2.500	0.180
2319	57975.000	526894.540	2249614.410	656.070	656.940	199.155	2.500	- 2.500	-0.580
2320	58000.000	526919.530	2249615.090	656.580	656.700	197.387	2.500	- 2.500	-1.350
2321	58025.000	526944.490	2249616.460	656.620	656.260	195.619	2.500	- 2.500	-2.070
2322	58050.000	526969.410	2249618.520	655.900	655.750	193.850	2.500	- 2.500	-2.070
2323	58075.000	526994.250	2249621.280	655.760	655.230	192.082	2.500	- 2.500	-1.990
2324	58100.000	527019.010	2249624.730	654.280	654.790	190.314	2.500	- 2.500	-1.570
2325	58125.000	527043.670	2249628.860	653.630	654.440	188.545	2.500	- 2.500	-1.160
2326	58150.000	527068.200	2249633.670	653.130	654.210	186.777	2.500	- 2.500	-0.740
2327	58175.000	527092.590	2249639.170	653.040	654.070	185.008	2.500	- 2.500	-0.320
2328	58200.000	527116.810	2249645.340	652.980	654.010	183.240	2.500	- 2.500	-0.230
2329	58225.000	527140.860	2249652.180	652.990	653.960	181.472	2.500	- 2.500	-0.230
2330	58250.000	527164.710	2249659.680	653.030	653.900	179.703	2.500	- 2.500	-0.230
2331	58275.000	527188.330	2249667.850	653.070	653.850	177.935	2.500	- 2.500	-0.020
2332	58300.000	527211.730	2249676.670	653.130	653.930	176.166	2.500	- 2.500	0.610
2333	58325.000	527234.860	2249686.130	653.160	654.160	174.398	2.500	- 2.500	1.230

Chapitre VI

Profil en Long

VI.1. Définition :

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

VI.2. Règles à respecter dans le tracé de la ligne rouge :

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

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

VI.3. Eléments de composition du profil en long :

Le profil en long est constitué d'une succession de segment de droites (rampes et pentes) raccordés par des courbes circulaires. Pour chaque point du profil en long on doit déterminer :

- L'altitude du terrain naturel
- L'altitude de la ligne du projet
- La déclivité de la ligne du projet

VI.4. Coordination entre le tracé en plan et le profil en long :

La coordination du tracé en plan et du profil en long doit faire l'objet d'une étude d'ensemble, afin d'assurer une bonne insertion dans le site, respecter les règles de visibilité et autant que possible, un certain confort visuel ; ces objectifs incitent à :

Faire coïncider les courbes horizontales et verticales, puis respecter la condition :

$R_{\text{vertical}} > 6 \times R_{\text{horizontal}}$, pour éviter un défaut d'inflexion.

Supprimer les pertes de tracé dans la mesure où une telle disposition n'entraîne pas de coût sensible.

VI.5. Déclivité :

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). Autrement dit la déclivité est la tangente de l'angle que fait la ligne rouge du profil en long avec l'horizontal. Elle prend le nom de pente pour les descentes et rampe pour les montées.

VI.5.1. Déclivité minimum :

Les tronçons de route absolument horizontaux, dits « en palier » sont si possibles à éviter, pour la raison de l'écoulement des eaux pluviales. la pente transversale seule de la chaussée ne suffit pas, il faut encore que l'eau accumulée latéralement s'évacue longitudinalement avec facilité par des fossés ou des canalisations ayant une pente suffisante. Il est conseillé d'éviter les pentes inférieures à 1% et surtout celle inférieure à 0.5 %, pour éviter la stagnation des eaux.

VI.5.2. Déclivité maximum :

Du point de vue technique, la déclivité maximale dépend de l'adhérence entre pneus et chaussée (ce phénomène concerne tous les véhicules), ainsi de la réduction des vitesses qu'elle provoque ou les camions (poids lourds) sont déterminants car la plupart des véhicules légers ont une grande puissance. Donc Il est conseillé d'éviter les pentes supérieures à 8%.

Vr (km/h).	40	60	80	100	120	140
Imax	8	7	6	5	4	4

Tableau n°21 : Valeur de déclivité maximale[NormesB40]

VI.6. Les 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 doit satisfaire les conditions de visibilité et de confort. On distingue deux types de raccordements :

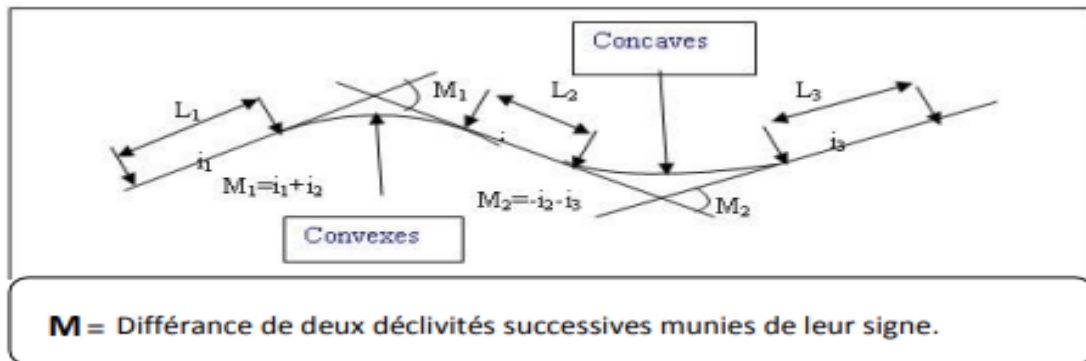


Figure n°17 : Raccordement convexe et concave.

VI.6.1. 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, des obstacles et des distances d'arrêt et de visibilité. Leur conception doit satisfaire au deux conditions suivantes :

- Condition de confort.
- Condition de visibilité.

VI.6.1.1. Condition de confort :

Lorsque le profil en long comporte une forte courbure de raccordement, les véhicules sont soumis à une accélération verticale insupportable, qu'elle est limitée à :

« $g / 40$ (cat 1-2) et $g / 30$ (Cat 3-4-5) », Le rayon de raccordement à retenir sera donc égal à :

$$v^2 / R_v < g / 40 \quad \text{avec} \quad g = 10 \text{ (m/s}^2\text{)} \quad \text{et} \quad v = V / 3,6$$

D'où :

$$R_{v\min} \geq 0,30 V^2 \text{ (cat 1-2).}$$

$$R_{v\min} \geq 0,23 V^2 \text{ (cat 3-4-5).}$$

Tel que :

$$R_v : \text{c'est le rayon vertical (m)} \quad \text{et} \quad V : \text{vitesse de référence (km/h).}$$

VI.6.1.2. Condition de visibilité :

Elle intervient seulement dans les raccordements des points hauts comme condition supplémentaire à celle de la condition de confort.

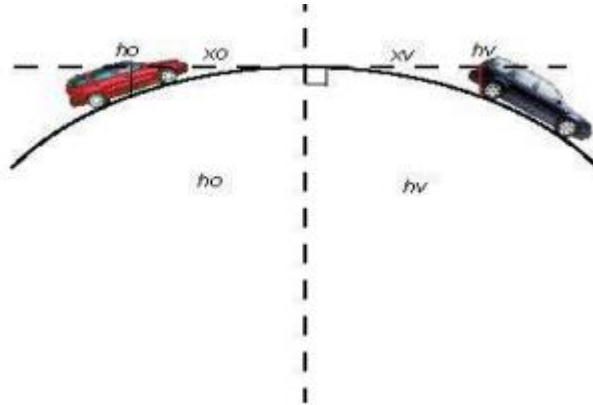


Figure n°18 : Visibilité.

Il faut que deux véhicules qui circule en sens opposés puissent s'apercevoir à une distance double de la distance d'arrêt minimum. Le rayon de raccordement est donné par la formule suivante :

$$Rv \geq \frac{d^2}{2 \cdot (h_0 + h_1 + 2\sqrt{h_0 \cdot h_1})} \approx 0.27D^2$$

d : Distance d'arrêt (m).

h_0 : Hauteur de l'œil (m).

h_1 : Hauteur de l'obstacle (m).

Dans le cas d'une route unidirectionnelle :

$h_0=1,1$ m $h_1=0,15$ m

On trouve : $Rv = ad_1^2$ a = 0,24

Pour Cat 1-2 $Rv = 0,24 d_1^2$

Les rayons assurant ces deux conditions sont donnés par les normes en fonction de la vitesse de base et la catégorie, pour choix unidirectionnelle et pour une vitesse de base $Vb=80$ (Km/h) et pour la catégorie 1-2 on a :

Chapitre VI : Profil en Long

Rayon	symbole	valeur
Min-absolu	RVm1	2 500
Min-normal	RVN1	6 000
Dépassement	RVD	11 000

Tableau n°22 : Rayons convexes (angle saillant) [B40]

VI.6.2. Raccordements concaves (angle rentrant) :

Dans le cas de raccordement dans les points bas, la visibilité diurne 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 :

$$R'v = \frac{d1^2}{1.5+0.035 \times d1}$$

Dans notre cas :

Rayon	Symbole	Valeur
Min -absolu	Rvm1	2500
Min - normal	RVN 1	6000
Dépassement	RVD	11000

Tableau n°23 : Rayons concaves (angle rentrant).

VI.7. Détermination pratique du profil en long :

Dans les études des projets, on assimile l'équation du cercle :

$$X^2 + Y^2 - 2 R Y = 0$$

À l'équation de la parabole

$$X^2 - 2RY = 0 \rightarrow Y = \frac{X^2}{2R}$$

Pratiquement, le calcul des raccordements se fait de la façon suivante :

- Donnée les coordonnées (abscisse, altitude) des points A et D.
- Donnée La pente P₁ de la droite (AS).
- Donnée la pente P₂ de la droite (DS).
- Donnée le rayon R.

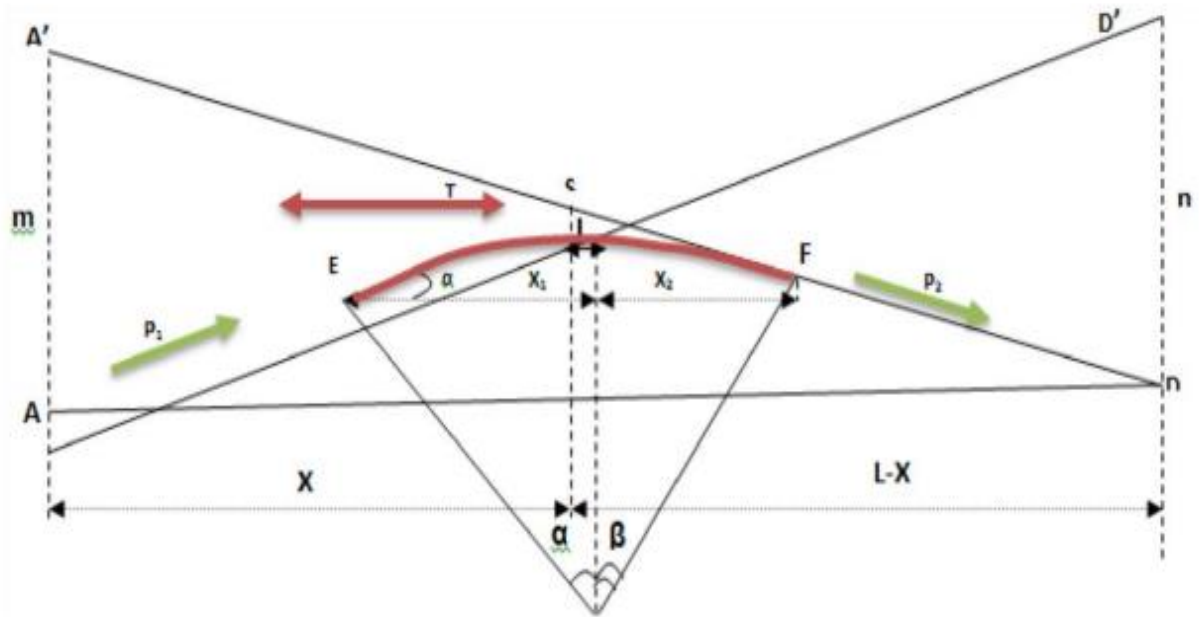


Figure n°19 : Détermination du profil en long.

VI.7.1. Détermination de La position du point de rencontre (S):

On a :

$$Z_{D'} = Z_A + L.P_2 ; m = Z_{A'} - Z_A$$

$$Z_{A'} = Z_D + L.P_1 ; n = Z_{D'} - Z_D$$

Les deux triangles SAA' et SDD' sont semblables donc :

$$\frac{m}{n} = \frac{x}{L-x} \quad x = \frac{mL}{m+n}$$

$$S \quad X_S = X + X_A.$$

$$Z_S = P_1.X + Z_A.$$

VI.7.2. Calculs de La tangente :

$$T = \frac{R}{2} |P_1 - P_2|$$

On prend (+) lorsque les deux pentes sont de sens contraires, on prend (-) lorsque les deux pentes sont de même sens.

La tangente (T) permet de positionner les pentes de tangentes E et F.

$$E \left\{ \begin{array}{l} X_E = X_S - T \\ Z_E = Z_S - T \cdot P_1 \end{array} \right\} \quad ; \quad F \left\{ \begin{array}{l} X_F = X_S + T \\ Z_F = Z_S - T \cdot P_2 \end{array} \right\}$$

VI.7.3. Projection horizontale de la longueur de raccordement:

$$LR=2T$$

VI.7.4. Calcul de la flèche :

$$H = \frac{T^2}{2R}$$

VI.7.5. Calcul de la flèche Et de l'altitude d'un point courant M sur la courbe :

$$M \left\{ \begin{array}{l} H_X = x^2 / 2R \\ Z_M = Z_B + X_{p1} - X^2 / 2R \end{array} \right.$$

VI.7.6. Calcul des coordonnées du sommet de la courbe (T) :

Le point J correspond au point le plus haut de la tangente horizontale.

$$X_1 = R \cdot P_1 \quad ; \quad X_2 = R \cdot P_2 \quad \quad X_J = X_E + R \cdot P_1$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X_J = X_E + R \cdot P_1 \\ Z_J = Z_E + X_1 \cdot P_1 \frac{X_1}{2R} \end{array} \right.$$

Dans le cas des pentes de même sens le point J est en dehors de la ligne de projet et ne présente aucun intérêt. Par contre dans le cas des pentes de sens contraire, La connaissance du point (J) est intéressante en particulier pour l'assainissement en zone de déblai, le partage des eaux de ruissellement se fait à partir du point J, c'est à dire les pentes des fossés descendants dans les sens J ver A et D.

VI.8. Exemple de calcul de profil en long Rentrant :

Calcul de la tangente :

- Dans le cas où les déclivités sont de sens contraire :

$$T = \frac{Rv}{200} |P1+P2|$$

- Dans le cas où les déclivités sont de même sens :

$$T = \frac{Rv}{200} |P1-P2|$$

$R_v = 4000$ m.

$$T = \frac{4000}{200} |-5.00+1.00|$$

$T = 80$ m

La longueur L du raccordement verticale :

$$L = 2 \times T$$

$$L = 2 \times 80$$

$L = 160$ m

La flèche F :

$$F = \frac{T^2}{2RV}$$

$$F = \frac{80^2}{2(4000)}$$

$F = 0.8$ m

Chapitre VI : Profil en Long

Le tableau suivant donne les différentes valeurs relatives à notre projet :

Elément Sommet	P1 P2	Nature du rayon	Sens des pentes	Les rayons	T	L	F
S1	-5.00 1.00	Saillant	Sens contraire	4000	80	160	0.8
S2	1.00 -5.00	Rentrant	Sens contraire	6010	120.2	240.4	1.20
S3	-5.00 1.13	Saillant	Sens contraire	7000	135.45	270.90	1.31
S4	1.13 -3.00	Rentrant	Sens contraire	6010	51.085	102.17	0.22
S5	-3.00 -1.11	Saillant	Sens contraire	3010	61.86	123.72	0.64
S6	-1.11 5.00	Saillant	Sens contraire	3010	58.54	117.09	0.60
S7	5.00 -2.88	Rentrant	Sens contraire	6010	63.71	127.42	0.34
S8	-2.88 1.00	Saillant	Sens contraire	3010	28.29	56.58	0.13

Tableau n°24 : Valeurs de la tangente et de la flèche.

Chapitre VII

Profil en Travers

Chapitre VII: Profil en travers

VII.1. Généralités :

Le profil en travers est une coupe transversale menée selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la route projetée. 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 type » 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....).

VII.2. Les éléments du profil en travers :

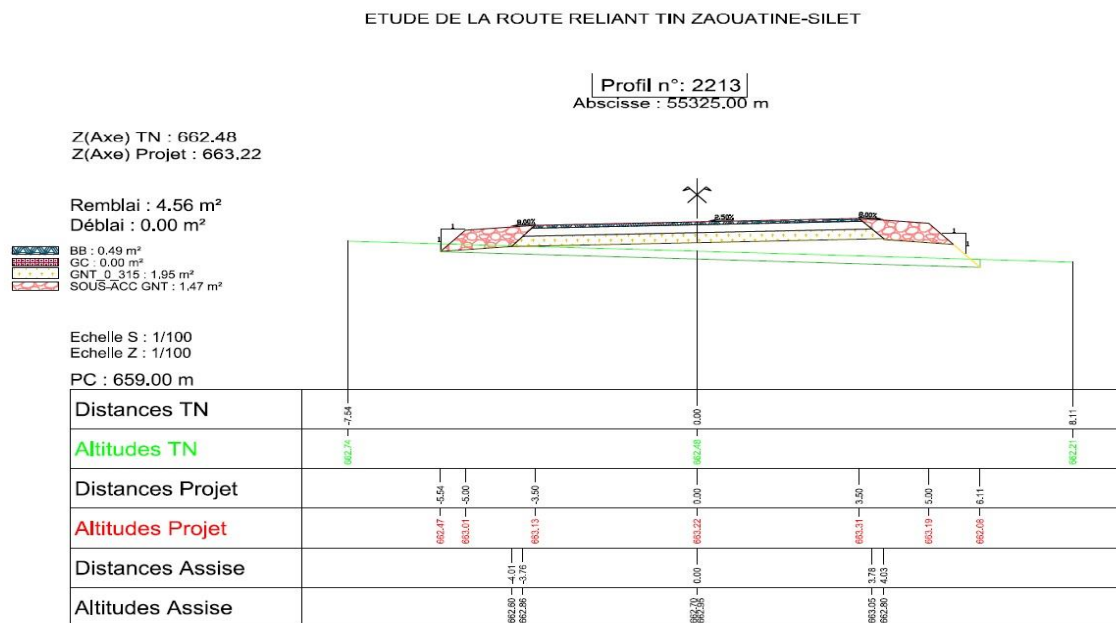


Figure n°20 : Eléments du profil en travers.

Le profil en travers doit être constitué par les éléments suivants :

a- La chaussée :

C'est la partie renforcée et affectée à la circulation des véhicules. Pour subir directement les actions des véhicules et les facteurs naturels, sa largeur dépend essentiellement de considération de débit, elle est divisée en voies de circulations.

b- Les accotements :

Les accotements se trouvent aux cotés de la chaussée, ils étaient utilisés auparavant soit pour le dépôt des matériaux soit pour les piétons, maintenant, ils sont utilisés pour stationnement.

Sur les routes importantes la largeur des accotements est de 2 à 2.5m utilisés comme bande d'arrêt, mais dans notre cas sa largeur est de 1.5m.

Chapitre VII: Profil en travers

c- Plate-forme :

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

d- L'assiette :

C'est la surface de la route délimitée par les terrassements.

e- L'emprise :

C'est la surface du terrain naturel affectée à la route et à ses dépendances (Talus, exutoires, etc....) limitée par le domaine public.

f- Le talus :

Le talus a une inclinaison qui dépend de la cohésion des sols qui le constitue, cette inclinaison est désignée par une fraction (A/B) tel que :

A : la base du talus.

B : hauteur du talus.

g- Le fossé :

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

h- Le terre-plein central T.P.C :

Il assure la séparation matérielle des deux sens de circulation, sa largeur est de celle de ses constituants : les deux bandes dérasées de gauche et la bande médiane.

- **Bande dérasée de gauche (B.D.G) :** Elle est destinée à éviter un effet de paroi lié aux barrières de sécurité, Elle est dégagée de tous obstacles, revêtu et se raccorde à la chaussée.
- **Bande médiane :** Elle sert à séparer physiquement les deux sens de circulation, et à implanter certains équipements (barrière, support de signalisation, etc.), sa largeur dépend, pour le minimum des éléments qui sont implanter.

i- La largeur roulable :

Elle comprend les sur largeurs de chaussée, la chaussée et bande d'arrêt.

VII.3. Classification du profil en travers

Ils existent deux types de profil :

- Profil en travers type.
- Profil en travers courant.

1-Le profil en travers type :

Le profil en travers type est une pièce de base dessinée dans les projets de nouvelles routes ou d'aménagement de routes existantes. Il contient tous les éléments constructifs de la future route, dans toutes les situations (remblais, déblais). L'application du profil en travers type sur le profil correspondant du terrain en respectant la côte du projet permet le calcul de l'avant mètre des terrassements.

2- Le profil en travers courant :

Le profil en travers courant est une pièce de base dessinée dans les projets à une distance régulière (10, 15, 20,25 m..). Qui servent à calculer les cubatures.

VII.4. Application numérique au projet :

Après l'étude de trafic, le profil en travers type retenu pour notre route sera composé d'une chaussée bidirectionnelle. Les éléments du profil en travers types sont comme suit :

Chaussée : $3.5 \times 2 = 07,00 \text{ m.}$

Accotement : $1.5 \times 2 = 3,00 \text{ m.}$

Chapitre VIII

Cubatures

VIII.1. Généralités :

Les mouvements des terres désignent tous les travaux de terrassement, et ils ont un objectif primordial de modifier la forme du terrain naturel pour qu'il soit disponible à recevoir des ouvrages en terme général.

Ces actions sont nécessaires et fréquemment constatées sur les profils en longs et les profils en travers.

La modification de la forme du terrain naturel comporte deux actions, la première il s'agit d'ajouter des terres (remblai) et la deuxième il s'agit d'enlever des terres (déblai).

Le calcul des volumes des déblais et des remblais s'appelle **les cubatures des terrassements**.

VIII.2. Définition :

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.

VIII.3. Méthode de calcul des cubatures :

Les cubatures sont les calculs effectués pour avoir les volumes des terrassements existants dans notre projet. Les cubatures sont fastidieuses, mais il existe plusieurs méthodes de calcul des cubatures qui simplifie le calcul.

Le travail consiste a calculé les surfaces SD et SR pour chaque profil en travers, en suite on les soustrait pour trouver la section pour notre projet.

On utilise la méthode SARRAUS, c'est une méthode simple qui se résume dans le calcul des volumes des tronçons compris entre deux profils en travers successifs.

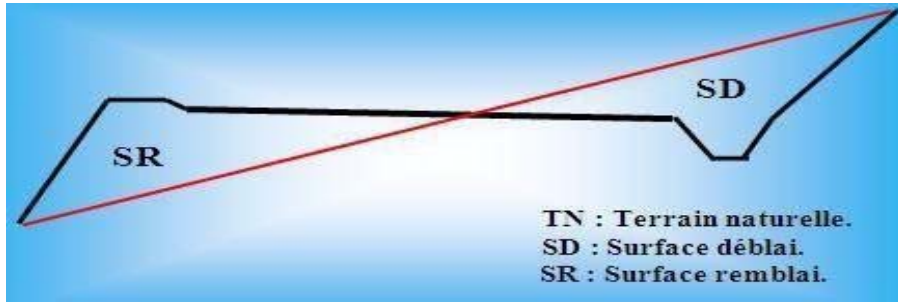


Figure n°21 : Volume déblai, remblai.

VIII.3.1. Formule de Mr SARRAUS :

Cette méthode « formule des trois niveaux » consiste à calculer le volume déblai ou remblai des tronçons compris entre deux profils en travers successifs

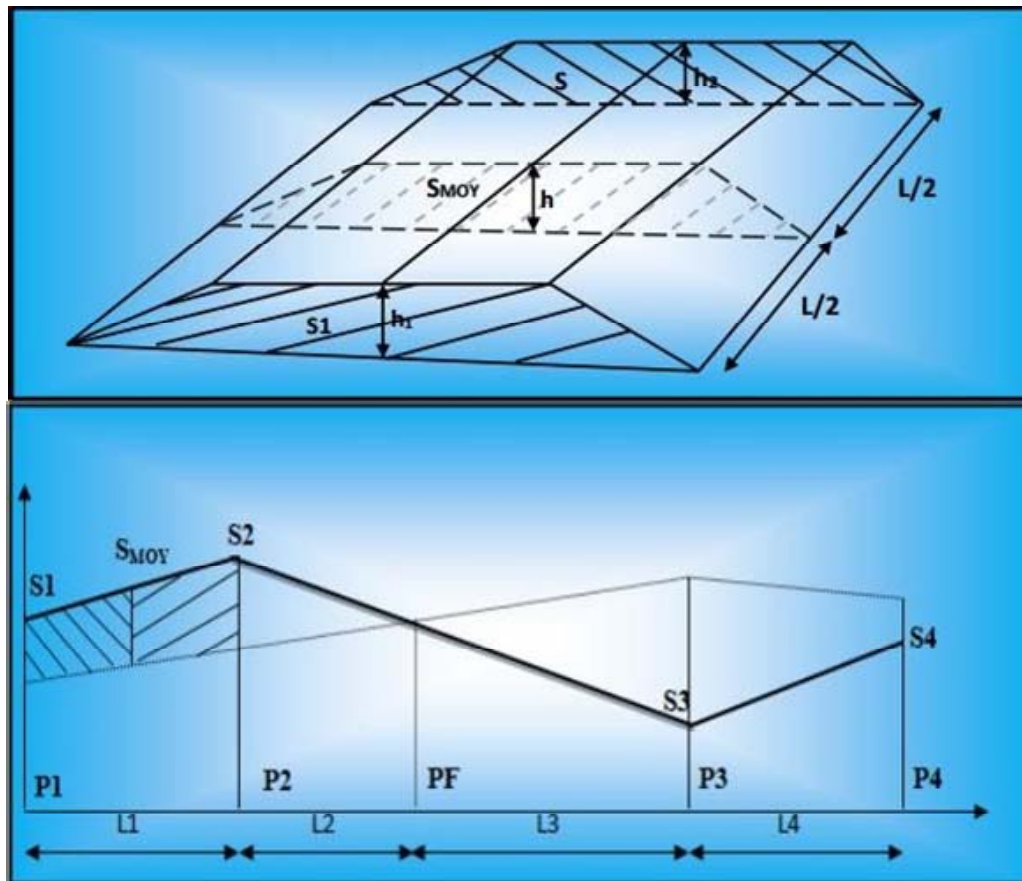


Figure n°22 : Calcul volume déblai; Remblai.

$$V = \frac{L}{6} (S_1 + S_2 + 4 \times S_{MOY})$$

PF : profil fictive, surface nulle.

- ✓ **S_i** : surface de profil en travers P_i.
- ✓ **L_i** : distance entre ces deux profils.
- ✓ **S_{MOY}** : surface intermédiaire (surface parallèle et à mi-distance L_i).

Pour éviter des calculs très long, on simplifie cette formule en considérant comme très voisines les deux expressions **S_{MOY}** et **(S₁+S₂) / 2** ; Ceci donne :

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

Donc les volumes seront :

$$\text{Entre P1 et P2 : } V_1 = \frac{L_1}{2} \times (S_1 + S_2)$$

$$\text{Entre P2 et PF : } V_2 = \frac{L_2}{2} \times (S_2 + 0)$$

$$\text{Entre Pf et P3 : } V_3 = \frac{L_3}{2} \times (0 + S_3)$$

$$\text{Entre P3 et P4 : } V_4 = \frac{L_4}{2} \times (S_3 + S_4)$$

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

$$V = \frac{L_1}{2} S_1 + \frac{L_1 + L_2}{2} S_2 + \frac{L_2 + L_3}{2} \times 0 + \frac{L_3 + L_4}{2} S_3 + \frac{L_4}{2} S_4$$

VIII.3.2. 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. Si on utilise la méthode de GULDEN, la quantité (longueur d'application) n'a plus de sens.

VIII.3.3. 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.

VIII.4. Application au projet

Dans notre projet, le calcul est fait par logiciel Covadis. Les résultats détaillés sont en annexe.

L'objectif fixé est de réduire au maximum la différence entre les volumes de déblais et remblais.

Volume total de décapage = **600,00 m³**

Volume des déblais : **$V_D = 7.200,00 \text{ m}^3$**

Volume des remblais : **$V_R = 27.000,00 \text{ m}^3$**

Différence de volume (excès de remblai) : **$V_R - V_D = (19.800,00) \text{ m}^3$**

Chapitre IX

Dimensionnement

du

Corps de Chaussée

IX.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 conditions 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 vide.

La qualité de la construction des chaussées joue un rôle primordial. 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

Principe de la constitution des chaussées

La chaussée est essentiellement un ouvrage de répartition des charges roulantes sur le terrain de fondation. Pour que le roulage s'effectue rapidement, sûrement et sans usure exagérée du matériel, il faut que la surface de roulement ne se déforme pas sous l'effet :

- **De la charge des véhicules**

La charge maximale autorisée sur un jumelage isolé est de 65 KN (6,5 tonnes) soit un essieu standard de 130 KN (13 T).

Il arrive également que cette charge maximale dépassée à cause de phénomène de surcharge.

Chapitre IX Dimensionnement du corps de chaussée

- **Des intempéries**

Les variations de la température peuvent engendrer dans les solides élastiques des champs de contrainte et engendrer aussi : les effets du gel, les efforts de l'ensoleillement sur la déformation des mélanges bitumineux, et sur le vieillissement du bitume.

- **Des efforts tangentiels**

Lorsqu'un véhicule est en mouvement apparaissent des efforts horizontaux du fait :

- De la transmission de l'effort moteur ou du freinage.
- De la mise en rotation des roues non motrice.
- De la résistance aux efforts transversaux.

Toutes ces actions tangentielles s'accompagnent de frottement dans lesquels se dissipent de l'énergie et qui usent les pneumatiques et les chaussées.

IX.2. La chaussée :

- **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 :

- ❖ **Couche de surface :**

Elle est composée de la couche de roulement et la couche de liaison et elle est en contact direct avec le pneumatique de véhicule et la charge extérieure. Son rôle est de :

- Encaisser les efforts de cisaillement provoqués par la circulation.
- Imperméabiliser la surface de la chaussée.
- Assurer la sécurité (adhérence) et le confort (bruit et uni.)
- Assurer une transition avec les couches inférieures plus rigides.

Chapitre IX Dimensionnement du corps de chaussée

❖ Couche de base

Elle reprend les efforts verticaux et repartis les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes.

❖ Couche de fondation

Elle a le même rôle que celui de la couche de base.

❖ Couche de forme

Elle est généralement prévue pour répondre à certains objectifs en fonction de la nature du sol support :

- Sur un sol rocheux : elle joue le rôle de nivellement afin d'aplanir la surface.
- Sur un sol peu portant (argileux à teneur en eau élevée) : Elle assure une portance suffisante à court terme permettant aux engins de chantier de circuler librement.

Actuellement, on tient de plus en plus compte du rôle de portance à long terme apporté par la couche de forme dans le dimensionnement et l'optimisation des structures de chaussées.

IX.3. Les différentes catégories de chaussée

Il existe deux catégories de chaussées :

- Les chaussées classiques (souples et rigides)
- Les chaussées inverses (mixtes ou semi-rigides)

Structures de chaussée

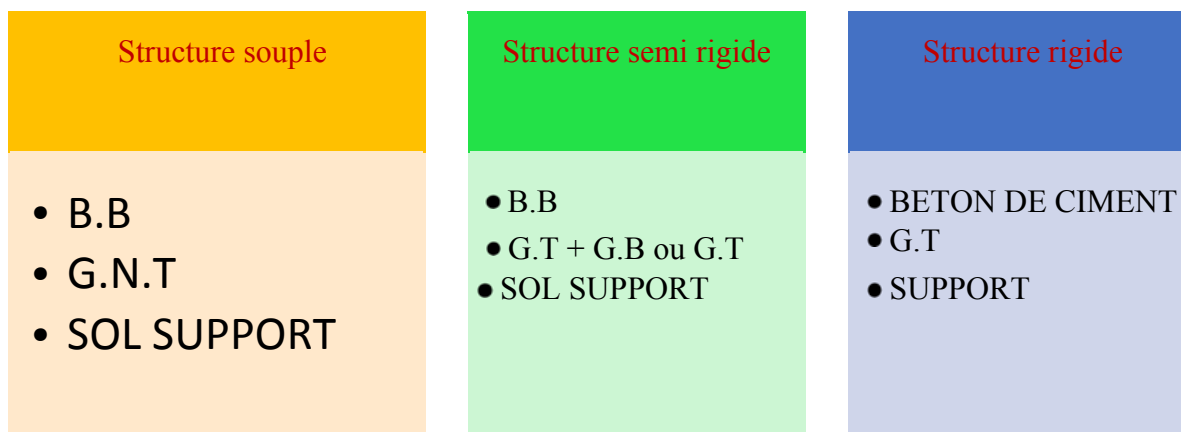


Figure n°23 : Les différentes catégories de chaussée.

Chapitre IX Dimensionnement du corps de chaussée

BB : béton bitumineux

GB : grave bitume

GT : grave traité

G.N.T : grave non trait.

Le dimensionnement des structures constitue une étape importante de l'étude d'un projet routier car 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 chaussée devra résister aux agressions des agents extérieurs et à la surcharge d'exploitation : action des essieux des véhicules lourds, effets 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 ces charges pendant sa durée de vie.

La qualité de la construction de chaussées joue à ce titre un rôle primordial, celle-ci passe d'abord par une bonne reconnaissance du sol support et un choix judicieux des matériaux à utiliser, il est ensuite indispensable que la mise en œuvre de ces matériaux soit réalisée conformément aux exigences arrêtées.

Enfin, on examinera les différentes méthodes de dimensionnements avec une application au projet.

IX.4. Les principales méthodes de dimensionnement

On distingue deux familles des méthodes :

- Les méthodes empiriques dérivées des études expérimentales sur les performances des chaussées.
- Les méthodes dites « rationnelles » basées sur l'étude théorique du comportement des chaussées.

Pour cela on passera en revue les méthodes empiriques les plus utilisées.

- **Method C.B.R (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'eau moins de 15 cm.

Chapitre IX Dimensionnement du corps de chaussée

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

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

Avec :

e : épaisseur équivalente.

I : indice CBR (sol support).

N : désigne le nombre journalier de camion de plus **1500** kg à vide.

P : charge par roue P = **6.5** t (essieu **13** t).

Log : logarithme décimal.

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante :

$$e = a_1 e_1 + a_2 e_2 + a_3 e_3.$$

a₁ e₁: Couche de roulement.

a₂ e₂: Couche de base.

a₃ e₃: Couche de fondation.

Où :

a₁, a₂, a₃ : coefficients d'équivalence.

e₁, e₂, e₃ : épaisseurs réelles des couches.

Pour le calcul de l'épaisseur réelle de la chaussée on fixe e₁, e₂ et on calcule e₃ tel que :

e₁ : Couche roulement 6 à 8 cm.

e₂ : Couche de base 10 à 25 cm.

e₃ : Couche de fondation 15 à 35 cm.

Coefficient d'équivalence

Le tableau ci-dessous indique les coefficients d'équivalence pour chaque matériau :

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense	2.00
Grave ciment – grave laitier	1.50
Grave bitume	1.20 à 1.70
Grave concassée ou gravier	1.00
Grave roulée – grave sableuse T.V.O	0.75
Sable ciment	1.00 à 1.20
Sable	0.50
Tuf	0.60

Tableau n°25 : Coefficient d'équivalence des matériaux.

Lorsque le corps de chaussée est composé par des différents matériaux, on utilise le coefficient d'équivalence de chaque matériau :

$$e = \sum_{i=0}^n ai. ei$$

IX.5. Application au projet

Méthode de l'indice CBR :

1) Données de l'étude :

- Le trafic à l'année de compactage **2018 TMJA = 10700 V/J.**
- Le trafic à l'année de mise en service **2021 TMJA = 28391 v/j**
- Le taux d'accroissement annuel du trafic **$\tau = 5\%$.**
- La vitesse de base sur le tracé **Vb = 80km /h.**
- Le pourcentage moyen de poids lourds **Z = 40 %**
- L'année de mise en service sera en **2021**
- Environnement (**E1**) - Catégorie (**CAT2**).
- La durée de vie estimée à **20 ans.**
- **ICBR = 8**

Chapitre IX Dimensionnement du corps de chaussée

Calcul du trafic du VPL a l'année de mise en service :

$$N1 = TMJA2021 \times \%PL$$

$$N1 = 28391 \times 0.2 = 5678 \text{ VPL/J}$$

Calcul du trafic du VPL a l'année horizon :

$$Nn = N1 (1+\tau)^n$$

$$N_{20} = 5678(1+0.05)^{20} = 15065 \text{ VPL/J}$$

2) Calcul d'épaisseur théorique :

On a C.B.R = 8

$$e = \frac{100+(\sqrt{p})(75+50 \log \frac{N}{10})}{ICBR+5}$$

$$e = \frac{100+(\sqrt{6.5})(75+50 \log \frac{15065}{10})}{8+5}$$

$$e = 53.56 \text{ cm}$$

$$e \approx 54 \text{ m}$$

Calcul des épaisseurs des différentes couches :

Lorsque le corps de la chaussée est composé par des différents matériaux, on utilise le coefficient d'équivalent de chaque matériau :

$$e = \sum_i^n C_i e_i$$

C_i : Coefficient d'équivalence de chacun de matériau à utiliser.

e_i : Épaisseur de chaque couche.

On propose les matériaux suivants de chaque couche :

Couche de roulement en « Béton bitumineux à performance modifié BBPM » :

D'après le tableau ci-dessous

$$a_1 \times e_1 = 2.00 \times 7 = 14 \text{ cm}$$

Couche de Base en « Grave Non Traité GNT » 0/20 :

$$a_2 \times e_2 = 01 \times 20 = 20 \text{ cm}$$

Couche de fondation en « Tuf » :

$$a_3 = 0.60$$

Chapitre IX Dimensionnement du corps de chaussée

Epaisseur équivalente :

Pour proposer le dimensionnement de la structure de notre chaussée, il nous faut résoudre l'équation suivante :

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

$$e = 7 \times 2 + 20 \times 1 + e_3 \times 0,6 = 54 \text{ cm}$$

$$e_3 = [54 - (7 \times 2 + 20 \times 1)] / 0,6 = 33 \text{ cm}$$

$$e_3 = 33 \times 0,6 = 19,8 = 20 \text{ cm}$$

Donc l'épaisseur réelle est de

$$7(\text{BBPM}) + 20(\text{GNT}) + 25 (\text{Tuf})$$

Couche	Epaisseur équivalent en cm	Epaisseur réelle cm
Couche de roulement BBPM	14	07
Couche de base GNT	20	20
Couche de fondation en Tuf	19,8 = 20	25
Total	53,8 = 54	52

Tableau n°26 : Dimensionnement du corps de chaussée.

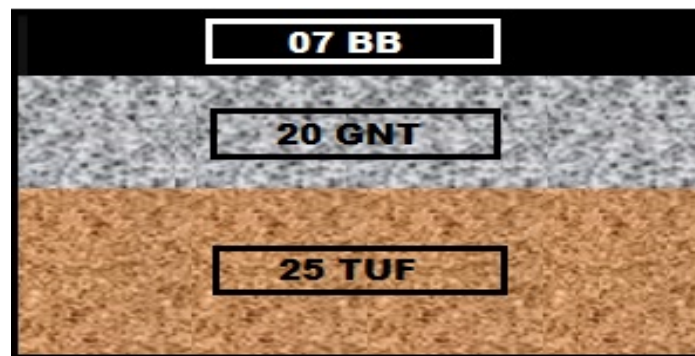


Figure n°24 : Les couches de corps de chaussée.

Chapitre X

Etude Géotechnique

X.1. Introduction :

La géotechnique routière est une science qui étudie les propriétés physiques, chimique et mécaniques des roches et des sols qui vont jouer le rôle 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 et qui exige des reconnaissances géotechniques.

La reconnaissance de sol, utilisant différents équipements et instrumentation sur terrain ou au laboratoire est un moyen pour le géotechnicien, à mieux connaître les sols et surtout le massif de sol étudié appelé à supporter dans de bonnes conditions le projet.

La géotechnique routière est la branche de la géotechnique qui traite des problèmes intéressant la route, dans toutes ses parties. Elle étudie notamment : les remblais, les fondations de chaussée et la construction des diverses couches de la chaussée.

X.2. Objectif de la géotechnique routière :

- Définir les caractéristiques des sols qui serviront d'assise pour le corps de chaussée,
- Etablir le projet de terrassement,
- Détecter des zones d'emprunts de matériaux de construction pour les remblais et le corps de la chaussée.

X.3. Moyens de reconnaissance :

Les moyens de reconnaissance d'un tracé routier sont essentiellement :

- L'étude des archives et documents existants (cartes géologiques et géotechniques)
- Les visites sur site.
- Les essais « in-situ ».
- Les essais de laboratoire.

X.4. Réglementation algérienne en géotechnique :

La géotechnique couvre un grand champ qui va de la reconnaissance des sols au calcul et à l'exécution des ouvrages en passant par les essais de sols en laboratoire ou en place (in situ). Les normes algériennes adoptées dans le domaine de la géotechnique sont relatives aux modes opératoires et des essais de sols couramment réalisés en laboratoire dans le cadre des études géotechnique.

- ✓ Les essais de laboratoire : essais d'identification et de classification.
- ✓ Les essais en place (essais pressiométriques, pénétromètre statique ou dynamique).

X.5. Les essais en géotechnique :

Introduction :

La détermination des caractéristiques d'un sol nécessite la réalisation d'essais. Certains essais (relatifs au comportement à court terme), peuvent être effectués de deux façons :

- Au laboratoire après prélèvement d'échantillon intacts (ou non remaniés).
- Au sein du massif de sol, par un essai en place ou in situ.

Les essais permettant la détermination des caractéristiques à long terme sont réalisés au laboratoire sur des échantillons de sol intacts.

Les essais in situ en géotechnique permettent d'approfondir l'étude des sols et des roches avant toute construction en surface ou en profondeur. Parfois discrédités au profit des essais de laboratoire, ils évitent pourtant toute contrainte de transport et de conservation susceptible d'altérer les prélèvements et leurs résultats.

Les avantages de l'essai in situ sont les suivants :

- Son exécution est rapide, donc on peut le multiplier pour permettre une meilleure reconnaissance du sol.
- Il est parfois le seul à réaliser lorsqu'on ne peut pas extraire des échantillons intacts.
- Il donne des résultats globaux par rapport aux essais de laboratoire qui donnent des résultats discontinus.

L'implantation des puits de reconnaissance :

Les puits de reconnaissance creusés à ciel ouvert, réalisés à l'aide d'une pelle mécanique jusqu'au refus ou stoppée à 3.00 m de profondeur avaient pour objectif :

- La détermination des agencements lithologiques des strates rencontrées.
- La prise des échantillons remaniés en vue des essais de laboratoire.

D'autre part des densités in situ et des teneurs en eau ont été mesurés au droit de chaque puits à l'aide du gamma densimètre

X.5.1 Essais physiques :

1) La teneur en eau naturelle « W » : NF P 94-050

a. Définition :

On désigne par teneur en eau la quantité d'eau contenue dans un échantillon de matière, par exemple un échantillon de sol, de roche, de céramique ou de bois, la quantité étant évaluée par un rapport de poids humides sur poids secs.

b. But :

L'essai de teneur en eau permet de déterminer quel est le pourcentage massique (W%) d'eau dans le sol étudié, c'est-à-dire quelle est la masse d'eau présente par rapport à 100 grammes de sol sec.

c. Appareillages utilisés :

- Etuve sèche
- Des récipients
- Balance :
 - Balance sensible à 0,01g près pour les sols fins
 - Balance sensible à 0,1g près pour les sols sableux
 - Balance sensible au gramme près pour les sols grossiers.

d. Mode opératoire :

N.B : l'essai doit se faire sur deux prises pour en fin prendre la moyenne.

- Rendre un récipient propre, sec et taré, y placer un échantillon de sol humide d'un poids minimum de :
 - 30g pour les sols fins
 - 300g pour les sols moyens
 - 3000g pour les sols grossiers
- On les place à l'étuve après 15 heures on prend le poids. En principe entre les deux pesées, de la différence est inférieure à 0,1%.

Calcul de la teneur en eau :

Soit Ph le poids humide de l'échantillon et Ps le poids sec de l'échantillon

$$W = \frac{P_s}{P_h} \times 100$$

Chapitre X: Etude géotechnique

❖ Phase 1 : Déterminer "Ph" le poids Humide

- Sur le terrain, disposer d'une balance type balance de cuisine et d'une poêle à frire.
- Poser la poêle sur la balance et faire la tare. (La balance doit indiquer « 00 » lorsque la poêle est dessus).
- Répartir dans la poêle une couche de sol épaisse d'environ 2cm.
- Noter le poids indiqué par la balance. C'est le poids humide (Ph).

❖ Phase 2 : Déterminer Ps

- Installer le réchaud à Gaz sur un endroit plan et abrité.
- Utiliser des gants et une spatule afin de prévenir tout risque de brûlure. Allumer le réchaud et « cuire » le sol en le mélangeant jusqu'à obtenir un mélange poudreux et totalement sec. (En laboratoire on évapore l'humidité du sol en le plaçant 24 heures dans une étuve à 105°).
- Laisser la poêle et le mélange refroidir sous surveillance.
- Peser le mélange et noter le poids sec indiqué. C'est le poids sec (Ps).

❖ Phase 3 : Déterminer W%

- A l'aide de la calculette, en prenant garde aux priorités de calcul, remplacer les valeurs de Ps et Ph dans la formule mathématique et déterminer la teneur en eau (W) du sol étudié.

$$[(Ph - Ps) : Ps] \times 100 = \text{Teneur en eau (W)}$$



Figure n°25 : Matériels d'essai teneur en eau.

2) Masse volumique (NF P 94-054, NF P 94-053)

a. Définition :

(γ) est la masse d'un volume unité de sol :

$$\gamma = W / V$$

On calcule aussi la masse volumique sèche :

$$\gamma_{ds} = W_s / V$$

b. Principe de l'essai :

On utilise le principe de la poussée d'Archimède.

En effet, on mesure le volume d'eau déplacé hors de l'introduction d'un certain poids de sol sec, la connaissance du poids des grains solides et de leur volume permet de calculer le poids volumique des grains solides.

c. But de l'essai :

Le but de cet essai est de déterminé expérimentalement au laboratoire de certaine caractéristique physique des sols.

d. Domaine d'utilisation :

Cet essai est utilisé pour classer les différents types de sols.

3) Analyse granulométrique par tamisage :

a. Définition :

L'analyse granulométrique est l'opération consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs caractéristiques (poids, taille,...). Par métonymie, c'est aussi le nom donné au résultat de cette analyse.

Granularité : distribution dimensionnelle des grains.

Refus : sur un tamis : matériau qui est retenu sur le tamis.

Tamisât (ou passant) : matériau qui passe à travers le tamis.

C'est la fraction d'un matériau comprise entre 80 μm et 50 mm, détermination de la classe granulométrique.

Chapitre X: Etude géotechnique

Par deux méthodes :

- Tamisage par voie humide (NFP P 94-041)
- Tamisage à sec après lavage (NF NP P 94-056)

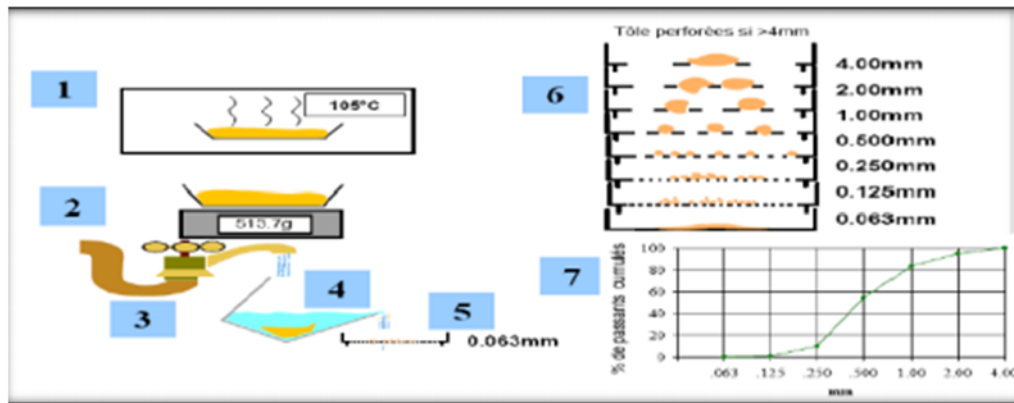


Figure n°26 : Analyse granulométrique.

b. But de l'essai :

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon.

c. Principe de l'essai :

L'essai consiste à séparer les grains agglomérés d'une masse connue de matériau par brassage sous l'eau à fractionner ce sol, une fois séché au moyen d'une série de tamis et à peser successivement le refus cumulé sur chaque tamis

d. Matériel utilisé :

- Appareillage spécifique à la norme P 18-553.
- Bacs, brosses, pinces.
- Balance dont la portée limite est compatible avec les masses à peser et permettant de faire toutes les pesées avec une précision relative de 0,1 %.
- Étuve ventilée réglée à $105\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.
- Un dispositif de lavage.
- Colonne de tamis.



Figure n°27 : Tamisage électrique et manuel.

e. Préparation de l'échantillon pour l'essai :

L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme **P 18-553**. La masse M de l'échantillon pour l'essai doit être supérieure à $0,2 D$, avec M exprimé en kilogrammes et D la plus grande dimension spécifiée en millimètres. (Voir figure)



Figure n°28 : Méthode d'essai.

f. Mode opératoire :

1- Mode opératoire N°1 :

- Calcul de la masse sèche : M_s
- Faire une teneur en eau : w
- Peser l'échantillon humide : M
- $M_s = M / (1+w)$
- Tamisage par voie humide (OBLIGATOIRE)
- Tamis de $80\mu\text{m}$
- Séchage des refus à $80\mu\text{m}$ (sables et graviers)
- Tamisage à sec des refus à $80\mu\text{m}$
- Pesage des refus secs La figure ci-dessus représente le premier mode opératoire :

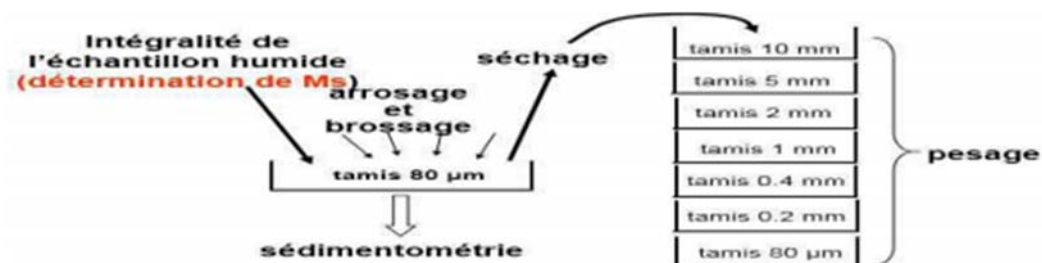


Figure n°29 : Mode opératoire 01.

2- Mode opératoire N°2 :

Pesage des refus cumulés (R_i) :

- $R_1, (R_1 + R_2), R_1 + R_2 + R_3, \dots$ etc

Calcul du pourcentage des refus (%) (PR_i) :

- $R_1 / M_s = PR_1$
- $(R_1 + R_2) / M_s = PR_2$
- $(R_1 + R_2 + R_3) / M_s = PR_3 \dots$ etc

Calcul du pourcentage des tamisas (%) (T_i) :

- $T_1 = 1 - PR_1$
- $T_2 = 1 - PR_2$
- $T_3 = 1 - PR_3$

La figure suivante représente le deuxième mode opératoire :

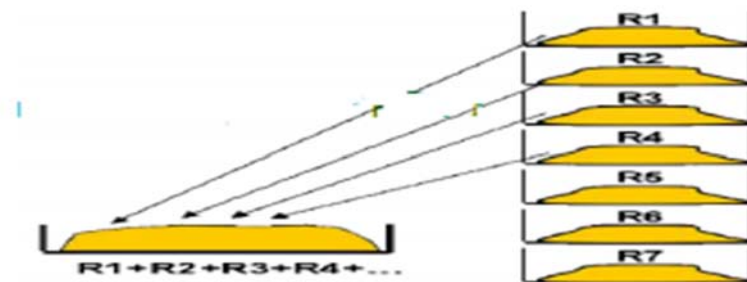


Figure n°30 : Mode opératoire 2.

4) Equivalent de sable selon la norme : NFP18-598

a. Définition :

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, et effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

La valeur de l'équivalent de sable (ES) est le rapport, multiplié par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du flocculat et de la partie sableuse sédimentée.

Chapitre X: Etude géotechnique

b. But de l'essai :

Le but de cet essai est de permettre de mesurer rapidement l'importance relative des éléments fins au sien d'un matériau sableux, il rend compte globalement de la qualité et la quantité des éléments fins qui flocculent et l'élément sableux qui sédimentent.

c. Principe :

L'essai consiste à verser un échantillon de sable et une petite quantité de solution flocculant dans un cylindre gradué et d'agiter de façon à détacher les revêtements argileux des particules de sable de l'échantillon. On complète alors le sable en utilisant le reste de solution flocculant afin de faire remonter les particules de fines en suspension au-dessus du sable. Après 20 min, les hauteurs des produits sont mesurées. L'équivalent de sable est le rapport hauteur du sable sur la hauteur totale, exprimé en pourcentage.

d. Matériels utilisés :

- Tamis de 5 mm d'ouverture de mailles avec fond.
- Spatule et cuillère.
- Récipients de pesée pouvant recevoir environ 200 ml.
- Balance dont la portée limite est compatible avec les masses à peser et permettant de faire toutes les pesées avec une précision relative de 0,1 %.
- Chronomètre donnant la seconde.
- Règle de 500 mm, gradué en millimètres.
- Goupillon pour le nettoyage des éprouvettes. (Voir figure)
- Bacs pour tamisage



Figure n°31 : Matériels utilisés dans l'essai équivalent de sable.

e. Préparation de l'échantillon pour essai :

L'échantillon pour laboratoire doit être préparé suivant les prescriptions de la norme

P 18-598. Sa masse doit être telle que la fraction passant au tamis de 5 mm pèse 500 à 700 g.

Chapitre X: Etude géotechnique

Si l'échantillon pour laboratoire n'est pas humide, l'humidifier afin d'éviter les pertes de fines et la ségrégation. Sur celui-ci, procéder à la préparation d'un échantillon pour la détermination de la teneur en eau w et de deux échantillons pour essai.

L'essai s'effectue sur le sable à sa teneur en eau naturelle, la masse sèche de l'échantillon pour essai doit être de $120 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$.

f. Mode opératoire :

- Tamisez l'échantillon (tamis de 5mm), et prenez 120 g.
- Remplir l'éprouvette jusqu'au trait inférieur avec la solution lavande, puis ajouter la masse de l'échantillon, et laisser la manipulation pendant 10 mn
- Après les 10 mn on ferme l'éprouvette avec un bouchon et on la pose dans un agitateur et le démarrer (agitation pendant 30s)
- Laver avec la tige d'eau de la solution lavande jusqu'à le trait supérieur
- Après 20 mn, mesurer avec la règle h1 jusqu'au niveau qui sépare le liquide et le matériau. Et avec le piston on mesure h2
- Refaire l'essai 3 fois.



Figure n°32 : L'essai d'équivalent de sable

Selon la norme française **NFP 18-598**, l'observation de l'essai et la classification des échantillons se résume dans le tableau suivant :

N°	Equivalent de sable en %	Observation
01	ESV < 65	Sable argileux; risque de retrait ou de gonflement de béton.
02	65 > ESV < 75	Sable légèrement argileux ; de propreté admissible.
03	75 > ESV < 85	Sable propre ; convenant au béton à haute qualité.
04	ESV > 85	Sable très propre ; absence de plasticité de béton.

Tableau n°27 : Nature du sol en fonction d'E.S.

5) Limites d'Atterberg : NF P 94-051

a. Définition :

Les limites d'Atterberg sont des constantes physiques conventionnelles qui marquent le seuil entre ces différents états elles ont pour valeur la teneur en eau du sol à l'état de transition ont les définis aussi par les notions suivantes telles que :

- La limite de liquidité W_L qui sépare l'état liquide au plastique
- La limite plasticité W_P qui sépare l'état plastique au solide
- La limite plasticité W_S qui sépare l'état solide avec retrait et l'état solide sans retrait (peu utilisé)
- L'indice de plasticité I_P définit par l'étendu du domaine plastique
- L'indice de consistance relative I_c définit par l'état naturel d'un sol en fonction de sa teneur en eau
- L'indice de liquidité I_L fournit une approche inverse de l'indice de consistance relative Relation entre ces différents facteurs :
 - $I_c = W_L - W_P$
 - $I_L = W - W_P$
 - $I_P = W_L - W_P$

b. But de l'essai :

Le but de cet essai est de déterminer les limites de plasticité et de liquidité d'un matériau et son état de consistance dans des proportions importantes en fonction de sa teneur en eau.

c. Principe de détermination des limites de consistance :

L'essai s'effectue en deux phases :

- Détermination de la teneur en eau W_L pour laquelle une rainure pratiquée dans une coupelle se forme, suite à des chocs répétés pour un nombre de coups donnés (cette limite de liquidité correspond à une résistance à un cisaillement conventionnel).
- Détermination de la teneur en eau W_P pour laquelle un rouleau de sol se fissure (cette limite de plasticité correspond à une résistance à la traction conventionnelle).

d. Préparation de l'échantillon :

- On tamise une quantité de sol (tamis 0,400) pour obtenir 200 grammes de mortier préalablement au tamisage on prendra soin de briser les mottes de terre au pilon et d'écarter manuellement les grosses particules.

Chapitre X: Etude géotechnique

- On ajoute progressivement une quantité d'eau au sol et on malaxe rigoureusement.
- On couvrit le mélange et laisser reposer pendant la durée nécessaire à rhomogénéisqtiôfr.de l'humidité. Une période de repos de 24 heures est nécessaire pour les argiles, et quelques minutes sont suffisantes pour les limons.

e. Détermination de la limite de liquidité :

e.1 Matériels utilisés :

- Spatule, coupelle, marbre pour malaxage, godet
- Balance, étuve à 105°C, socle en bois, bac et pinceau
- Appareil de limite (CASAGRANDE)
- Outil à rainurer
- Les tares



Figure n°33 : Matériels utilisés.

e. 2 Préparation de l'appareil :

Avant de démarrer l'essai il est conseillé de réaliser les préparations suivantes :

- On nettoie le socle et la coupelle avec un chiffon propre.
- On marque le point de contact de la coupelle avec le socle.
- On règle la hauteur de chute de la coupelle à l'aide de la vis de réglage.

e. 3 Mode opératoire :

- On remplit la coupelle au % avec le mélange de sol-eau en utilisant la spatule, pour obtenir une épaisseur maximum de 10 mm
- On réalise une rainure centrale qui partage le sol en deux avec l'outil à rainurer tenu perpendiculairement à la surface de la coupelle.
- A l'aide de la manivelle, on imprime à la coupelle une série de chocs régulière, à raison de deux chocs par seconde. On note le nombre de chocs qui correspond à la fermeture des lèvres de la rainure sur une longueur de 10 mm :

Chapitre X: Etude géotechnique

- On Utilise l'extrémité non biseautée de l'outil à rainurer pour vérifier. La première fermeture doit se faire entre 15 et 30 chocs. Si l'échantillon est sec, la fermeture se fera pour un nombre de chocs plus élevé, on ajoute un peu d'eau à l'échantillon et on malaxe vigoureuse et on reprend les opérations de 1 -4.
- On prélève à l'aide de la spatule une masse ; M_i , (humide) de sol à endroit où les lèvres se sont refermées et On procède à la mesure de sa teneur en eau et on met dans une tare de masse vide M_v et on pèse l'ensemble M_{eh} (tare+sol humide telle que $M_h = M_{eh} - M_v$) puis on pose dans l'étuve et après 24 heures (la durée de séchage) on pèse mon échantillon M_{es} (tare+sol sec telle que $M_s = M_{es} - M_v$).

f. Détermination de la limite de plasticité :

f.1 Mode opératoire :

- On prend la quantité de sol réservée à la détermination de la limite de plasticité au démarrage de la manipulation.
- On assèche cette fraction de sol en le roulant entre les paumes des mains. On roule les poulettes sur une surface lisse de façon à former des rouleaux ou fuseaux qu'on amincit progressivement jusqu'à ce qu'ils atteignent un diamètre de 3mm et de longueur de 20 mm. ➤ On reforme les boulettes avec les fuseaux et On répète l'étape 2 jusqu'à ce que les rouleaux de 3 mm se cassent en morceaux lorsqu'ils soumièrent à leur propre poids. Dans cette situation on dit que le sol a atteint sa limite de plasticité.
- On place les morceaux, ainsi de chaque rouleau brisé, ans une coupelle et on détermine leur teneur en eau.

La limite de liquidité sera la moyenne des teneurs en eau de tous ces échantillons. La teneur en eau de chaque échantillon ne doit pas varier de plus de 1 des autres teneurs en eau trouvées sinon elle est écartée. (Voir la figure)



Figure n°34 : Limite de plasticité.

6) Essai d'évaluation des carbonates : NF P 94-048

a. Définition :

L'essai de carbonate (CaCO_3) c'est la méthode de détermination de la teneur en carbonate dans des échantillons de sols (y compris les sédiments), de matières utilisées sur ou dans les sols et de déchets. Cette détermination est systématique sur les matières amendées mais pas sur les sols.

b. But de l'essai :

Un calcimètre permet de mesurer le volume de CO_2 dégagé par action de l'acide chlorhydrique (HCl) sur le carbonate de calcium (CaCO_3) d'un échantillon de sol ou de roche.

c. Matériel utilisé :

- Fiole.
- Tamis de 0.200 mm
- Solution d'acide chlorhydrique.
- Calcimètre.
- Balance.

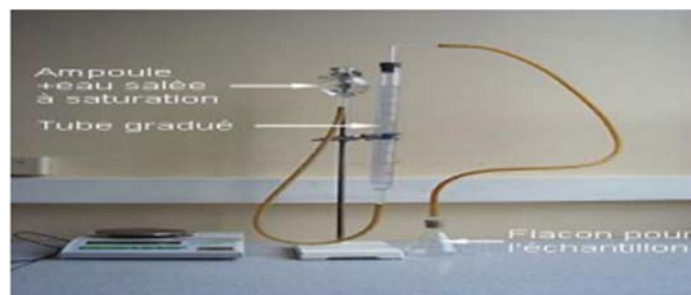


Figure n°35 : Appareillage.

d. Préparation de l'échantillon :

- Prélever une masse $m=50\text{g}$ de l'échantillon.
- Tamiser l'échantillon au tamis 0.2mm.
- Peser une masse m_1 à partir de la masse m . (Voir figure)



Figure n°36 : Tamisage de l'échantillon.



Figure n°37 : Pesé l'échantillon.

Chapitre X: Etude géotechnique

e. Mode opératoire :

- Verser la prise m1 dans la fiole.
- Introduire le tube qui contient 10ml de solution d'acide chlorhydrique.
- Relier la fiole au calcimètre.
- Equilibrer les pressions au zéro de la colonne.
- Verser l'acide contenu dans le tube sur la masse m1.
- Agiter énergiquement la fiole.
- Suivre et équilibrer en permanence le niveau d'eau de la colonne et celui de l'ampoule jusqu'à la stabilisation de dégagement gazeux.
- Noter le volume V de gaz.
- Répéter l'essai aplatir de l'étape de verser la masse dans la fiole mais pour $m' = 0.050, 0.100, 0.200, 0.300g$, et calculer V' .
- Tracer la courbe d'étalonnage.
- Déterminer à partir de la courbe la masse m2.

La figure ci-contre représente le mode opératoire de l'essai carbonate :

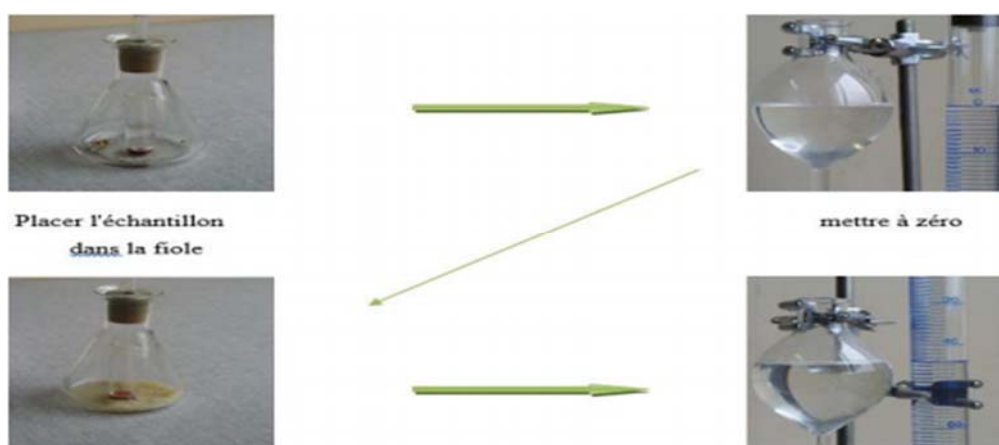


Figure n°38 : Mode opératoire de l'essai carbonate.

La qualification de l'horizon dépend de la teneur en calcaire totale comme le montre le tableau suivant :

Teneur en calcaire total	Qualificatif de l'horizon
< 1 %	non calcaire
1à5%	peu calcaire
5à25%	modérément calcaire
25à50%	fortement calcaire
60à80%	très fortement calcaire
>80%	excessivement calcaire

Tableau n°28 : Qualification des horizons en fonction de leur teneur en calcaire total selon le GEPPA.

II. X.5.2 Essais mécaniques :

1) Essai Proctor modifié : NF P 94-093

a. Définition :

L'essai Proctor, mis au point par l'ingénieur Ralph R. Proctor (1933), est un essai géotechnique qui permet de déterminer la teneur en eau nécessaire pour obtenir la densité sèche maximale d'un sol granulaire par compactage à une énergie fixée (dame de poids, nombre de coups et dimensions normés). Le protocole de l'essai Proctor suit la norme **NF P 94-093** (détermination des références de compactage d'un matériau). Les valeurs obtenues par l'essai sont notées pour la teneur en eau optimale, et pour la masse volumique sèche optimale. Une autre référence peut être déterminée pour une énergie supérieure (notamment pour des couches de chaussées granulaires), il s'agit de l'optimum Proctor modifié (OPM). (Voir figure)

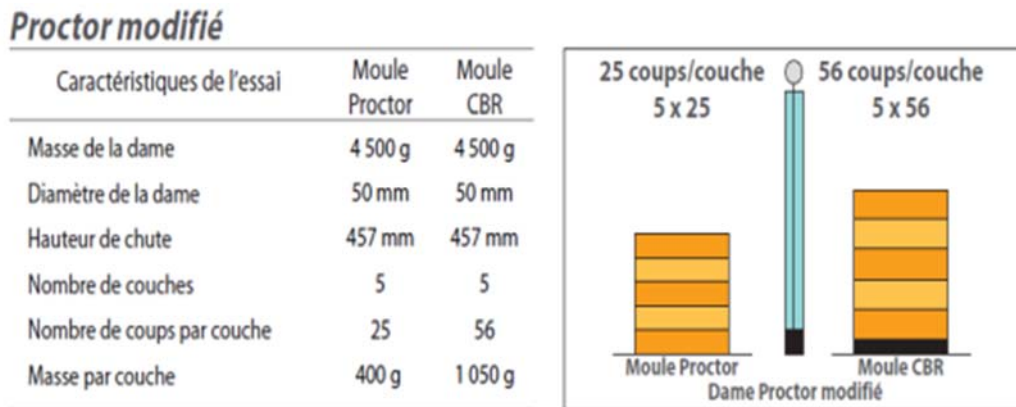


Figure n°39 : Modalité d'exécution des essais Proctor modifié.

b. But de l'essai :

L'essai a pour but de déterminer la teneur en eau optimum en fonction de la densité sèche optimale pour un sol de remblai donné et des conditions de compactage fixées qui conduit au meilleur compactage possible ou encore capacité portante maximum.

c. Principe de l'essai :

Lorsqu'on compacte de façon identique des échantillons d'un même sol, au moins cinq teneurs en eau différentes, on constate que la densité sèche ρ_d varie et passe par un maximum pour une teneur en eau déterminée (dite optimale W_{opt}).

d. Appareils utilisés :

- Un moule Proctor et CBR
- Une dame Proctor et CBR
- Une règle à araser
- Un disque d'espacement, étuve

Chapitre X: Etude géotechnique

- Une burette, balance,
- Une éprouvette, truelle, un bac et un tamis de 5 et 20 (Voir figure)



Figure n°40: Matériels de l'essai Proctor.

e. Mode opératoire :

- Peser 5500 g de Tuf.
- Tamiser la peser (série de passoir « 100-63-40-25-12,5 »).
- Noter la peser de chaque refus.
- Puis ajouter un pourcentage d'eau de 2% puis 4% puis 8% en mélangeant bien.
- La découper l'échantillon en 5 couches, ensuite les mettre l'une après les autres en compactant chaque couche avec la même énergie de compactage (56 coups/couches) jusqu'à la dernière couche.
- Araser bien et enfin peser et l'enlevé du moule.

La figure suivante montre les différentes étapes de l'essai Proctor :



Figure n°41 : Les étapes de l'essai Proctor.

Après le tracé de la courbe Proctor, on tire la densité sèche optimale et la teneur en eau optimale.

2) Essai CBR : NF P 94-078

a. Définition :

Pour les sols à vocations routière CALIFORNIA BEARING RATIO permet de définir un indice purement empirique dit indice portant cet indice connu grâce à des abaques permet de calculer l'épaisseur des couches de formation nécessaire d'une chaussée et ceci en fonction de la charge par essieu et du trafic attendu.



Figure n°42 : Matériels d'essai CBR.

b. But de l'essai :

Cet essai a pour but de déterminer la portance d'un sol (l'indice CBR).

c. Principe de l'essai :

L'essai consiste à mesurer les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante (1.27 mm/min) dans une éprouvette de matériau, les valeurs particulières des deux forces ayant provoqué deux enfoncements (2.5 et 5.0 mm) conventionnels sont respectivement rapportées aux valeurs des forces observées sur un rapportées aux valeurs des forces observées sur un matériau de référence pour les mêmes enfoncements.

L'indice portant immédiat (IPI) est obtenu lorsqu'on effectue l'essai de poinçonnement, sans surcharge, aussitôt après la confection de l'éprouvette.

L'indice CBR immersion (I.CBRi) est mesuré après 4 jours d'immersion dans l'eau, dans ce cas, l'éprouvette est recouverte de surcharges permettant de frotter la surface de l'échantillon et l'on mesure le gonflement linéaire de l'éprouvette.

d. Mode opératoire :

Il est nécessaire d'effectuer au préalable un essai Proctor modifié afin de déterminer la teneur en eau optimal de compactage de l'échantillon, cette teneur étant connu on prépare le nombre d'éprouvette voulue pour moule CBR, la même énergie de compactage sera adoptée que pour le moule Proctor modifié. Avant compactage un disque est disposé au fond du moule et après compactage le moule est arasée pesé puis

Chapitre X: Etude géotechnique

remis sur l'embase on y dispose alors le plateau de gonflement, l'anneau de surcharge, le compactage, le comparateur que l'on règle à zéro, le moule est ensuite mis à imbiber pendant 4 jours au cours des quels on mesure à l'aide du comparateur les gonflements éventuels de l'échantillon, l'imbibition terminée la phase de poinçonnement commence le moule est disposé sur le plateau de la presse le piston est au contact du sol à l'aide de l'indicateur de cadence le poinçonnement s'effectue à vitesse constante de 1.27 mm/mim au cours de l'essai la pression correspondante aux enfoncements /0.625 / 1.25 / 2.00 / 2.5 / 5 / 7.5 / 10mm est noté en fin de l'essai l'échantillon est prélevé et sa teneur en eau est déterminée. (Voir figure).

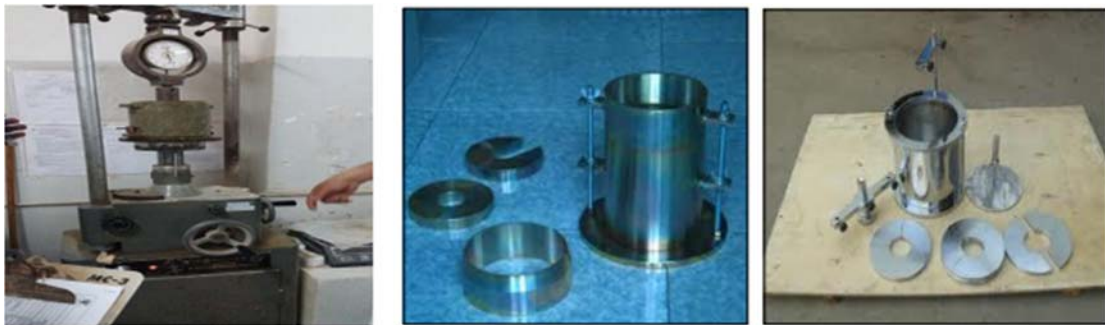


Figure n°43 : Matériels d'essai CBR.

e. Facteurs influents de l'essai :

1) Teneur en eau :

Pour avoir un meilleur remblai on utilise le sol dont la courbe Proctor est aplatie c'est-à-dire le sable, par contre il faut éviter les sols dont la courbe présente un maximum marqué.

2) L'énergie de compactage :

La courbe Proctor varie si l'énergie de compactage varie, si la densité augment W diminue.

f. Remarque :

On mesure trois types d'indices en fonction du but :

a) L'indice caractérisant l'aptitude du sol à permettre la circulation des engins de chantier directement sur sa surface lors des travaux : indice portant immédiat (IPE)

b) L'indice caractérisant l'évolution de la portance d'un sol support compacté à différentes teneurs en eau : CBR immédiat

c) L'indice caractérisant l'évolution de la portance d'un sol support compacté à différentes teneurs en eau et soumis à des variations de régime hydrique : CBR APRES IMMERSION.

II. X.5.3. Essais chimiques :

1) Essais au bleu de méthylène (ou à la tache) :

a. Définition :

Les molécules de bleu de méthylène ont pour propriété de se fixer sur les surfaces externes et internes des feuillets d'argiles, la quantité de bleu adsorbée par 100 grammes de sol s'appelle Valeur au Bleu du Sol et est notée VBS, la VBS reflète globalement :

- La teneur en argile (associée à la surface externe des particules).
- L'activité de l'argile (associée à la surface interne).

b. Principe de l'essai :

L'essai consiste à mettre en suspension une fraction de sol (0/d) avec $d \leq 10$ mm et à ajouter à cette suspension des doses successives de 5 ml d'une solution de bleu de méthylène jusqu'à apparition d'une auréole bleue autour de la tâche constituée par le sol, L'auréole bleue indique l'excès de cette solution dans les particules d'argile.

La valeur VBS est alors calculée à l'aide de la relation :

$$VBS (\%) = XP \times C \times 100$$

Avec :

X : La masse de bleu introduit

P : Masse sèche de la prise d'essai (100g)

C : Proportion de la prise d'essai dans le (0/50) mm

II. X.5.4. Essais des Enrobées :

1) L'essai de compacité :

Définition de l'essai :

L'essai proposé dans ce document a pour but de mesurer la compacité d'une fraction granulaire de masse déterminée lorsqu'elle est soumise, dans un cylindre, à une sollicitation mécanique définie. Le mode opératoire exposé s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle utilisés dans le domaine du bâtiment et du génie civil. L'appareillage et les conditions des essais sont décrits mais aussi un exemple de feuille d'essai est donné pour permettre une bonne mise en œuvre de la méthode d'essai.

La méthode du nucléo densimètre :

Cette méthode consiste à placer à la surface du sol un appareil muni d'une source radioactive de rayons γ et d'un détecteur de particules protégés l'un et l'autre par des

blindages tels que toutes les radiations provenant de la source pénètrent dans le sol et que seules les radiations provenant du sol atteignent le détecteur.



Figure n°44 : L'appareil de compacité (nucléo-densimètre).

2) Essai de carottage :

Les carottages sont des essais destructifs très riches en information sur l'état des couches traitées (aux liants hydrauliques ou bitumineux) des chaussées. Ils renseignent tant sur l'épaisseur et l'état des couches traitées que sur celui des interfaces ; ou des fissures.

Pour pouvoir exploiter ces informations dans des systèmes d'analyse automatique, il est nécessaire de les codifier.

La présente méthode s'attache à définir les conditions d'exécution des carottages routiers, et

Les règles de codification, voire d'agrégation, des observations faites lors de ces essais.

PRINCIPE :

Le carottage est un essai qui consiste à découper et à extraire d'une chaussée un échantillon cylindrique, appelé carotte.

L'observation visuelle de la carotte, et de la paroi de la cavité ainsi pratiquée dans la chaussée, permet de connaître la nature et l'état des matériaux.

On déduit notamment de cet essai les caractéristiques suivantes :

Pour chaque couche de matériau, l'épaisseur E_p , l'indice d'état du matériau IEM,

Et si une fissure traverse la carotte, l'indice d'état de la fissure, IEF pour chaque interface, l'indice IEI d'état de l'interface. Les couches et interfaces sont numérotées en ordre croissant du haut vers le bas.

APPAREILLAGE :

Les carottages sont effectués avec une carotteuse type CECPA, ou équivalent. Sauf spécification contraire explicite, ils sont toujours réalisés à l'eau.

La carotteuse doit être capable de traverser l'épaisseur de la chaussée dans le diamètre requis par l'application. Elle doit être stable pendant l'essai.

Chapitre X: Etude géotechnique

Sa broche doit être équipée d'un dispositif de contrôle et d'affichage en continu de la vitesse de rotation et de la poussée permettant d'optimiser la coupe avec le carottier choisi.

Cette broche, stable dans son porte broche, doit aider au centrage du carottier de sorte qu'il ne vibre pas pendant l'essai.

Il est recommandé de ne pas tolérer un excentrement supérieur à $\pm 1\%$ du diamètre du carottier.

Le matériel accessoire doit comprendre :

- Une équerre d'angle permettant de s'assurer de l'orientation du Carottage par rapport à la surface de la chaussée (cf. « Condition d'exécution des carottages »),
- D'une pince permettant, le cas échéant, d'extraire les carottes sans les détériorer,
- Un appareil photographique.
- Le matériel peut aussi comprendre un endoscope pour l'observation fine de la paroi de la Cavité.

MODE OPERATOIRE :

L'essai comprend quatre phases qui doivent être exécutées en respectant Les conditions décrites dans les paragraphes « Condition d'exécution des carottages » Et « Conditions d'observation des carottages »:

- La mise en place de la carotteuse,
- L'exécution du carottage proprement dit,
- L'extraction de la carotte,
- L'observation de la carotte et de la cavité de carottage.
- La mesure d'épaisseur n'est pratiquée exclusivement sur la carotte que lorsque celle-ci est intacte. Sinon, elle doit être confirmée par une mesure dans la cavité de carottage.



Figure n°45 : Exemple d'un essai de carottage.

Chapitre XI :

Assainissement

XI.1. Généralités

Tout ouvrage routier comporte un réseau d'assainissement dont le rôle est de récupérer et d'évacuer toutes les eaux de ruissellements.

L'assainissement des voies de circulation comprend l'ensemble des dispositifs à prévoir et réaliser pour récolter et évacuer toutes les eaux superficielles et les eaux souterraines.

Les différents ouvrages utilisés peuvent être regroupés en :

- Réseaux longitudinaux (pieds de talus de déblai, crêtes de remblai, etc.).
- Liaisons transversales (descentes d'eau traversées sous chaussée).
- Les regards et ouvrages de raccordement.

XI.2. Objectif de l'assainissement

L'assainissement des routes doit remplir les objectifs suivants :

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

XI.3. Assainissement de la chaussée

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.

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 profile en long dépasse les 3%

Fossé de crête de déblai :

Ce type de fosse 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.

Fossé de pied du 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.

Drain :

Le drainage du corps de chaussée est assuré par une tranchée drainant longeant de route.

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.

Chapitre XI : Assainissement

Descentes d'eau :

Dans les sections route 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

XI.4. Définitions 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 récolant 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 leur nettoyage. Les chambres de visites sont à prévoir aux changements de calibre, de direction ou de pentes longitudinales de la canalisation. Pour faciliter l'entretien des canalisations, la distance entre deux chambres consécutives ne devrait pas dépasser 80 à 100 m.

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) **Les ouvrages des écoulements des eaux :**

En général les ouvrages d'évacuations des eaux superficielles ou sous chaussée sont nombreux, parmi lesquels ceux qui ont traversé notre route sont les suivantes :

Chapitre XI : Assainissement

- Les passages submersibles.
- Les fossés.
- Les dalots.
- Les buses.

f) **Passages submersibles :**

Les passages submersibles sont des ouvrages qui servent à protéger la chaussée contre les dégradations causées par les eaux, et qui assurent superficiellement l'écoulement des eaux lorsque leur volume est plus important.

g) **Fossés :**

Ces sont des tranchées creusées en longueur dans le sol et servent à délimiter les terrains ou à l'écoulement de l'eau de ruissellement.

h) **Les dalots :**

Les dalots ont le même rôle que les buses, ils servent à évacuer les eaux sous chaussée, leurs dimensions aussi varient suivant l'importance de la profondeur du bassin versant, généralement ils sont rectangulaires ou carrés.

Dans le cas de notre projet on a projeté des passages busés et un passage submersible vue la nature des oueds qui allonge les routes sahariennes

Chapitre XII :

Signalisation

et Eclairage

XII.1.1. SIGNALISATION

La signalisation routière est un moyen de communication avec les usagers.

- ✓ Bien signaler c'est bien communiquer.
- ✓ Bien signaler, c'est assurer l'écoulement du trafic dans les meilleures conditions de circulation, de gestion du trafic et de sécurité routière.

XII.1.2. OBJECTIFS DE SIGNALISATION ROUTIERE

La signalisation routière a pour rôle :

- ✓ De rendre plus sûre et plus facile la circulation routière.
- ✓ De rappeler certaines prescriptions du code de la route.
- ✓ D'indiquer et de rappeler les diverses prescriptions particulières.
- ✓ De donner des informations relatives à l'usage de la route.

XII.1.3. CRITERES A RESPECTER POUR LES SIGNALISATIONS

Il est indispensable avant d'entamer la conception de la signalisation de respecter certains critères, afin que celle-ci soit bien vue, lue, et comprise :

- ✓ Homogénéité entre la géométrie de la route et la signalisation.
- ✓ Respecter les règles d'implantation
- ✓ Cohérence entre les signalisations verticales et horizontales.
- ✓ Eviter les panneaux publicitaires irréguliers.
- ✓ Eviter la multiplication des signaux et des super signaux, car la surabondance nuit à l'efficacité.

XII.1.4. TYPES DE SIGNALISATION

On distingue deux types de signalisation :

- Signalisation verticale.
- signalisation horizontale.

Chapitre XII : Signalisation et Eclairage

- A. Signalisation verticale :** Elle se fait à l'aide de panneaux, ces derniers sont des objets qui transmettent un message visuel grâce à leur emplacement, leur type, leur couleur et leur forme. Elles peuvent être classées dans quatre classes :
- Signaux de danger : Panneaux de forme triangulaire, ils doivent être placés à **150m** en avant de l'obstacle à signaler (signalisation avancée).
 - Signaux comportant une prescription absolue : Panneaux de forme circulaire, on trouve :
 - L'interdiction.
 - L'obligation.
 - La fin de prescription.
 - Signaux à simple indication : Panneaux en général de forme rectangulaire, des fois terminées en pointe de flèche :
 - Signaux d'indication.
 - Signaux de direction.
 - Signaux de localisation.
 - Signaux divers.
 - Signaux de position des dangers : Toujours implantés en pré signalisation, ils sont d'un emploi peu fréquent en milieu urbain.
- B. Signalisation horizontale :** Elle concerne uniquement les marques sur chaussées qui sont employées pour régler la circulation, avertir ou guider les usagers. Le blanc est la couleur utilisée pour les marquages sur chaussées, et pour certains marquages spéciaux, on utilise d'autres couleurs dans les conditions suivantes :
- **Le jaune pour**
 - ✓ Les marques interdisant l'arrêt ou le stationnement ;
 - ✓ Les lignes zigzag indiquant les arrêts d'autobus ;
 - ✓ Le marquage temporaire.
 - **Le bleu** éventuellement pour les limites de stationnement en zone bleue.
 - **Le rouge** pour les damiers rouge et blanc matérialisant le début des voies de détresse.

Chapitre XII : Signalisation et Eclairage

La signalisation horizontale se divise en trois types :

Marquages longitudinales :

➤ Lignes continues :

Elles ont un caractère impératif (non franchissables sauf du côté où elles sont doublées par une ligne discontinue). Ces lignes sont utilisées pour indiquer les sections de route où le dépassement est interdit.

➤ Lignes discontinues :

Ce sont des lignes utilisées pour le marquage, elles se différencient par leur module, c'est-à-dire le rapport de la longueur des traits à celle de leurs intervalles. On distingue :

- Les lignes axiales ou lignes de délimitation de voies pour lesquelles la longueur des traits est égale au tiers de leurs intervalles.
- Les lignes de rive, les lignes de délimitation des voies d'accélération, de décélération ou d'entrecroisement pour lesquelles la longueur des traits est sensiblement égale à celle de leurs intervalles.
- Les lignes d'avertissement de lignes continues, les lignes délimitant les bandes d'arrêt d'urgence, par lesquelles la longueur des traits est sensiblement triple de celle de leurs intervalles.

Les modulations des lignes discontinues sont récapitulées dans le tableau suivant :

Type de modulation	Longueur du Trait (en mètres)	Epissure 16-18	Intervalle entre deux traits successifs (mètres)	Rapport plein vide
T ₁	3.00	18 cm	10.00	Environ 3
T'1	1.50		5.00	
T2T'2	3.00 0.50	18 cm	3.50 0.50	Environ 3
T3T'3	3.00 20.00	18 cm	1.33 6.00	Environ 3

Tableau n° 29 : Modulation de la ligne continue.

Chapitre XII : Signalisation et Eclairage

▪ **Largeur Des Lignes :**

La largeur des lignes est définie par rapport à une largeur unité “ *u* ” différente selon Le type de route. On adopte les valeurs suivantes pour “ *u* ”.

u = 7,5 *cm* sur les autoroutes, les routes à chaussées séparées, les routes à 4 voies de rase campagne. *u* = 6 *cm* sur les routes importantes, notamment sur les routes à grande circulation.

u = 5 *cm* sur toutes les autres routes ;

u = 3 *cm* pour les lignes tracées sur les pistes cyclables.

La valeur de “ *u* ” doit être homogène sur tout un itinéraire. En particulier, elle ne doit pas varier au passage d'un département à l'autre.

Marquages transversales :

- **Lignes transversales continue :** éventuellement tracées à la limite où les conducteurs devraient marquer un temps d'arrêt.
- **Lignes transversales discontinue :** éventuellement tracées à la limite où les conducteurs devaient céder le passage aux intersections.

C. Autres signalisation :

• **Les flèches de rabattement :**

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

• **Les flèches de sélection :**

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

- ✓ Pour piétons,
- ✓ Pour cyclistes,
- ✓ Pour le stationnement,
- ✓ Pour les ralentisseurs de type dos d'âne.

XII.1.5. Application au projet

A. Les signalisations horizontales :

❖ **Flèche de sélection :**

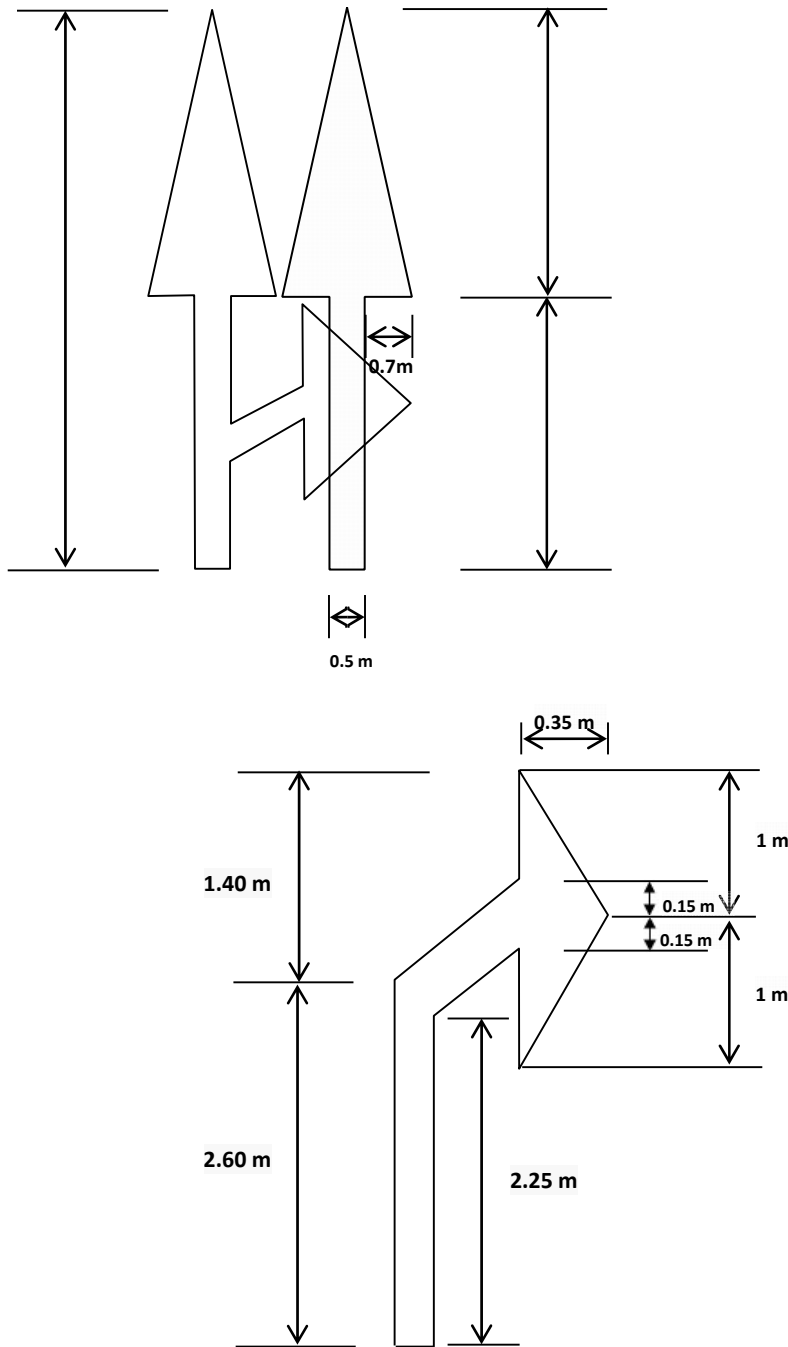


Figure n° 46 : Flèche de sélection.

❖ Marque sur la chaussée :

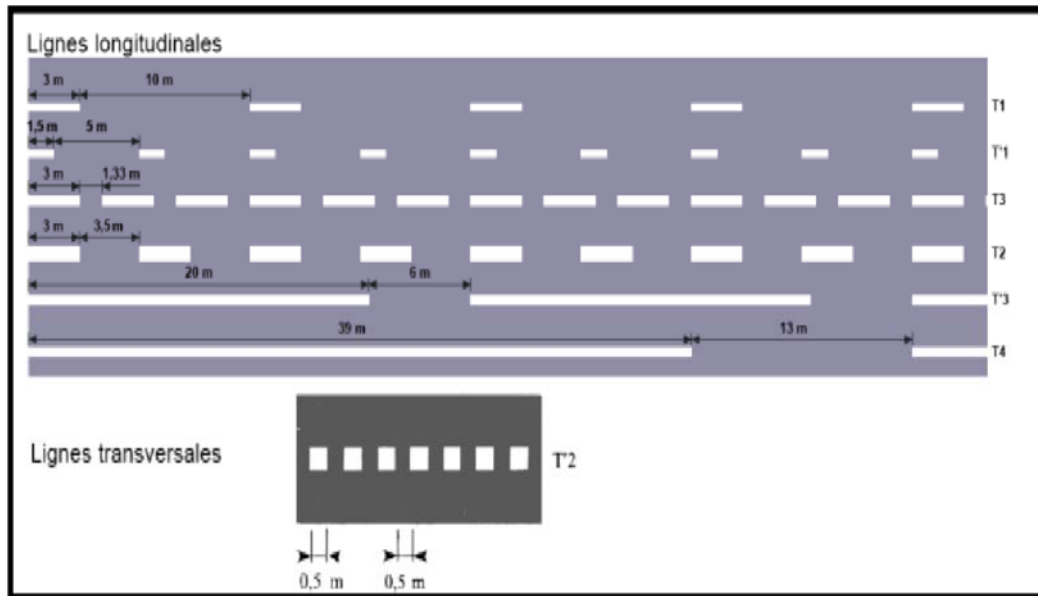


Figure n° 47 : Marque sur la chaussée.

❖ Flèche de rabattement :

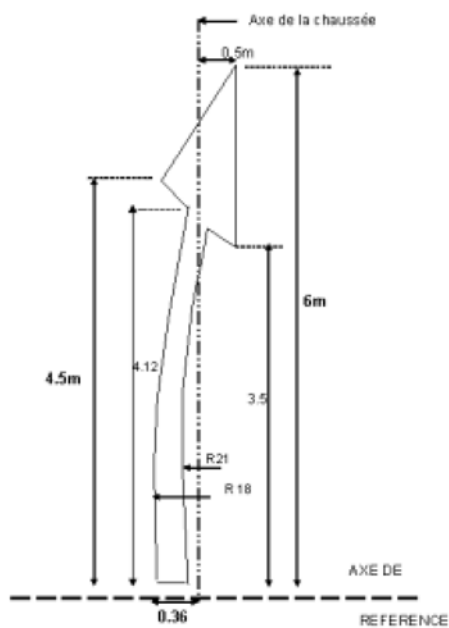


Figure n° 48 : Flèche de rabattement.

B. Les signalisations verticales :

Plaques de signalisation :

➤ Les signaux de danger type A :



A1a



A1b



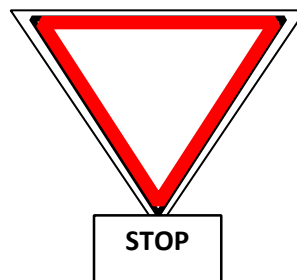
A1c



A1d

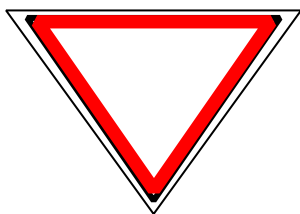


A22



A23

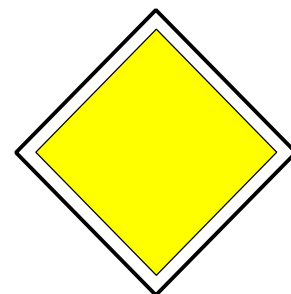
➤ Les signaux d'intersection et de priorité type B :



B1

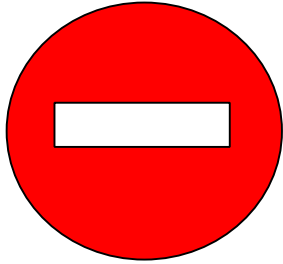


B2



B3

➤ **Les signaux d'interdiction de type C :**



C1



C11a



C7



C9



C8

➤ **Les signaux d'obligation de type D :**



❖ Panneaux spéciaux type A :



Figure n° 51 : Panneaux spéciaux (type A).

❖ Signaux d'identification des routes type E :

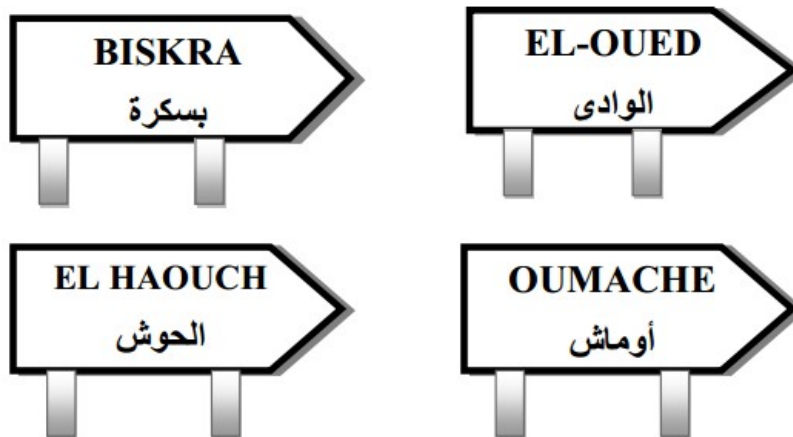


Figure n° 52 : Les signaux d'identification des routes (type E).

XII.2.1. Eclairage

Dans un trafic en augmentation constante, l'éclairage public et la signalisation nocturne des routes jouent un rôle indéniable en matière de sécurité. Leurs buts sont de permettre aux usagers de la voie de circuler la nuit avec une sécurité et confort aussi élevé que possible.

XII.2.2. Catégorie d'éclairage

On distingue quatre catégories d'éclairages publics :

- 1) **Catégorie A** : Eclairage général d'une route ou une autoroute.
- 2) **Catégorie B** : Eclairage urbain (voirie artérielle et de distribution).
- 3) **Catégorie C** : Eclairage des voies de cercle.
- 4) **Catégorie D** : Eclairage d'un point singulier (carrefour, virage...) situé sur un itinéraire non éclairé.

XII.2.3. Paramètres d'implantation des luminaires

- ✓ L'espacement (e) entre luminaires : qui varie en fonction du type de voie.
- ✓ La hauteur (h) du luminaire : elle est généralement de l'ordre de 8 à 10 m et parfois 12 m pour les grandes largeurs de chaussée.
- ✓ La largeur (l) de la chaussée.
- ✓ Le porte-à-faux (p) du foyer par rapport au support.
- ✓ L'inclinaison, ou non, du foyer lumineux, et son surplomb (s) par rapport au bord de la chaussée.

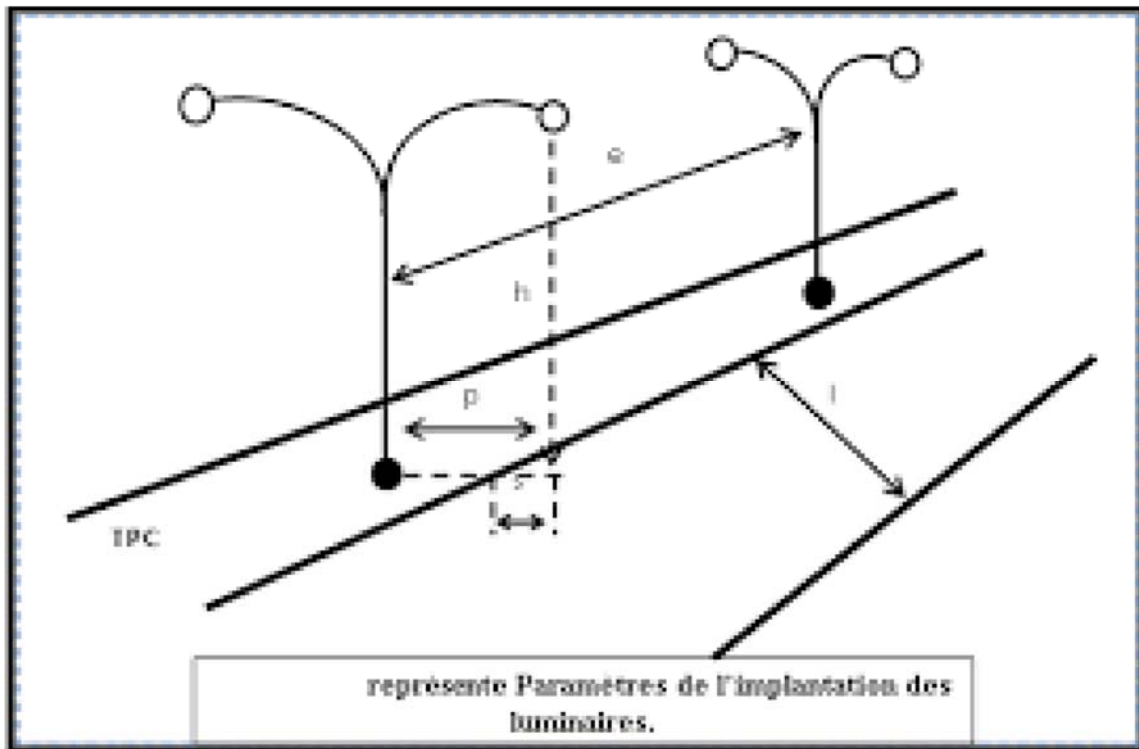


Figure n° 53 : Paramètres de l'implantation des luminaires.

XII.2.4. Eclairage d'un point singulier

Les caractéristiques de l'éclairage d'un point singulier, situées sur un itinéraire non éclairé doivent être les suivantes :

- Longue distance 800 à 1000 m du point singulier, tache lumineuse éveillant l'attention de l'automobiliste
- Distance moyenne 300 à 500 m, idée de la configuration du point singulier.
- Faible distance distinguée sans ambiguïté les obstacles.
- La sortie de la zone éclairée, pas de phénomène de cécité passagère.

Chapitre XIII
Impact sur
l'environnement

XIII.1. Impacts du projet sur l'environnement :

XIII.1.1. Les impacts négatifs :

Au niveau des impacts négatifs identifiés, on retiendra ce qui suit :

- Les problèmes de santé et de nuisances diverses liés à la pollution de l'air par les poussières et les fumées des engins de terrassement et les véhicules de liaison.
- Les déchets liquides et solides des chantiers entraînant un risque faible de pollution des eaux de surface et des eaux souterraines. Cette intrusion dans le milieu naturel (pollution, contamination ...) a également des conséquences négatives sur les conditions de vie des populations (maladies).
- La destruction des espèces ligneuses situées sur le talus et les accotements des routes, les déviations, les virages à caractère accidentel, qui sont corrigés, et les zones d'emprunt.

XIII.1.2. Les impacts positifs :

Au niveau des impacts positifs, l'essentiel se résume :

A la création d'emploi dans les travaux d'entretien de cette route ; au rapprochement de l'administration centrale des populations locales ; à la facilitation des évacuations sanitaires des villages vers les villes ; à la circulation qui sera améliorée ; aux activités économiques, échanges commerciaux, activités artisanales, culturelles et touristiques.

XIII.2. Mesures d'atténuation :

XIII.2.1. Mesures d'atténuation formulées des impacts négatifs et renforcer les impacts positifs :

- On peut noter un certain nombre d'atténuations citées ci-dessous : les clauses environnementales à insérer dans le cahier des charges des entreprises telles que l'arrosage des routes concernées pendant les travaux, la remise en état ou la revalorisation des sites d'emprunt si telle est la disposition retenue, la collecte et l'élimination des déchets solides et liquides des chantiers, le balisage et la mise en place des panneaux de signalisation.
- Les mesures de lutte contre l'érosion par des ouvrages de drainage (gabion, perrés maçonnés ou secs, diguettes de moellons).
- Les plantations d'arbres d'alignement à la traversée des agglomérations, la mise en place des bosquets villageois pour compenser les arbres abattus sur l'emprise des routes, des zones d'emprunt et des carrières.
- Les aménagements des carrières en mares au profit de l'élevage (abreuvement du bétail) ; de cultures de contre saison et de maraichage.

Chapitre X: Impact sur l'environnement

- Les mesures réglementaires concernant toute attaque visant à nuire à l'intégrité des forêts classées, des domaines protégés et des bois sacrés.

Les mesures de renforcement des impacts positifs qui porte sur :

- L'embauche de la main d'œuvre locale pendant les travaux.
- Le renforcement des capacités des infrastructures communautaires par des clôtures temporaires et permanentes au niveau des écoles et des Centres de santé de promotion sociale.
- L'entretien courant de la route, pour soutenir de façon durable toute action positive ci-dessus évoquée.

Devis Quantitatif et Estimatif

Devis Quantitatif et Estimatif

**Réalisation de la Route Reliant Silet-Tinzaouatine sur 367 Km
2^{ème} Tranche (Du PK 55+325 Au pk 58+325) Sur 03km
Wilaya de Tamanrasset**

N°	Désignation des Travaux	U	Quantité	P.U (H.T)	Montant
A	Terrassements				
1	Déblais en terrain semi rocheux	M ³	320.00	1 500.00	4 800 000.00
2	Déblais en terrain rocheux	M ⁴	400.00	4 000.00	1 600 000.00
3	Déblais mis en dépôt	M ³	7200.00	400.00	2 880 000.00
4	Remblai en provenance d'emprunt	M ³	27000.00	1 100.00	29 700 000.00
B	Corps de chaussée				
5	Couche de fondation en Tuf (ép = 25cm)	M ³	7500.00	1 200.00	9 000 000.00
6	Couche de base en grave Concassée 0/20 (ép=20 cm)	M ³	6000.00	5 100.00	30 600 000.00
7	Imprégnation en cut-back 0/1	M ²	21000.00	150.00	3 150 000.00
8	Couche de roulement en BBPM 0/14 sur 7 cm (Réalisée au finisher équipé d'un palper électronique)	T	3390.00	10 000.00	33 900 000.00
9	Rechargement des accotements en matériaux choisis	M ³	9000.00	1 200.00	10 800 000.00
10	Signalisations horizontale	ML	12000.00	100.00	1 200 000.00
C	Ouvrages hydrauliques				
11	Réalisation des ouvrages busé diamètre ø1000 mm y compris radier avec têtes d'ouvrages	ML	10.00	180 000.00	1 800 000.00
12	Réalisation des ouvrages busé diamètre ø1500 mm y compris radis avec têtes d'ouvrages	ML	10.00	200 000.00	2 000 000.00
D	Passages submersibles				
13	Réalisation des murs para fouille en béton cyclopéen	M ³	25.00	22 000.00	550 000.00
14	Réalisation des dalles en béton légèrement armé en treillis soudés	M ³	20.00	36 000.00	360 000.00

Devis Quantitatif et Estimatif

15	Herrisonnage en pierres	M ²	200.00	2 000.00	400 000.00
16	Protection en gabion	M ³	210.00	6 900.00	1 449 000.00
TOTAL EN HORS TAXES					134 189 000.00
TVA 19%					25 495 910.00
TOTAL EN T.T.C.					159 684 910.00

ARRETE LE MONTANT DU PRESENT DEVIS EN TTC A LA SOMME DE : Cent Cinquante Neuf Millions Six Cent Quatre Vingt Quatre Mille Neuf Cent Dix Dinars Algériens

Conclusion Générale

Ce projet de fin d'études nous a été une opportunité pour concrétiser nos connaissances théoriques et techniques acquises pendant notre cycle de formation à l'université. Cette étude nous a permis de chercher des solutions à tous les problèmes techniques rencontrés lors de cette étude sachant qu'un projet routier dans les zones sahariennes comme la wilaya Tamanrasset a ses propres spécificités. Il était pour nous d'une part l'occasion de tirer profit des expériences des personnes qualifiées dans le domaine des routes en particulier et des travaux publics en général. Et d'autre part d'apprendre une méthodologie rationnelle à suivre pour élaborer un projet routier.

A propos de notre étude, nous avons essayé de respecter toutes les normes routières imposées par la B40 qu'on ne peut pas négliger en évitant les contraintes rencontrées sur le terrain et à prendre en considération à savoir : Le confort, la sécurité des usagers ainsi bien que l'économie et l'environnement.

Ce projet de route nous a permis non seulement d'exprimer et d'appliquer nos connaissances acquises durant les années de notre formation, de mieux maîtriser l'outil informatique en l'occurrence les logiciels AUTO CAD et COVADIS, mais aussi de mieux appréhender notre avenir dans le monde professionnel.

Ce projet nous a sensibiliser sur l'énorme potentiel qu'offre notre immense pays en matière de surface a peuplé et l'obligation de renforcé nos frontières avec les pays avoisinant afin de sécuriser nos frontières vue la conjoncture actuelle que traverse notre pays avec les pays voisins.

Bibliographie

- B40 Normes Techniques d'Aménagement des Routes.
- Les cours de routes « 3^{ème} année licence et 1^{ère} année master » de l'université d'Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.
- <https://www.cfm-roches.org/sites/default/files/jngg/JNGG%202002%20B%20pp%20Morsly.pdf>.
- <https://clrtafrique.com/routes/communic.doc>, les routes sahariennes stratégie pour une maintenance et un entretien durables.
- <http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/Route%20transsaharienne/fr-fr/>.
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Route_transsaharienne.
https://clrtafrique.com/dossier/stage_tunisie/rts_non_revet/Les_routes_non_revetues_en_algerie.pdf.
- Mémoire de fin d'étude, Etude de la deuxième rocade sud d'Oran section Belgaid-El Kerma Lot 2 du PK 05+000 au PK 09+000 (HALLAL Mohamed & GNAOUI Omar, Promo 2020).
- Projet de fin d'étude, Etude d'un tronçon routier de la RN 51 MENIA - OUARGLA (Du PK 142+000 AU PK 152+000) sur 10 Km (SOUILEM, Promo2019).
- Logiciels: Covadis, AutoCAD 2009 et Google earth.
- <https://fr.slideshare.net/ademLoup/catalogue-de-dimensionnement-des-chaussees-neuves-fascicule3-r>.
- Sites INTERNET: WWW. Google Earth.Com.
- Mémoire de fin d'étude, Etude géométrique et géotechnique BOURI & TIDJEDIT (ING-VOA, Promo 2013).
- Mémoire de fin d'étude, Etude d'un tronçon routier neuf évitement de la RN 17 AB de Sirat (DU PK 23+447 AU PK 26+400), HADDAR Med, promotion 2017.
- <https://iste-editions.fr/products/les-essais-in-situ-en-geotechnique> ; L'auteur Ingénieur et directeur du bureau d'étude géotechnique Gaia Tech, Jacques Monnet a enseigné les essais in situ à Poly Tech' Grenoble.
- Construction en terre focus sur la fabrication et la construction en blocs de terre Compressée.
- Définition d'essai équivalent de sable, Wikipédia.
- Code de bonne pratique.
- Définition d'essai de carbonate, Wikipédia.

- Figure prise du PDF, Code de bonne pratique, R 81/10, Edité par le Centre de recherches routières, Etablissement reconnu par application de l'Arrêté-loi du 30 janvier 1947, Boulevard de la Woluwe 42 – 1200 Bruxelles.
- Code de bonne pratique, R 81/10, Edité par le Centre de recherches routières, Etablissement reconnu par application de l'Arrêté-loi du 30 janvier 1947, Boulevard de la Woluwe 42 – 1200 Bruxelles.
- Projet de fin d'étude ; étude d'un tronçon autoroutier sur 6 Km avec étude d'un échangeur sur la RN03 Ain Touta-Batna ; Mehdaoui Belkacem et Reguieg Ismail promotion 2012.
- Marché N°: 22, du 31/12/2018, Opération N°: NE5.521.8.262.111.18.01, Intitule de l'opération : Réalisation de la route Silet - Tinzaouatine sur 367 km (2eme Tranche sur 207km), Direction des travaux publics Wilaya de Tamanrasset.