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

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER ACADEMIQUE

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

.

Etude de la Route Reliant Silet-Tinzaouatine sur 367 Km 2 éme Tranche (DuPK 62+225 Au Pk 65+225) Sur 03km Wilaya de Tamanrasset

Présenté par :

-BENSTAALI MOHAMMED.

-BENGHALI NOR EDDINE MANSOUR.

Soutenu le : 06/07/2021 Devant le jury de soutenance composé de :

Président:**Mr. MEBROUKI ABDELKADER**

Encadrant :**Mr.ROUAM SERIK MOHAMED.**

Examinateur : **Mr. BOUHALOUFA AHMED**

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 ROUAMSERIK 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.

Sommaire

Introduction générale	
Chapitre I : Les Routes Saharienne	
I.1. Introduction	1
I.2. Le Contexte Saharien	2
I.3. La Technique Routière Saharienne	3
I.4. Materiaux et Mise En œuvre	5
I.5. Quelques exemples des chaussées sahariennes	10
Chapitre II : Normes géométriques et données de base	
II.1.Généralités	12
II.1.1. Environnement de la route	12
II. 2 Calcul de la dénivelée cumulée moyenne	13
II. 3. Catégorie de la route	18
II.1.4. La vitesse de référence	19
Chapitre III : Etude du trafic	
III.1. Généralités	21
III.2. Différents types de trafics	21
III.3. Analyse du trafic	21
III.4. Calcul de la capacité	22
III.5. Calcul du trafic effectif	23
III.6. Débit de pointe horaire normal	23
III.7. Débit horaire admissible	23
III.8. Application au projet	25
Chapitre IV Paramètre cinématique	
IV.1. Distance de freinage	26
IV.2. Temps de réaction	27
IV.3. Distance d'arrêt	28
IV.4. Manœuvre de dépassement	29
IV.5. Espacement entre deux véhicules	29
IV.6. Application au projet	30
Chapitre V Tracé en plan	
V.1. Introduction	31
V.2. La vitesse de référence (de base)	31
V.3. Paramètres fondamentaux (B40)	31
V.4. Règles et principes du tracé en plan	32
V.5. Les éléments du tracé en plan	32
V.6. Courbes en plan	34
V.7. courbes de raccordements	37
Chapitre VI Profil en long	
VI.1. Définition	42

VI.2. Règles à respecter dans le tracé de la ligne rouge	42
VI.3. Eléments de composition du profil en long	42
VI.4. Coordination entre le tracé en plan et le profil en long	43
VI.5. Déclivité	43
VI.6. Les raccordements en profil en long	43
VI.7. Détermination pratique du profil en long	46
VI.8. Exemple de calcul du profil en long	48
Chapitre VII Profil en travers	
VII.1. Généralités	50
VII.2. Les éléments du profil en travers	50
VII.3. Classification du profil en travers	51
VII.4. Application numérique au projet	52
Chapitre VIII Cubatures	
VIII.1. Généralités	53
VIII.2. Définition	53
VIII.3. Méthode de calcul des cubatures	53
VIII.4. Application au projet	56
Chapitre IX Dimensionnement de corps de chaussée	
IX.1. Introduction	57
IX.2. La chaussée	58
IX.3. Les différentes catégories de chaussée	59
IX.4. Les principales méthodes de dimensionnement	60
IX.5. Application au projet	62
Chapitre X Etude géotechnique	
X.1Introduction	64
X.2 Objectif de la géotechnique routière	64
X.3 Moyens de reconnaissance	64
X.4 Réglementation algérienne en géotechnique	64
X.5 Les essais en géotechnique	64
X.5.1 Essais physiques	65
X.5.2Essais mécaniques	67
X.5.3Essais chimiques	71
X.5.4 Essais des Enrobées	82
Chapitre XI Assainissement	
XI.1. Généralités	85
XI.2. Objectif de l’assainissement	85
XI.3. Assainissement de la chaussée	86
XI.4. Définitions des termes hydrauliques	87
Chapitre XII Signalisation et éclairage	
XII.1.1 Signalisation	89
XII.1.2 Objectifs de signalisation routière	89
XII.1.3 Critères a respecté pour les signalisations	89

XII.1.4 type de signalisation	89
XII.1.5 Application au projet	93
XII.2.1 Eclairage	99
XII.2.2 Catégorie d'éclairage	99
XII.2.3 Paramètres d'implantation des luminaires	99
XII.2.4 Eclairage d'un point singulier	100
Chapitre XIII Impact sur l'environnement	
XIII.1. Impacts du projet sur l'environnement	101
XIII.2. Mesures d'atténuation	101
XIV. Devis quantitatif et estimatif	103
Conclusion générale	
Bibliographie	
Annexes	

Liste des figures

Figure n°1 : fuseau discriminant de Béni-Abbes	05
Figure n°2 : Distance de freinage	26
Figure n°3 : Temps de réactions.	27
Figure n°4 : Distance d'arrêt.	28
Figure n°5 : Espacement entre véhicule	29
Figure n°6: Elément du tracé en plan	32
Figure n°7 : Elément de la Clothoïde	38
Figure n°8 : Raccordement convexe et concave	44
Figure n°9 : Visibilité	45
Figure n°10 :Détermination du profil en long	46
Figure n°11 : Eléments du profil en travers	50
Figure n°12 : Volume déblai, remblai	54
Figure n°13 : Calcul volume déblai, remblai	54
Figure n°14 : Les différentes catégories de chaussée	59
Figure n°15 : Les couches du corps de chaussée	63
Figure n°16 : Matériels d'essai teneur en eau	67
Figure n°17 : Analyse granulométrique	68
Figure n°18 : Tamisage électrique et manuel	69
Figure n°19 :Méthode d'essai	69
Figure n°20 : Mode opératoire 01	70
Figure n°21 : Mode opératoire 2	71
Figure n°22 : Matériels utilisés dans l'essai équivalent de sable	72
Figure n°23 :L´essai d´équivalent de sable	72
Figure n°24 : Matériels utilisés	74
Figure n°25 : Limite de plasticité	75
Figure n°26 : Appareillage	76
Figure n°27: Tamisage de l'échantillon	76
Figure n°28 : Pesé l'échantillon	76
Figure n°29 : Mode opératoire de l'essai carbonate	77
Figure n°30: Modalité d'exécution des essais Proctor modifié	78
Figure n°31 : Matériels de l'essai Proctor	79
Figure n°32 : Les étapes de l'essai Proctor	79
Figure n°33 : Matériels d'essai CBR	80
Figure n°34 : Matériels d'essai CBR	81
Figure n°35 :L'appareil de compacité (nucléo-densimètre)	82
Figure n°36 : Exemple d'un essai de carottage	84

Figure n°37 : Flèche de sélection	93
Figure n°38 : Marque sur la chaussée	94
Figure n°39 : Flèche de rabattement	94
Figure n°40 : Schéma de signalisation stop sur chaussée	95
Figure n°41 : Schémas de marquage par hachures (sur le nez d'ilot)	95
Figure n°42 : Panneaux spéciaux (type A).	98
Figure n°43 : Les signaux d'identification des routes (type E)	99
Figure n°44 : Paramètres de l'implantation des luminaires	100

Liste des tableaux

Tableau n°01 :Dénivelé de chaque profil	16
Tableau n°02 :Détermination de la nature des terrains	16
Tableau n°03 : Sinuosité	17
Tableau n°04 : Environnement de la route	18
Tableau n°05 : Vitesse de référence	19
Tableau n°06 : Valeurs du coefficient P	23
Tableau n°07: Valeurs de K1 en fonction de l'environnement	24
Tableau n°08: Valeurs de K2 en fonction de l'environnement	24
Tableau n°9 : Valeurs de la capacité théorique	24
Tableau n°10 : Coefficient de frottement longitudinal selon les normes de B40	27
Tableau n°11 : Les valeurs du temps et de perception réaction t en fonction de E, CAT et Vr	28
Tableau n°12 : Lois de distance d'arrêt	28
Tableau n°13 : Valeur de dvd et dmd en fonction de la vitesse	29
Tableau n°14 : Devers en fonction de l'environnement	33
Tableau n°15 :Dévers [Normes B40]	35
Tableau n°16 : Valeur du coefficient f_t	36
Tableau n°17 : Valeur du coefficient « F"»	36
Tableau n°18 : Tableau récapitulatif des paramètres cinématiques	36
Tableau n°19 : Les rayons en plan selon [NormesB40]	36
Tableau n°20 : Valeur de déclivité maximale [NormesB40]	43
Tableau n°21 : Rayons convexes (angle saillant) [NormesB40]	45
Tableau n°22 : Rayons concaves (angle rentrant)	46
Tableau n°23: Valeurs de la tangente et de la flèche	49
Tableau n°24 : Coefficient d'équivalence des matériaux	61
Tableau n°25 : Nature du sol en fonction d'E.S	73
Tableau n°26: Qualification des horizons en fonction de leur teneur en calcaire total selon le GEPPA	77
Tableau n°27 : Modulation de la ligne continue	91

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 62+225Au Pk 65+225) 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.

Chapitre I : Les Routes Saharienne

1. Introduction :

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.

2. Le contexte saharien :

2.1. Le climat :

Le Sud algérien est caractérisé par des étés très chauds (50° à l'ombre) et des hivers rudes avec d'importants écarts de température (-5° le soir et 30° le jour). Les pluies sont rares et tombent généralement sous forme d'averses (précipitations annuelles moyennes inférieures à 50 mm qui peuvent tomber en une ou deux averses) , les vents de sable y sont fréquents.

La zonalité climatique en Algérie basée sur la pluviométrie est la suivante :

Zone I : méditerranéenne humide $H \geq 600$ mm.

Zone II : méditerranéenne subhumide $350 \text{ mm} \leq H < 600$ mm.

Zone III : semi-aride ou steppique $100 \text{ mm} \leq H < 350$ mm.

Zone IV : aride ou désertique $H < 100$ mm.

D'après cette classification, le Sahara est caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle inférieure à 100 mm, à laquelle s'ajoutent d'autres paramètres :

- des températures très variables et élevées en été (entre 38 et 45°C) ;

- un écart thermique entre le jour et la nuit, de 12 à 15°C en été et de 9 à 15°C en hiver ;

- une extrême sécheresse atmosphérique ;

- une fréquence des vents de sable ;

- une rareté et irrégularité des pluies.

2.2. Le relief

Le sud algérien est caractérisé par un relief peu accidenté constitué par de vastes pénéplaines. Les paysages sont généralement monotones à l'exception de quelques zones montagneuses ou passages d'ergs.

2.3. Principales ressources en matériaux locaux dans le Sud algérien

L'uniformité de l'aspect de surface du sol saharien dissimule une grande variété de matériaux ; on distingue :

- des encroûtements calcaires,

- des encroûtements gypso-calcaires,

- des sols gypseux ou salins,

- du tout-venant de plateaux,

- du tout-venant de buttes et pentes,

- des arènes granitiques,

- des sables,

- des argiles.

2.4. L'hydrogéologie

Du point de vue hydrologique, on distingue deux zones :

- La partie secondaire et tertiaire constituant le Nord du Sahara et renfermant diverses nappes souterraines dont l'une «Albienne» est particulièrement abondante et étendue.

- La partie primaire constituant l'extrême Sud où les seules ressources disponibles sont constituées par des nappes d'enferoflux des oueds importants.

3. La TechniqueRoutière Saharienne : (Fenzy, 1965)

3.1. Principale innovation

La principale innovation de la technique routière saharienne a été l'utilisation en couches de chaussée de matériaux fins, utilisation rendue possible grâce au climat et au trafic relativement faible prévue sur les routes à construire.

3.2. Les idées générales

- Le trafic saharien est essentiellement composé de camions gros porteurs souvent en surcharge ; donc on se dirigera vers une chaussée qui accepte sans désordres immédiats des déformations élastiques même relativement importantes, car les répétitions de charges étant faibles, les phénomènes de fatigue doivent apparaître lentement.

- Le climat saharien est très sec. Les quelques pluies tombent presque toujours en précipitations relativement importantes pendant un temps très court. L'imbibition n'est pas à craindre à la seule condition que la forme de la surface permette l'écoulement des eaux.

- Le problème des chotts doit être dissocié de la technique routière saharienne.

Principe de la technique :

- La couche de roulement doit être souple pour plier sans rompre.

- Le matériau de la couche de base doit pouvoir supporter des déformations élastiques (réversibles). - Grâce au climat sec, la résistance de la couche de base peut être obtenue soit par frottement entre grains, soit par cohésion.

- L'épaisseur de la couche de base peut être faible car le sol de fondation étant sec, sa portance est en général bonne

- La possibilité d'utiliser des matériaux cohérents plus ou moins argileux en couche de base impose de s'assurer du bon écoulement des eaux de pluie.

3.3. Domaine d'application

- Climat très sec (moyenne annuelle des pluies < 100 mm).

- Risques d'imbibition des sols sous chaussées très réduits.

3.4. Classification des matériaux (Larabi, 1998)

Il est établi que l'environnement désertique permet l'utilisation, en corps de chaussée, d'une large gamme de matériaux : depuis les graves caillouteuses jusqu'aux matériaux fins en passant par ceux dont la courbe granulométrique est tout entière à l'intérieur d'un fuseau discriminant de type AASHO (voir Figure1). Fuseau discriminant de Béni-Abbes- Les matériaux sont alors classés en trois familles selon leur granularité :

Famille I : ceux dont la courbe granulométrique se trouve au-dessous du fuseau entièrement ou partiellement (zone I du graphique). Ce sont des matériaux à ossature à forte teneur en vide (ballast). Il n'est pas interdit d'envisager leur emploi en couche de base ou de fondation mais chaque cas doit être étudié en fonction des risques de ségrégation et de compactage ; parfois la réalisation de planches d'essai est nécessaire avant de se prononcer.

Famille II : les matériaux dont la courbe granulométrique est tout entière à l'intérieur du fuseau (zone II du graphique) ; Ces matériaux doivent leur tenue à l'enchâssement des différents éléments et à l'angle de frottement important dû au contact grain sur grain ; on les appelle matériaux à angle de frottement élevé. Ce sont des matériaux à ossature, analogues à ceux dits classiques utilisés en zone humide pour lesquels il est toutefois toléré quelques faibles écarts grâce à la sécheresse (pourcentage de fines plus élevé). Ce type de matériaux doit assurer une certaine cohésion tout en évitant une lubrification du squelette.

Famille III : ceux dont la courbe granulométrique se trouve au-dessus du fuseau entièrement ou partiellement (zone III du graphique). Matériaux à matrice d'éléments fins, le squelette est inexistant ou noyé dans les éléments fins. Ces matériaux sont caractérisés par :

- leur nature minéralogique(taux de carbonates, sulfates, chlorures et insolubles) ;

- leur résistance à la compression simple ;

- leur susceptibilité à l'humidité(gonflement, retrait chute de résistance).

Les seuils imposés à ces paramètres dépendent du niveau de service pour lequel ils seront sollicités (couche de fondation, couche de base, nature et intensité du trafic).

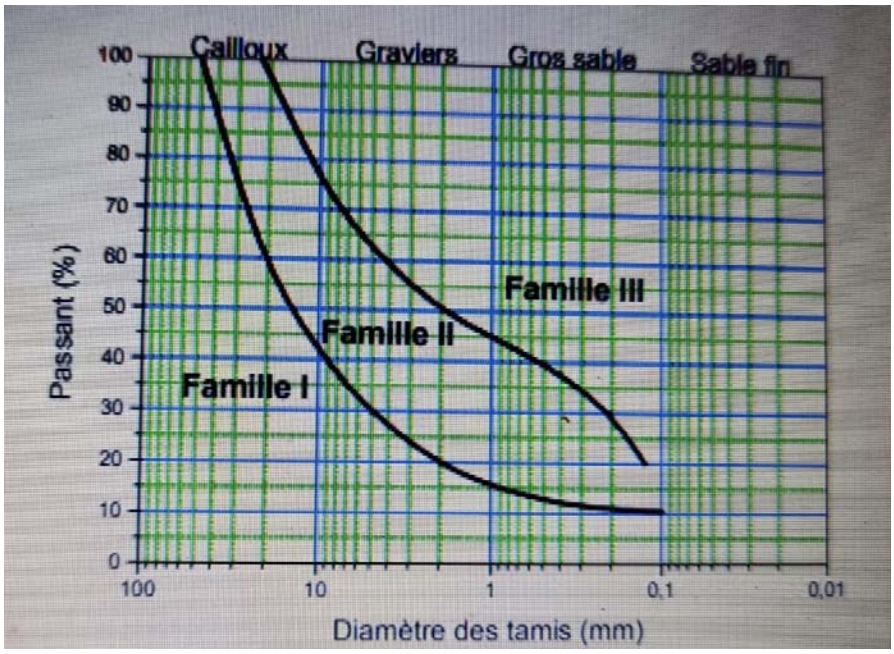


Figure1. Fuseau discriminant de Béni-Abbes

4. Matériaux et mise en œuvre (Fumet, 1959 ; Fenzy, 1965 ; Inal, 1980 ; Boularek1989)

4.1. Terrassement

- Les routes en zones désertiques sont souvent réalisées en remblai de faible hauteur 20 à 30 cm, cette disposition facilite le drainage et modifie favorablement la teneur en eau d'équilibre sous chaussée

- Les déblais sont à éviter autant que possible car ils favorisent l'ensablement des chaussées. Il n'y a pas de sélection de matériaux pour l'exécution des terrassements à l'exception des matériaux trop fins et pulvérulents qui sont à écarter :

- lorsque les matériaux de bonne qualité sont disponibles à des distances de transport économiques, les remblais sont confectionnés avec ces matériaux et constituent déjà une fondation qui permet de réduire au minimum l'épaisseur du corps de chaussée – couche de base d'environ 15 cm –

- en zones dunaires, le sable peut constituer le corps du remblai, cependant sa mise en œuvre pose des problèmes particuliers : difficultés de répandage du matériau de couche de base sur le sable de dune, cette opération ne peut se faire sans contamination de la couche supérieure sauf si l'on prend des précautions lors de la mise en œuvre (approvisionnement à l'avancement).

- Les terrassements sont compactés à sec de manière à atteindre des densités de l'ordre de 90 % de l'optimum Proctor. La dernière couche étant compactée à l'eau, à 96 % de l'optimum Proctor.

- La couche supérieure des terrassements devra être traitée de façon à acquérir une compacité maximale, de l'ordre de 98% de l'optimum Proctor (Larabi, 1998).

4.2. Couche de fondation

Dans les zones désertiques la présence de sol mou n'est pas envisageable ; de même, les conditions climatiques arides ont pour conséquence la rigidité des sols supports et des assises. Le principe d'une assise unique est alors retenu ; son épaisseur varie entre 15 cm et 30 cm. Elle est réalisée, à chaque fois que c'est possible avec un matériau identique soumis à des normes strictes.

Lorsque les matériaux performants (par rapport aux normes imposées par la technique routière saharienne) ne sont pas disponibles en quantité suffisante, les 10 cm inférieurs - jouant le rôle de couche de fondation - sont alors réalisés avec un matériau ayant des caractéristiques moins bonnes.

La couche de fondation est mise en place sur la plate-forme support de la chaussée (terrassements terminés) par compactage avec humidification et est exécutée sur toute la largeur de la plateforme.

4.3. Couche de base

La couche de base est compactée avec humidification et exécutée sur toute la plate-forme. Lorsqu'elle est terminée, elle a une largeur de 7.50 à 10.50 m suivant les projets, avec des élargissements sur certaines sections-passages submersibles, remblais de grande hauteur, etc. - (Domec, 1980). Les matériaux utilisés en couche de base appartiennent soit à la famille II (matériaux à ossature), soit à la famille III (matériaux fins).

La construction des chaussées avec matériaux fins, dits à cohésion élevée, est le privilège des régions à climat sec. On détermine leur qualité par des essais d'Atterberg, l'analyse chimique et on apprécie leur cohésion par des essais de résistance à la compression simple. Cet essai est effectué sur des éprouvettes type sol :

- compactées humides, à la teneur en eau Optimum Proctor Modifié,

- présentant une densité sèche égale approximativement à 95% de la densité sèche maximum Proctor modifié

- séchées à une température de 60°C maximum.

Leur résistance doit être au moins de 25 bars à teneur en eau finale quasiment nulle. Ces matériaux nécessitent une teneur en eau optimale élevée, d'où les risques de retrait au séchage et de fissuration.

La résistance chute brutalement avec la compacité (de l'ordre de 50% quand on passe de 98 à 95% de l'optimum Proctor modifié); il est donc indispensable d'exiger un bon compactage avec des tolérances très limitées.

Il est à noter qu'un bon compactage est souvent difficile à obtenir, lorsque le matériau est très fin car sa surface spécifique importante exige :

- une teneur en eau au moment du compactage parfaitement homogène et proche de l'optimum Proctor modifié,

- un malaxage puissant,

- une grande énergie de compactage.

Il est également déconseillé de rapporter, sur une surface déjà compactée, une couche mince car il se produit ce qui est appelé le feuilletage : la couche supérieure se détache du corps de chaussée dès qu'un effort lui est appliqué ; une reprise sur l'épaisseur totale de la couche de base par grattage des matériaux déjà mis en place est indiquée lorsqu'une correction s'impose.

Ces types de matériaux sont assez aléatoires et demandent une mise en œuvre soignée. Ils donnent un excellent uni. Leur tenue est parfaite en l'absence d'eau mais leur imbibition avec maintien du trafic lourd entraîne la ruine de la chaussée.

4.4. Couche de roulement

Imprégnation

Préalablement à la réalisation d'une couche de roulement, les matériaux -d'encroûtements notamment-, doivent recevoir une couche d'imprégnation bitumineuse dont l'utilité est triple :

- assurer l'accrochage de la couche de roulement sur un matériau souvent très fermé en surface ;

- servir éventuellement de couche de roulement provisoire ;

- protéger la couche de base d'éventuelles précipitations.

L'imprégnation est réalisée sur toute la largeur de la plate-forme, le plus souvent au cut-back 0/1 et parfois au cut-back 10/1. Les assises de chaussées étant réalisées avec des matériaux naturels non élaborés et en couches relativement minces, les déflexions élastiques produites sont relativement importantes (de l'ordre du millimètre). Ceci impose l'exécution d'un revêtement souple et mince. Selon l'intensité du trafic, la couche de roulement sera constituée par un enduit superficiel, un enrobé à froid, un enrobé à chaud ou un sable bitume. Toutefois, l'enrobé à froid est le plus indiqué. Actuellement le revêtement est réalisé sur une largeur de 7 m avec des élargissements sur certaines sections, car les anciennes routes revêtues sur une largeur moindre ont connu des dégradations prématurées, par les accotements, malgré le faible trafic.

Enduits superficiels

- Le dosage en liant hydrocarboné est assez élevé : les films de liant sont assez épais pour que le vieillissement soit lent, malgré la température et la présence permanente de sable fin siliceux éolien ; le liant garde ainsi sa ductilité assez longtemps. Les risques de ressuages ne sont pas graves au Sahara à cause de l'apport continu de sable fin siliceux éolien en surface de chaussée.

- La couche est assez compacte pour que du sable éolien ne s'introduise pas dans les interstices du gravier et mobilise le liant au détriment des liaisons entre grains. L'enduit superficiel retenu pour les zones arides est soit un bicouche, soit un tricouche dont la formulation est la suivante :

bicouche : 8/16 et 3/8 ou 12,5/18 et 5/12,5 ;

tricouche : 15/25 ; 8/15 et 3/8.

La réussite des enduits superficiels est souvent difficile à cause de la pollution des granulats par le sable éolien et l'absence de compactage par un trafic régulier ; les rejets de granulats sont importants et constituent un grave danger pour les véhicules circulant à grande vitesse. Les enrobés ouverts sont plus faciles à mettre en œuvre et donnent un uni de meilleure qualité.

Enrobés ouverts à froid

Les enrobés ouverts ont l'avantage d'être assez souples aussi, mais l'épaisseur de la couche les soumet à une fatigue accélérée. Leur formulation se présente comme suit :

- granulométrie continue 2/16 ou 2/18

- dosage en liant 6 à 6,50%

- épaisseur 3,5 à 5cm

- liants cut-backs 150 /250 ou 400/600 et 0/1 pour l'imprégnation.

- enrobage en centrale classique.

Le pourcentage des vides après compactage reste important (20 à 25%) mais ces vides sont parfaitement comblés par le sable éolien et les effets du trafic lourd.

Les enrobés denses classiques

L'utilisation des enrobés denses est possible mais coûteuse. L'épaisseur minimale recommandée est de 6 cm, compte tenu des déflexions élastiques importantes sur couches de base ; les bitumes durs sont recommandés.

Les risques de fluage et d'orniérage sont limités, le trafic étant faible et non canalisé. Il est à signaler qu'un revêtement légèrement fissuré peut durer plusieurs années sans grand dommage pour la chaussée.

5. Exemples des chaussées sahariennes :

5.1. Chaussées en tufs calcaires (Horta, 1979).

Les chaussées construites en tufs calcaires sont généralement bonnes, lorsque les critères d'utilisation de ces matériaux et le drainage sont respectés.

Un bon drainage évite l'apparition des dégradations : fissurations dues au retrait, vieillissement du tuf, dissolution des fines calcaires.

En effet, durant la période humide, la teneur en eau d'équilibre sous chaussée en tuf calcaire n'est pas suffisamment faible (elle est proche de l'optimum Proctor modifié, soit de l'ordre de 10%), les dissolutions peuvent devenir notables lorsqu'il existe des points préférentiels d'infiltrations des eaux de pluie dans la chaussée.

Ce cas a été observé sur deux routes : la RN6 au sud de Saïda et la RN1 au sud de Laghouat. Il s'agissait dans les deux cas d'une couche de base en tuf. En hiver sont apparues des zones poinçonnées par le trafic sur des sections soumises à des infiltrations. Ces dégradations sont en réalité des amorces de poches de dissolution.

Pour cela, l'accent a été mis très tôt sur les mesures de protection de ces assises contre les infiltrations des eaux de pluie.

La première de ces mesures est l'imperméabilisation de la surface de la chaussée. Les couches de roulement doivent être renouvelées avant les dégradations, les accotements en tufs doivent être entretenus et même revêtus.

La deuxième mesure vise à accélérer le ruissellement et à empêcher la stagnation d'eau sur la chaussée, par un dévers de 3% de la surface de chaussée et un dévers de 4 à 5% des accotements en alignement droit, exemple de Biskra-Touggourt et Biskra-El Oued.

5.2. Chaussées en sable gypseux

Les chaussées construites en sables gypseux sont moins bonnes que celles construites en tufs calcaires ; Elles présentent certaines dégradations (fissuration, gonflement, boursouflures) qui ne remettent cependant pas en cause leur utilisation. Il est à souligner que les sables gypseux sont l'unique matériau disponible sur de très vastes régions du Sahara.

La fissuration :

Il se forme, dans les chaussées en sable gypseux, deux familles de fissures : l'une transversale et l'autre longitudinale, qui apparaissent indépendamment du trafic. Cette fissuration se développe à partir des accotements et provoque un craquèlement du revêtement selon des mailles de différentes dimensions.

Ces fissures, qui ne concernent que les chaussées en sable gypseux, ont été attribuées, par Horta(1979), à la déshydratation du gypse durant la période sèche qui s'accompagne d'une

forte réduction de volume et provoque des tractions puis des fissures dans la couche de base, qui se transmettent à la couche de roulement.

Alloul (1981) a expliqué la cause des fissurations de ces chaussées, par la diminution de portance, en période hivernale, du sable gypseux de la couche de base suite à l'état humide de cette dernière, cet état est présent même en période sèche (teneurs en eau qui dépassent 2% en été)

Cette imbibition n'est pas très grave, en ce sens qu'elle ne réduit pas d'une façon importante la portance de la chaussée. Elle réduit cependant beaucoup plus la résistance au cisaillement du sable gypseux : des glissements horizontaux se produisent alors par endroit, sous le revêtement, sous l'effet des coups de freins ou de l'effort de traction des roues motrices des camions (Peltier, 1959).

Le gonflement

Certaines chaussées en sable gypseux ont présenté des gonflements au niveau de leur surface. Ce phénomène a été attribué généralement à une trop grande finesse du gypse ou à la présence d'une fraction d'argile active.

Les boursouflures

Un autre type de dégradation des chaussées, typique des climats arides, est les boursouflures salines ou encore les cloques.

Il s'agit de soulèvement de la couche de roulement suite à des pressions exercées vers le haut par les cristaux en forme de cheveux d'halite (chlorure de sodium Nacl). De très faibles quantités de chlorures dans les matériaux suffisent pour déclencher le phénomène. Il y a donc lieu, de limiter la teneur en chlorures des matériaux utilisés ; une valeur maximum de 0.5% est recommandée (Horta, 1979).

Chapitre II :

Normes géométriques et données de base

Généralités :

L'exécution de chaque projet routier doit être précédée par une reconnaissance du terrain, à ce niveau sa 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 au norme de la B40.

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

La dénivelée cumulée moyenne : c'est la somme en valeur absolue des dénivelées successives rencontrées long de l'itinéraire. Le rapport de la dénivelée cumulées totales H à la longueur de l'itinéraire L permet de mesure la longitudinal du relief.

$$Dc=\frac{|\sum_{Pi>0} PiLi+\sum_{Pi<0} PiLi|}{L}$$

P : pente du terrain

L : longueur de l'itinéraire (L=L1+L2+L3+….Ln).

Calcul de la dénivelée cumulée moyenne :

Tableau :

PT N°	PK	distance entre profil	Z Terrain Naturel	DH(m)
PT-215	62250,000	25	657,810	-
PT-216	62275,000	25	658,160	0,350
PT-217	62300,000	25	658,910	0,750
PT-218	62325,000	25	659,380	0,470
PT-219	62350,000	25	659,610	0,230
PT-220	62375,000	25	659,640	0,030
PT-221	62400,000	25	659,820	0,180
PT-222	62425,000	25	660,010	0,190
PT-223	62450,000	25	660,240	0,230
PT-224	62475,000	25	660,390	0,150
PT-225	62500,000	25	660,140	-0,250
PT-226	62525,000	25	660,310	0,170
PT-227	62550,000	25	660,420	0,110
PT-228	62575,000	25	660,740	0,320
PT-229	62600,000	25	660,690	-0,050
PT-230	62625,000	25	660,470	-0,220
PT-231	62650,000	25	660,510	0,040
PT-232	62675,000	25	660,730	0,220
PT-233	62700,000	25	661,160	0,430
PT-234	62725,000	25	661,320	0,160
PT-235	62750,000	25	661,430	0,110
PT-236	62775,000	25	661,480	0,050
PT-237	62800,000	25	661,550	0,070
PT-238	62825,000	25	661,720	0,170
PT-239	62850,000	25	661,880	0,160
PT-240	62875,000	25	662,010	0,130
PT-241	62900,000	25	662,070	0,060
PT-242	62925,000	25	662,150	0,080
PT-243	62950,000	25	662,510	0,360
PT-244	62975,000	25	662,750	0,240
PT-245	63000,000	25	663,070	0,320
PT-246	63025,000	25	663,310	0,240
PT-247	63050,000	25	663,320	0,010
PT-248	63075,000	25	663,240	-0,080

PT-249	63100,000	25	662,970	-0,270
PT-250	63125,000	25	662,420	-0,550
PT-251	63150,000	25	662,130	-0,290
PT-252	63175,000	25	662,440	0,310
PT-253	63200,000	25	662,200	-0,240
PT-254	63225,000	25	661,940	-0,260
PT-255	63250,000	25	662,320	0,380
PT-256	63275,000	25	662,160	-0,160
PT-257	63300,000	25	662,330	0,170
PT-258	63325,000	25	662,740	0,410
PT-259	63350,000	25	662,210	-0,530
PT-260	63375,000	25	662,110	-0,100
PT-261	63400,000	25	662,260	0,150
PT-262	63425,000	25	662,060	-0,200
PT-263	63450,000	25	661,830	-0,230
PT-264	63475,000	25	661,530	-0,300
PT-265	63500,000	25	661,250	-0,280
PT-266	63525,000	25	661,430	0,180
PT-267	63550,000	25	661,270	-0,160
PT-268	63575,000	25	661,110	-0,160
PT-269	63600,000	25	660,870	-0,240
PT-270	63625,000	25	660,800	-0,070
PT-271	63650,000	25	660,890	0,090
PT-272	63675,000	25	660,850	-0,040
PT-273	63700,000	25	660,870	0,020
PT-274	63725,000	25	660,880	0,010
PT-275	63750,000	25	660,890	0,010
PT-276	63775,000	25	660,850	-0,040
PT-277	63800,000	25	660,760	-0,090
PT-278	63825,000	25	660,740	-0,020
PT-279	63850,000	25	660,720	-0,020
PT-280	63875,000	25	660,720	0,000
PT-281	63900,000	25	660,730	0,010
PT-282	63925,000	25	660,760	0,030
PT-283	63950,000	25	660,710	-0,050
PT-284	63975,000	25	660,680	-0,030
PT-285	64000,000	25	660,680	0,000
PT-286	64025,000	25	660,690	0,010
PT-287	64050,000	25	660,770	0,080
PT-288	64075,000	25	660,780	0,010

PT-289	64100,000	25	660,840	0,060
PT-290	64125,000	25	661,000	0,160
PT-291	64150,000	25	661,180	0,400
PT-292	64175,000	25	661,490	0,310
PT-293	64200,000	25	662,330	0,840
PT-294	64225,000	25	662,840	0,510
PT-295	64250,000	25	662,550	-0,290
PT-296	64275,000	25	662,880	0,330
PT-297	64300,000	25	664,060	1,180
PT-298	64325,000	25	668,250	4,190
PT-299	64350,000	25	666,650	-1,600
PT-300	64375,000	25	664,130	-2,520
PT-301	64400,000	25	663,140	-0,990
PT-302	64425,000	25	662,760	-0,380
PT-303	64450,000	25	662,500	-0,260
PT-304	64475,000	25	662,480	-0,020
PT-305	64500,000	25	662,410	-0,070
PT-306	64525,000	25	662,370	-0,040
PT-307	64550,000	25	662,490	0,120
PT-308	64575,000	25	662,780	0,290
PT-309	64600,000	25	662,870	0,090
PT-310	64625,000	25	662,960	0,090
PT-311	64650,000	25	663,010	0,050
PT-312	64675,000	25	663,150	0,140
PT-313	64700,000	25	663,300	0,150
PT-314	64725,000	25	663,380	0,080
PT-315	64750,000	25	663,470	0,090
PT-316	64775,000	25	663,590	0,120
PT-317	64800,000	25	663,700	0,110
PT-318	64825,000	25	663,860	0,160
PT-319	64850,000	25	663,960	0,100
PT-320	64875,000	25	664,020	0,060
PT-321	64900,000	25	664,010	-0,010
PT-322	64925,000	25	664,030	0,020
PT-323	64950,000	25	664,000	-0,030
PT-324	64975,000	25	664,060	0,060
PT-325	65000,000	25	664,210	0,150
PT-326	65025,000	25	664,400	0,190
PT-327	65050,000	25	664,540	0,140
PT-328	65075,000	25	664,500	-0,040

PT-329	65100,000	25	664,610	0,110
PT-330	65125,000	25	664,740	0,130
PT-331	65150,000	25	664,830	0,090
PT-332	65175,000	25	664,910	0,080
PT-333	65200,000	25	664,990	0,080
PT-334	65225,000	25	665,120	0,130
PT-335	65250,000	25	665,200	0,080
	∑	**3000**		**7,61**

Tableau n°1 : Dénivelé de chaque profil.

Alors **H/L=0,0025**

Dc=0.25 %

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

Tableau n°2 : Détermination de la nature des terrains.

Ce qui conduit à un terrain plat à partir du (tableau 1)

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≤200m).
- L : la longueur totale de la route.
- Ls=0 si aucun rayon n'est inférieur à 200m.

N°	Classification	Sinuosité
1	**Sinuosité faible**	**σ<0.10**
2	**Sinuosité moyenne**	**0.10<σ<0.30**
3	**Sinuosité forte**	**σ>0.30**

Tableau n°3 : Sinuosité.

Dans notre cas :

L= 3000m

Ls= 0

⇒ σ =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°4 : **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 4)

II.3. 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).

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 CAT2

II.4.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°5 : Vitesse de référence.

Pour notre projet et après analyse des données il s'avère que **Vr=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 aménagé. 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.

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 :

$$Teff = [(1-Z) + PZ].Tn$$

Teff : 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.

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

Tableau n°6 :Valeurs du coefficient P.

III.6) <u>Débit de pointe horaire normal</u> : 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 :

$$Q = (\frac{1}{n}) \times Teff$$

Avec :

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

Q : est exprimé en UVP/h.

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

$$Qadm\ (UVP/h) = K1.K2.\ Cth$$

Avec :

K1 : coefficient lié à l'environnement.

K2 : coefficient de réduction de capacité.

Cth : 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° 7 : **Valeurs de K1 en fonction de l'environnement.**

Valeur de K2 :

Env	E1	E2	E3
K2	0.75	0.85	0.90 à 0.96

Tableau n° 8 : **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°9 : **Valeurs de la capacité théorique.**

III.8) <u>Application au projet:</u>

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

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

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

$T_n = T0 \times (1+\tau)^n$

$T_{20} = 10700(1 + 0.05)^{20} = 28400$ v /j

T_{20}= 28400 V/j

Chapitre IV

Paramètres 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

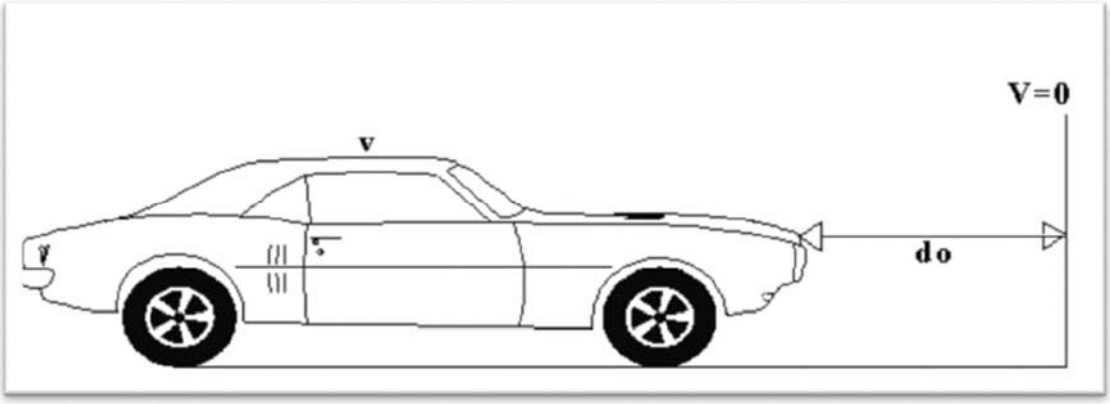


Figure n°2 : Distance de freinage.

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

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

Dans ce cas la formule d0 sera :

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

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

En palier (e=0) on aura :

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

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 varie avec la vitesse du véhicule.

Vr (Km/h)	40	60	80	100	120	140

frl	**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°10 : 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 $\mathbf{f_L = 0.39}$

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

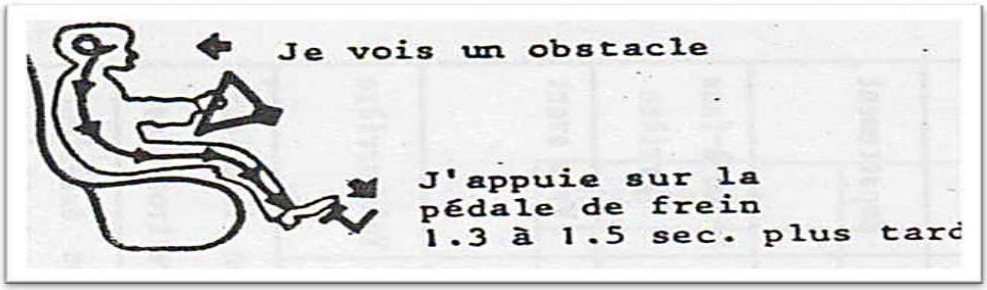


Figure n°3: Temps de réactions

<u>Dans une attention concentrée :</u>

t= 1.2 s pour un obstacle imprévisible
t= 0.6 s pour un obstacle prévisible
On prend t = 1.8 s par rapport à la catégorie et la vitesse :

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

Tableau n°11 : Les valeurs du temps de perception réaction t en fonction de E, CAT et Vr.

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

$\mathbf{d_1 = v \times t}$Avec : v : m/s t : 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).

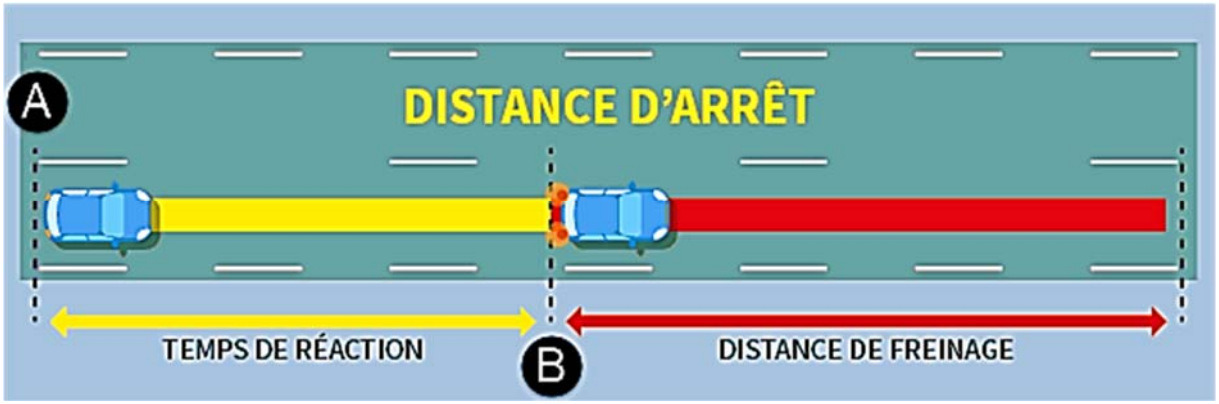


Figure n°4 : Distance d'arrêt.

Nature de route T(s)	Alignement droit	courbe
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°12 : Lois de distance d'arrêt.

D1 : distance d'arrêt

D_0 : 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

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°13 : 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 :

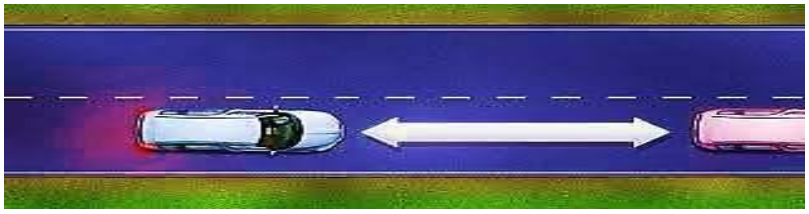


Figure n°5: Espacement entre véhicule.

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)

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

$$d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{80^2}{(0.39)} = \boxed{65.64\ m}$$

- En rampe : e = +0.052

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

$d_0 == \frac{4}{1000} \times \frac{80^2}{(0.39+0.052)} =$ 57.92 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

<u>Distance d'arrêt :</u>

a) En alignement droit :

On a Vr = 80 km/h t = 2 s ➡ d = d0 +0.55Vr

- <u>En palier</u>: d = 65.64 + (0.55×80) = 109.64 m
- <u>En rampe</u> : d = 57.92+ (0.55×80) = 101.92 m
- <u>En pente</u> : d =75.73 + (0.55×80) =119.73 m

b) En courbe:

On a Vr = 80 km/h t = 2 s ➡ d = 1.25d0 +0.55Vr

- <u>En palier</u> : d = 1.25×65.64 + (0.55×80) = 126.05 m
- <u>En rampe</u> : d = 1.25 ×57.92+ (0.55×80) = 116.38 m
- <u>En pente</u> : d =1.25×75.73 + (0.55×80) = 138.66 m

Dvdm = 320 mmdvdN = 480 m dmd = 200 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

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 (Vb) 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'usager (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 100 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.

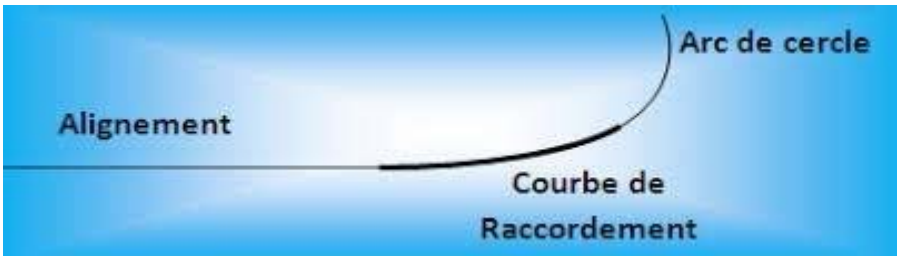


Figure n°6 :Elément du tracé en plan.

V.5.1. Alignements droit

Il existe une longueur minimale d'alignement $Lmin$ 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 $Lmax$ est prise égale à la distance parcourue pendant 60 secondes.

Avec V en (m/s).

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

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

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 longues alignements par une courbe courte s'est à dire de faible rayon

  Solution : augmenter le rayon de sa courbe.

V.5.2. <u>Les arcs de cercle</u>

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 provoque une instabilité du système, afin de réduire l'effet de la force centrifuge en incline la chaussée transversalement vers l'intérieure du virage (éviter le phénomène de dérapage) d'une pente dite devers exprimée par sa tangente

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 RHm avec :

Environnement Devers	**Facile**	**moyen**	**Difficile**

Devers Minimal - **Cat 1-2** - **Cat 3-4-5**	**2.5%** **3%**	**2.5%** **3%**	**2.5%** **3%**
Devers Maximal - **Cat 1-2** - **Cat 3-4** - **Cat 5**	**7%** **8%** **9%**	**7%** **8%** **9%**	**7%** **7%** **9%**

Tableau n°14: Devers en fonction de l'environnement.

V.6) Courbes en plan :

V.6.1. Lerayon 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

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

V.6.2.Le rayon minimal normal RHN :

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

$$RHN = \frac{(Vr+20)^2}{127(d+ft)}$$

V.6.3.Le rayon au devers 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 Vr 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 = Vr et présente un dévers vers l'extérieur.

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

V.6.5 Détermination des dévers dm_{ax} et d_{min} :

	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°15 : Dévers.

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°16: 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°17: Valeur du coefficient « F''».

- **Tableau récapitulatif :**

Vitesse réf	100km/h

dmax	**7 %**
dmin	**-2,50 %**
d=dmax-2%	**5 %**
Ft	**0,13**
f''	**0,06**

Tableau n°18 : Tableau récapitulatif des paramètres cinématiques.

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

RHm =	**250,00 m**	**RHN =**	**400,00 m**	**RHd =**	**1000,00 m**	**RHnd =**	**1500,00 m**
d(RHm)=	**7,0%**	**d(RHN)=**	**5,0%**	**d(RHd) =**	**2,5%**	**d(RHnd) =**	**-2,5%**

Tableau n°19 : Les rayons en plan selon B40.

$$Rhm = \frac{Vr^2(Km/h)}{127(d+Ft)} Rhm = \frac{80^2}{127(0.13+0.07)} = \boxed{251.96\ m}$$

$$RHN = \frac{(Vr+20)^2(Km/h)}{127(d+Ft)} RHN = \frac{(80+20)^2}{127(0.13+0.05)} = \boxed{437.44\ m}$$

$$RHd = \frac{Vr^2(Km/h)}{127\times2\times d} RHd = \frac{80^2}{127\times2\times0.025} = \boxed{1007.87\ m}$$

$$RHnd = \frac{Vr^2(Km/h)}{127(F''-dmin)} RHnd = \frac{80^2}{127(0.06-0.025)} = \boxed{1439.82\ m}$$

On remarque que les valeurs calculées correspondant réellement aux valeurs du tableau N°20(normesB40).

V.6.4.<u>Visibilité en courbe</u>

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 largueur

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 R : 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

On pose: 1/**C = A² => L.R = A²**

V.7.3. Elément de la Clothoïde

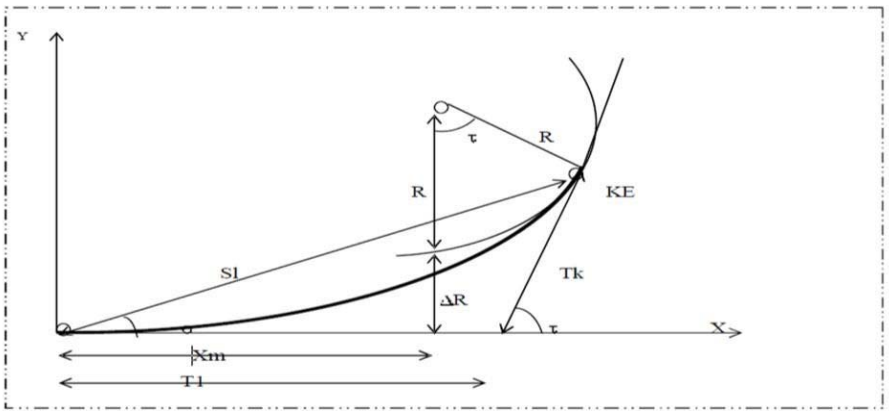


Figure n°7 :Elément de la Clothoïde

R : rayon du cercle.

KA: origine de la Clothoïde.

KE : extrémité de la Clothoïde.

ΔR: ripage : $\Delta R = L^2 / 24 * R$

τ: angle des tangentes :

$\boldsymbol{\tau} = L /2* R$

T_C : tangente courte.

T_L : tangente longue

σ: angle polaire.

SL : corde KE KA.

M: centre du cercle d abscisse Xm.

Xm: abscisse du centre du cercle M à partir de KA.

Ym: ordonnée du centre du cercle M à partir de KA.

X: abscisse de KE

Y : ordonnée de KE

V.7.4. Longueur de 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 :

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

$\tau = L/2R > 1/18 rads \longrightarrow L > R/9$ soit $A > R/3$

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

Règle générale (B40) :

- $R \leq 1500m$ $\Delta R = 1m$ (éventuellement $0.5m$)

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

- $1500 < R \leq 5000m$

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

- $R > 5000m$ $\Delta R = 2.5\ m$

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

<u>Condition de gauchissement :</u>

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

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

L : longueur de raccordement.

l :Largeur de la chaussée.

Δd : variation de dévers.

<u>Condition de confort dynamique :</u>

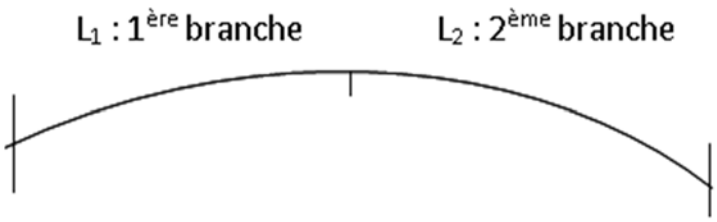
Cette condition consiste à limiter le temps de parcours t du raccordement et la variation par unité de temps de l'accélération transversale d'un véhicule.

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

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

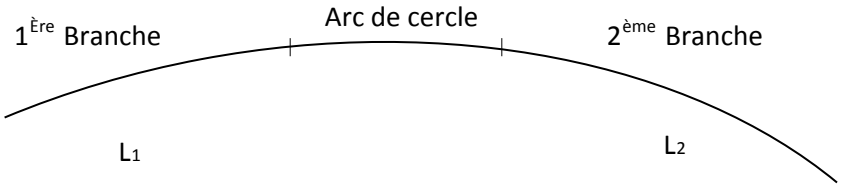
V.7.5- <u>Vérification de non chevauchement</u>

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



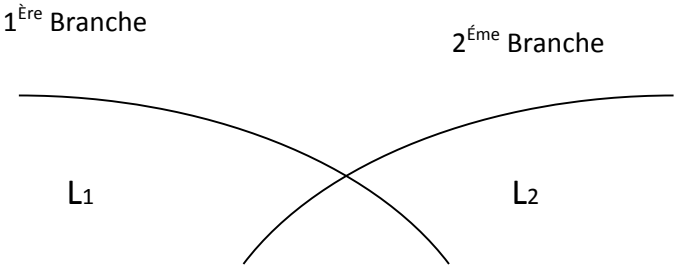
Clothoïde sans arc de cercle :

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



Clothoïde avec arc de cercle :

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



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.

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 vertical > 6 × R 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 inférieur 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°20 :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 :

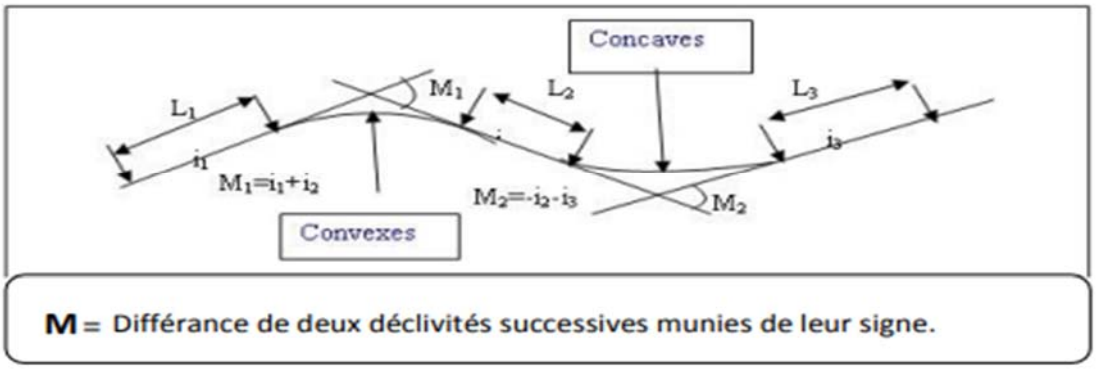


Figure n°8 :Raccordement convexe et concave.

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 :

$v^2 / Rv < g / 40$ avec $g = 10$ (m /s²) et $v = V/3,6$

D'où :

$Rvmin \geq 0,30\ V2$ (cat 1-2).

$Rvmin \geq 0,23\ V2$ (cat 3-4-5).

Tel que :

Rv : c'est le rayon vertical (m) et V : 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.

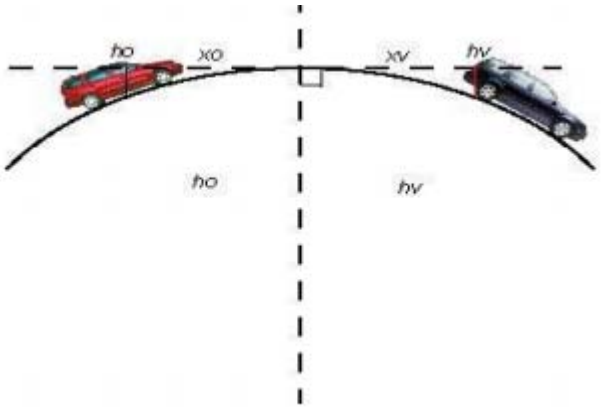


Figure n°9 :Visibilité.

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

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

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 :

$\mathbf{h_0}$=1,1 m, $\mathbf{h_1}$= 0,15 m

On trouve : $Rv = a d_1^2$ 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 $\boldsymbol{Vb}$=100 (Km/h) et pour la catégorie 1-2 on a :

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

Tableau n°21: 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 :

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

Dans notre cas :

Rayon	Symbole	Valeur
M in -absolu	**Rvm1**	**2500**
M in - normal	**RVN 1**	**6000**
Dépassement	**RVD**	**11000**

Tableau n°22 : 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 P_1 de la droite (AS).

• Donnée la pente P_2 de la droite (DS).

• Donnée le rayon R.

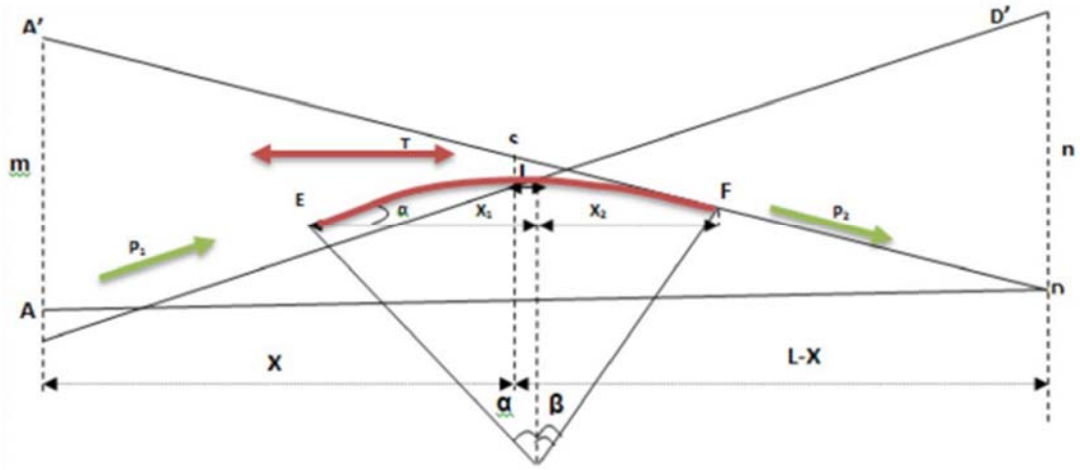


Figure n°10 :Détermination du profil en long.

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 :

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

S $X_S = X + X_A$.

$Z_S = P_1.X + Z_A$.

VI.7.2. Calculs de La tangente :

$$T=\frac{R}{2}|P1-P2|$$

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.

$$E\begin{cases} X_E = x_s - T \\ Z_E = z_s - T.P_1 \end{cases} \quad ; \quad F\begin{cases} X_F = x_s + T \\ Z_F = z_s - T.P_2 \end{cases}$$

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 :

$$M \begin{cases} H_X = x^2 / 2R \\ Z_M = Z_B + X_{p1} - X^2 / 2R \end{cases}$$

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

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

X1=Rp1 ; X2= Rp2J $\qquad$ $X_J = X_E + R.P_1$

$$\begin{cases} X_j = X_E + R.P_1 \\ Z_j = Z_E + X_1.P_1 \frac{X_1^2}{2R} \end{cases}$$

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 :**

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

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

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

R_V=15000 m.

$$T=\frac{15000}{200}|0.75-0.54|$$

T = 15.75 m

La longueur L du raccordement verticale :

L = 2 × T

L = 2×15.75

L =31.5 m

La flèche F :

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

$$F=\frac{15.75^2}{2(15000)}$$

F = 0.008 m

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	-0.54 0.75	Saillant	Sens contraire	15000	**15.75**	**31.5**	**0.008**
S2	0.25 -0.54	Saillant	Sens contraire	10000	**39.5**	**79**	**0.07**
S3	0.51 0.25	Rentrant	Même sens	9250	**12.02**	**24.04**	**0.007**
S4	-1.17 0.51	Rentrant	Sens contraire	10000	**33**	**66**	**0.05**
S5	0.32 0.78	Rentrant	Même sens	7500	**17.25**	**34.50**	**0.02**
S6	0.8 0.32	Saillant	Même sens	6500	**15.6**	**31.2**	**0.01**
S7	0.21 0.8	Rentrant	Même sens	9500	**28.02**	**56.04**	**0.04**
S8	-0.02 0. 2	Rentrant	Sens contraire	4000	**3.6**	**7.2**	**0.002**

S9	0.29 0.02	Saillant	Même sens	30000	**40.5**	**81**	**0.03**

Tableau n°23 :Valeurs de la tangente et de la flèche.

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 :

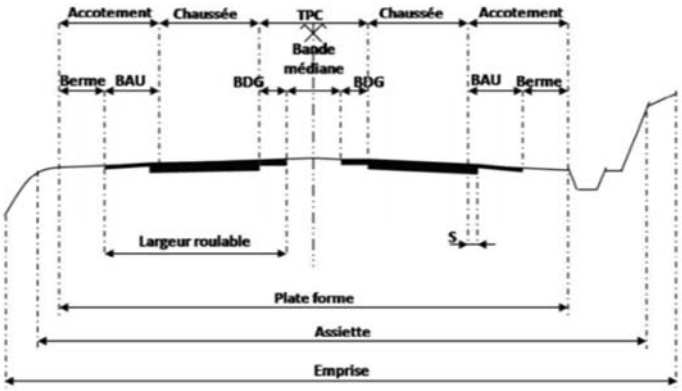


Figure n°11 :Eléments du profil en travers.

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.

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.

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 distances régulières (10, 15, 20,25m..). Qui servent à calculer les cubatures.

VII.4. Application numérique au projet :

Après l'étude de trafic, le profil en travers type retenu pour la pénétrante sera compose d'une chaussée unidirectionnelle. Les éléments du profil en travers types sont comme suit :

Chaussée :**3.5×2=7,00 m.**

Accotement **1,50×2=3,00 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.

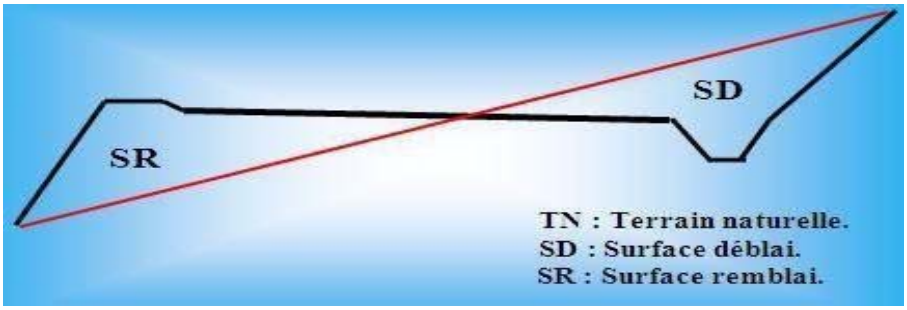


Figure n°12 : Volume déblai, remblai.

VIII.3.1. <u>Formule de Mr SARRAUS</u> :

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

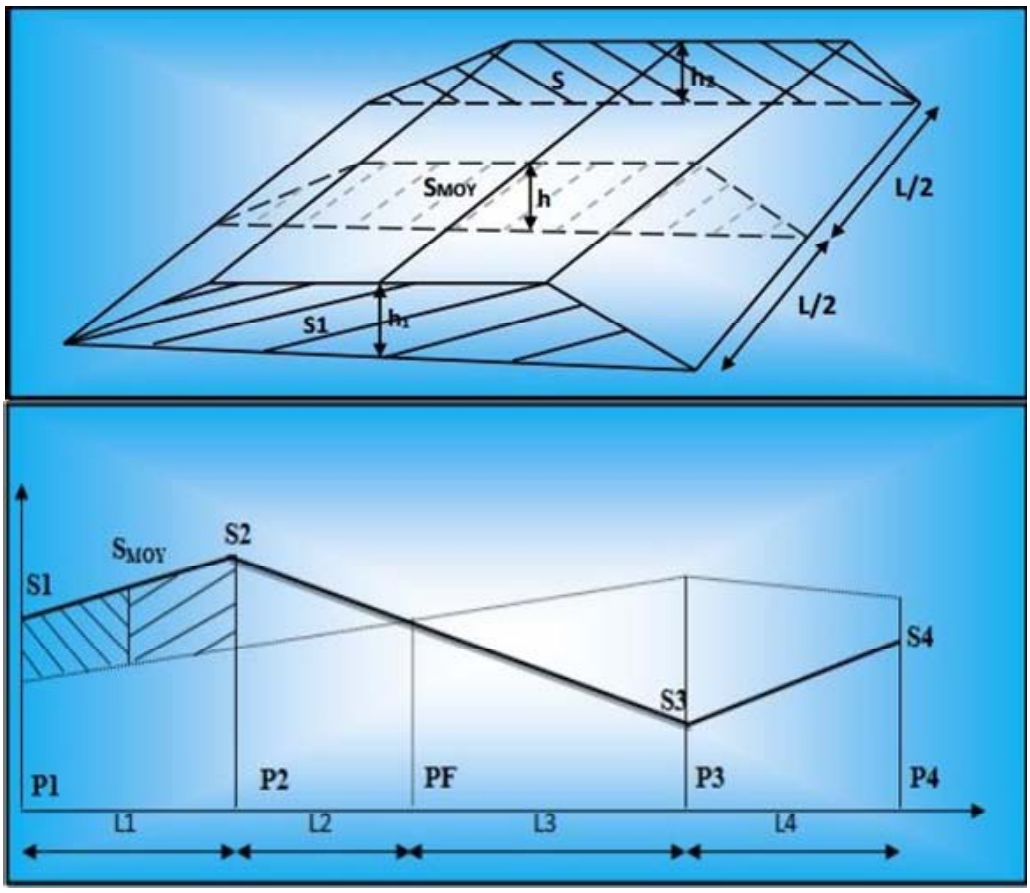


Figure n°13 : Calcul volume déblai ; Remblai.

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

PF : profil fictive, surface nulle.

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

Pour éviter des calculs très long, on simplifie cette formule en considérant comme très voisines les deux expressions **S_{MOY}** et **$(S_1+S_2)/2$** ; Ceci donne **:**

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

Donc les volumes seront :

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

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

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

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

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

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

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 =**6.000** m³

Volume des déblais : $\boldsymbol{V_D}$ =**2.100 m³**

Volume des remblais : $\boldsymbol{V_R}$ =**22.487,50m³**

Excès de remblai**: = 20.387,50 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 sue 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.

- **Des intempéries**

Les variations de la température peuvent engendre dans les solides élastiques des champs de contrainte et engendre 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 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.

❖ **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. <u>Les différentes catégories de chaussée</u>

Il existe deux catégories de chaussées :

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

Structures de chaussée

Structure souple	Structure semi rigide	Structure rigide
• B.B • G.N.T • SOL SUPPORT	• B.B • G.T +G.B ou G.T • SOL SUPPORT	• BETON DE CIMENT • G.T • SUPPORT

Figure n°14 : Les différentes catégories 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 15cm.

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 :

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

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 :

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

$a_1 \times e_1$: couche de roulement

$a_2 \times e_2$: couche de base

$a_3 \times e_3$: couche de fondation

Où :

a1, a2, a3 : coefficients d'équivalence.

e_1, e_2, e_3 : épaisseurs réelles des couches.

Coefficient d'équivalence

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

Matériaux utilises	**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°24: 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**$TJMA_0$= 10.700v/j**
- Le trafic a l'année de mise en service 2021**TMJA = 32100 v/j**
- Le taux d'accroissement annuel du trafic noté **τ = 5%**

- La vitesse de base sur le tracé V_b**= 80 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 de **20 ans**
- **ICBR = 9 (terrain désertique)**

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

N1 = TMJA2021 × %PL

N1 = 32100 × 0.4 = 12840 VPL/J

Calcul du trafic du VPL a l'année horizon :

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

$\mathbf{N_{20}} = 12840(1+0.05)^{20} = 34068.34$ VPL/J

2) Calcul d'épaisseur théorique :

On a C.B.R= 9

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

$$e = \frac{100+(\sqrt{6.5})(75+50\ log\frac{34068.34}{10})}{8+5}$$

e = 52.9≈ 53

<u>Calcul des épaisseurs des différentes couches :</u>

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

$$e = \sum_i^n Ci\ ei$$

On propose les matériaux suivants de chaque couche :

<u>Couche de roulement « Béton bitumineux à performance modifié BBPM</u> »

D'après le tableau ci-dessous

a1 = 2.00

e1 = 2×7 = 14 cm

Couche de Fondation« Grave Non Traité GNT » :

a_3 = 1x20 = 20 cm

Epaisseuréquivalente :

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

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

$e = 7 \times 2 + 20 \times 1 + e_3 \times 0{,}6 =$ **53 cm**

$e_3 = [53 - (6 \times 2 + 16 \times 1.5)] / 0.6$ **=29cm**

$e_3 = 29 \times 0.6 =$ **17.4 cm**

Donc l'épaisseur réelle est de

7(BBPM) + 20(GNT)+25 (tuf)

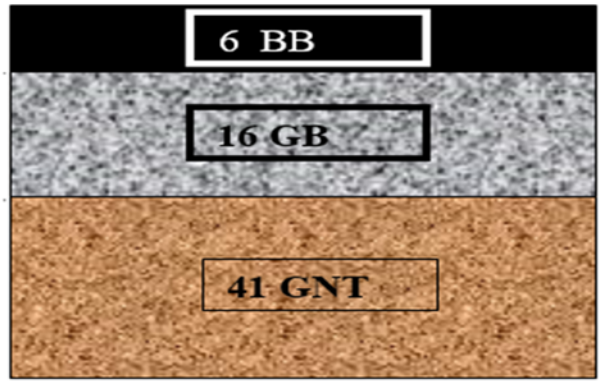


Figure n°15: Les couches du corps de chaussée

.

Chapitre X

Etude Géotechnique

X.1Introduction :

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 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

$$W = \frac{Ps}{Ph} x\ 100$$

❖ **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.

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

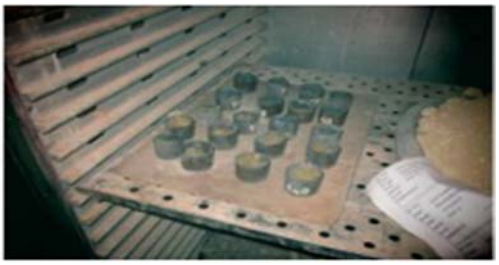


Figure n°16:Matériels d'essai teneur en eau.

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 : $\gamma ds = Ws / V$

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.

Par deux méthodes :

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

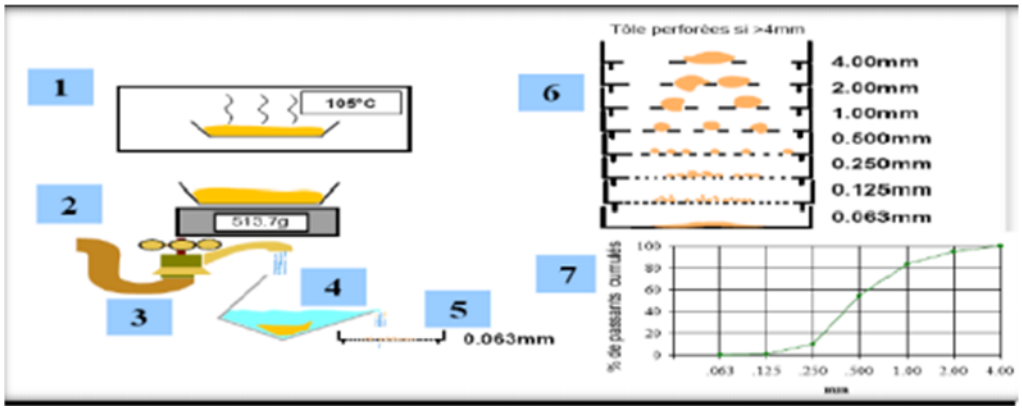


Figure n°17 :Analyse granulométrique.

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 agglomères 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, pinceaux.
- 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 °C ± 5 °C.
- Un dispositif de lavage.
- Colonne de tamis.

Figure n°18 :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)

Figuren°19 :Méthode d'essai.

f. Mode opératoire :

1- Mode opératoire N°1 :

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

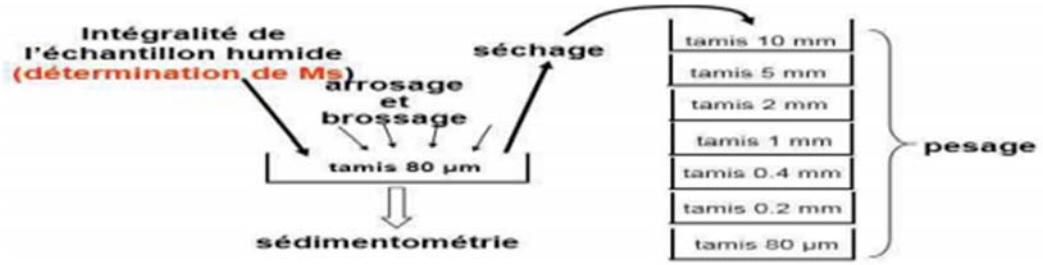


Figure n°20 :Mode opératoire 01.

2- Mode opératoire N°2 :

Pesage des refus cumulés (Ri) :

- R1, (R1 + R2), R1 + R2 + R3, … etc

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

- R1 / Ms = PR1
- (R1 + R2) / Ms = PR2
- (R1 + R2 + R3) / Ms = PR3 … etc

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

- T1 = 1 - PR1
- T2 = 1 - PR2
- T3 = 1 - PR3

La figure suivante représente le deuxième mode opératoire :

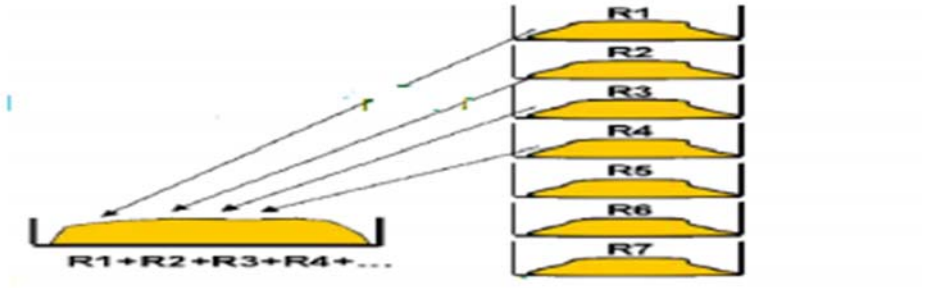


Figure n°21:Mode opératoire 2.

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 floculent.

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 floculat et de la partie sableuse sédimentée.

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 floculent et l'élément sableux qui sédimentent.

c. Principe :

L'essai consiste à verser un échantillon de sable et une petite quantité de solution floculant 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 floculant 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

Figuren°22: 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.

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 g ± 1 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 h_2
- Refaire l'essai 3 fois.

Figuren°23: 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 léguèrent 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°25: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 a 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 IL fournit une approche inverse de l'indice de consistance relative Relation entre ces différents facteurs :
    - $I_c = WL - WIp$
    - $I_L = W - WpIp$
    - $I_p = WL - Wp$

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 WL 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 WP 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.
- 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

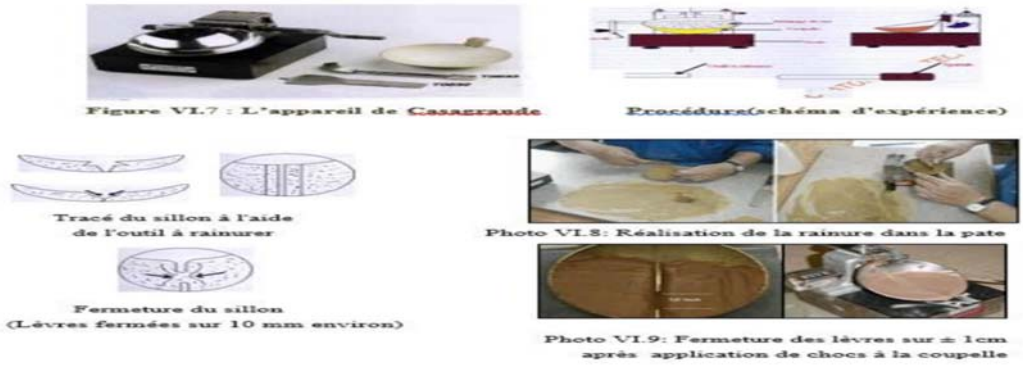


Figure n°24 :*Matériels utilisés.*

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 :
- 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 ; Mi, (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 Mv et on pèse l'ensemble Meh (tare+sol humide telle que Mh = Meh - Mv) puis on pose dans l'étuve et après 24 heures (la durée de séchage) on pèse mon échantillon Mes (tare+sol sec telle que Ms = Mes - Mv).

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 soumirent 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)

Figuren°25 : 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 amendâtes mais pas sur les sols.

b. But de l'essai :

Un calcimètre permet de mesure 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.

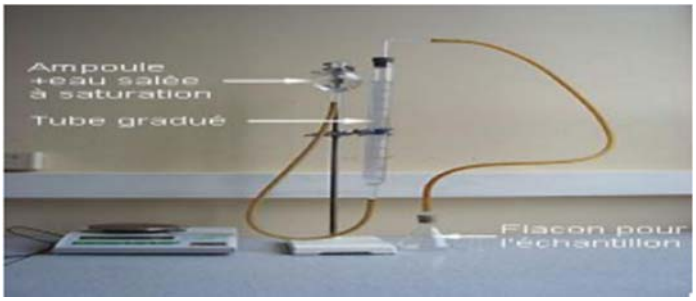


Figure n°26 : Appareillage.

d. Préparation de l'échantillon :

- Prélever une masse m=50g de l'échantillon.
- Tamiser l'échantillon au tamis 0.2mm.
- Peser une masse m1 à partir de la masse m. (Voir figure)

Figuren°27: Tamisage de l'échantillon.Figuren°28 : Pesé l'échantillon.

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 calcimétre.
- 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.
- Répété 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°29 : Mode opératoire de l'essai carbonate.

La qualification de l'horizon dépende 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

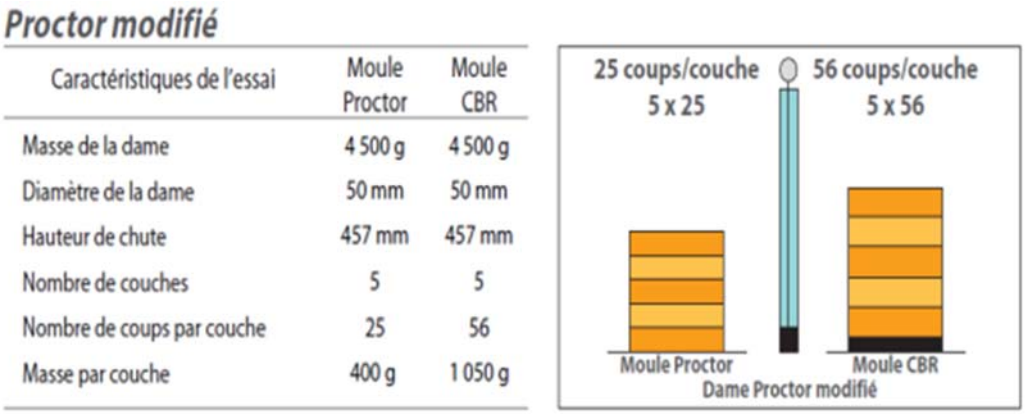
Tableau n°26: Qualification des horizons en fonction de leur teneur en calcaire total selon le GEPPA.

II. X.5.2Essais mécaniques :

1) Essai Proctor modifie : 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)



Proctor modifié

Caractéristiques de l'essai	Moule Proctor	Moule CBR
Masse de la dame	4 500 g	4 500 g
Diamètre de la dame	50 mm	50 mm
Hauteur de chute	457 mm	457 mm
Nombre de couches	5	5
Nombre de coups par couche	25	56
Masse par couche	400 g	1 050 g

Figure n°30: 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 _d varie et passe par un maximum pour une teneur en eau déterminée (dite optimale Wopt).

d. Appareils utilisés :

- Un moule Proctor et CBR
- Une dame Proctor et CBR
- Une règle à araser
- Un disque d'espacement, étuve
- Une burette, balance,
- Une éprouvette, truelle, un bac et un tamis de 5 et 20 (Voir figure)

Figure n°31 :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°32 : 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.

Figuren°33: **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 fretter 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 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).

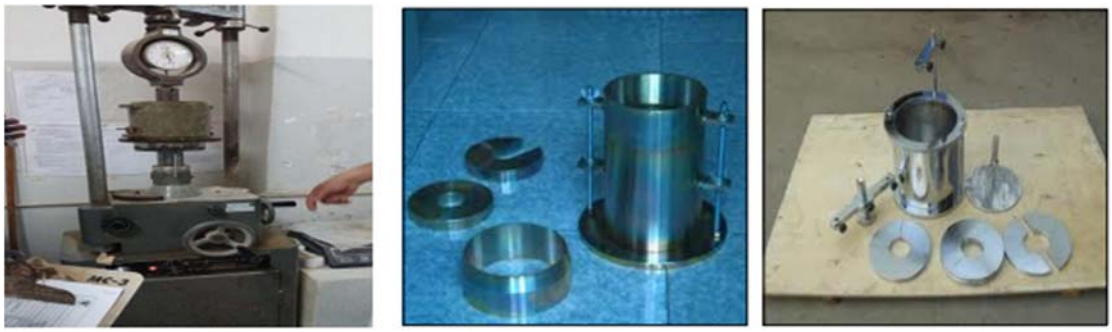


Figure n°34 :Matériels d'essai CBR.

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.5.3Essais 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≤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 y et d'un détecteur de particules protégés l'un et l'autre par des blindages tels que toutes les radiations prouvant de la source pénètrent dans le sol et que seules les radiations provenant du sol atteignent le détecteur.

Figure n°35 : **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 Ep, 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.
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 a+ 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 OPRATOIRE :

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°36 : 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 utilises peuvent être regroupées 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 cout 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 amant de la plate-forme (Danger de diminution de l'importance de celle-ci et effet de gel).

XI .3.Assainissement de la chaussée

Les ouvrage 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 cout.

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 regardes de drainage et en dernier lieu dans les points de rejet.

Descentes d'eau :

Dans les sections route en remblai, lorsque la hauteur de ces remblais dépasse les 2.50m, les eaux de ruissellement de la chaussée sont évacuées par des descentes d'eau.

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

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 80à 100m.

d) **Sacs :**

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

- 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.

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 sure et plus facile la circulation routière.
- ✓ De rappeler certaines prescriptions du code de la route.
- ✓ D'indique 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.

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.

La signalisation horizontale se divise en trois types :

Marquages longitudinales :

- **Lignes continues :**

Elles ont un caractère impératif (non franchissables sauf du coté ou 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 **T'1**	**3.00** **1.50**	**18 cm**	**10.00** **5.00**	**Environ 3**
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°27 :Modulation de la ligne continue.

- **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 doive suivre la direction indiquée.

✓ Pour piétons,

✓ Pour cyclistes,

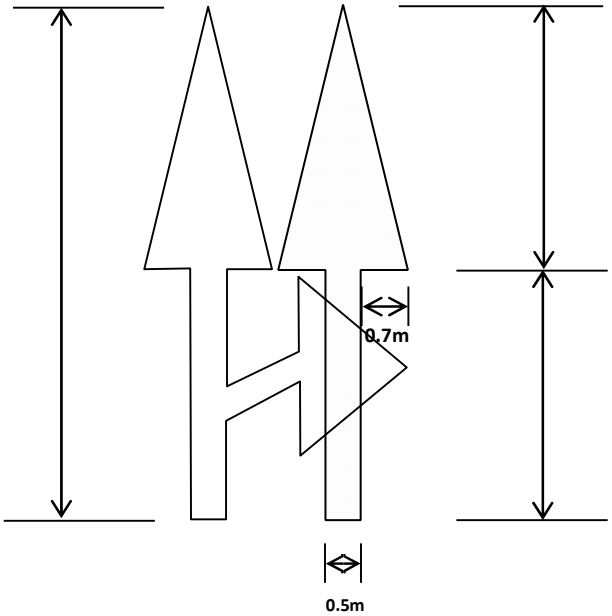
✓ Pour le stationnement,

✓ Pour les ralentisseurs de type dos d'âne.

XII.1.5. Application au projet

A. Les signalisations horizontales :

❖ **<u>Flèche de sélection</u>** :



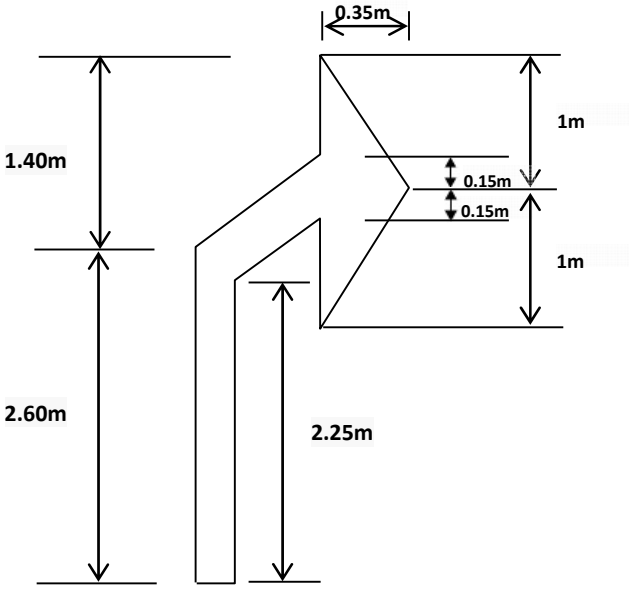


Figure n°37 :Flèche de sélection.

❖ **<u>Marque sur la chaussée</u> :**

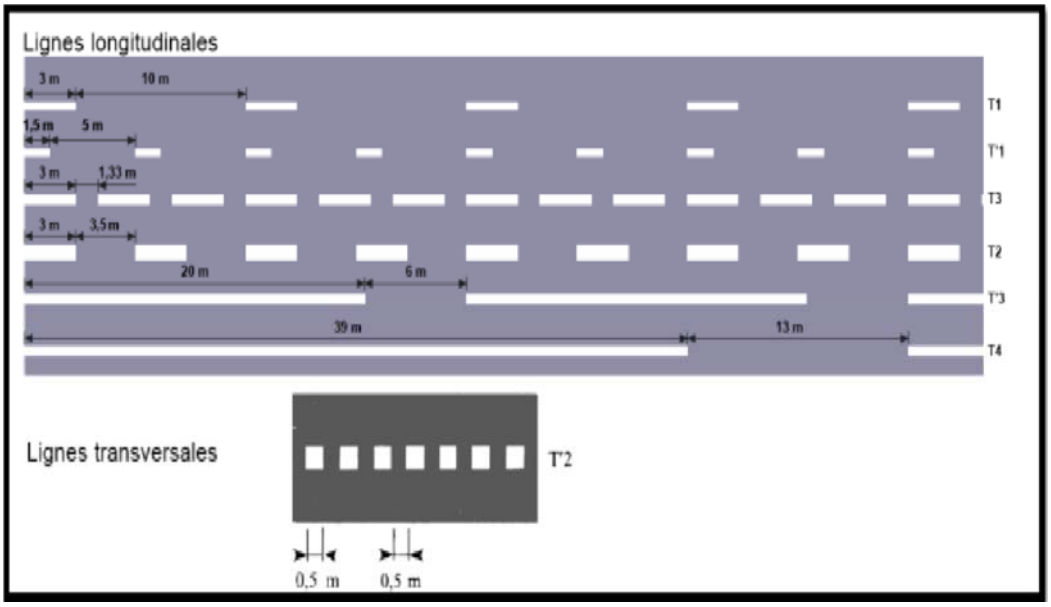


Figure n°38: Marque sur la chaussée.

❖ **<u>Flèche de rabattement</u> :**

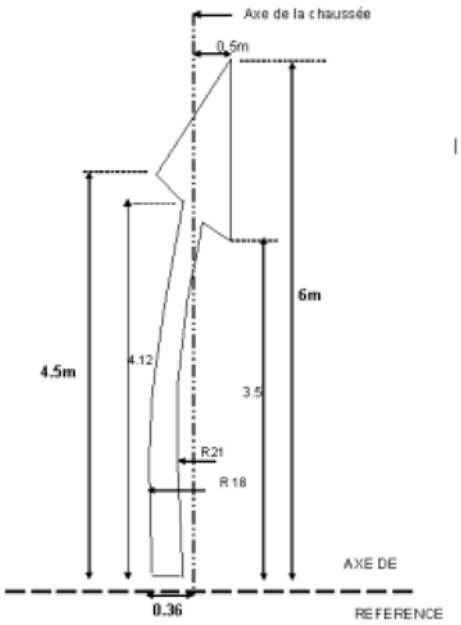


Figure n°39 :Flèche de rabattement.

❖ **<u>Schéma de signalisation stop sur chaussée</u> :**

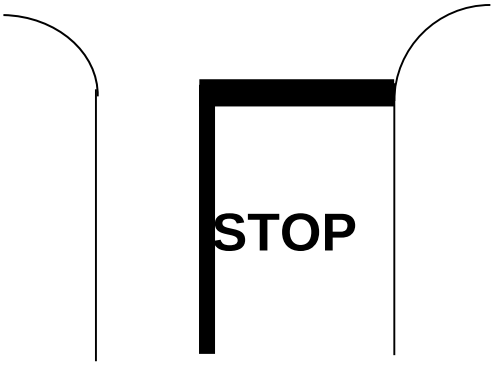


Figure n°40 :Schéma de signalisation stop sur chaussée.

❖ **<u>Schémas de marquage par hachures (sur le nez d'ilot)</u> :**

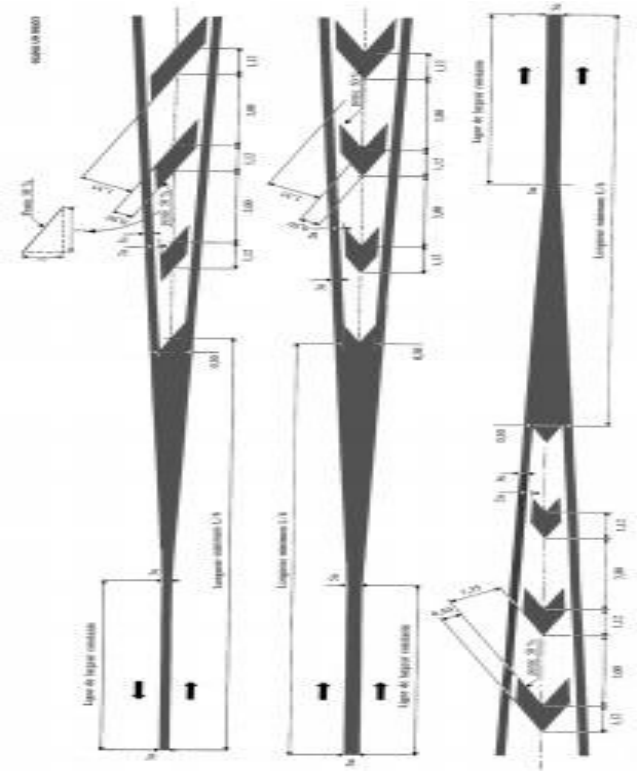


Figure n°41 : Schémas de marquage par hachures (sur le nez d'ilot).

B. **<u>Les signalisations verticales</u> :**

<u>Plaques de signalisation</u> :

- **Les signaux de danger type A :**

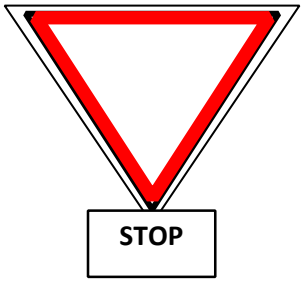
A1a

A1b

A1c

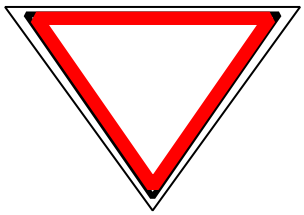
A1d

A22



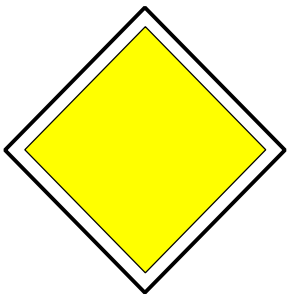
A23

- **Les signaux d'intersection et de priorité type B :**



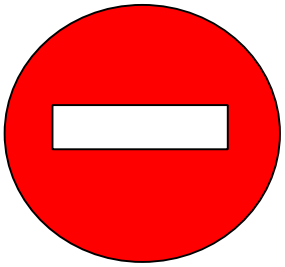
B1

B2



B3

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



C1

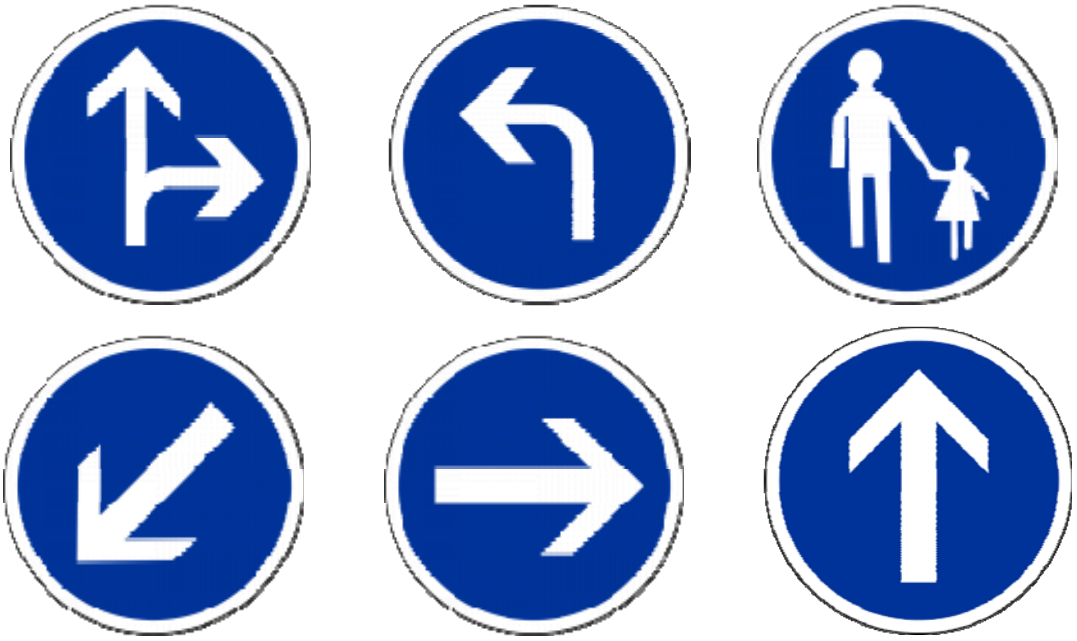
C11a

C7

C9

C8

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



- **<u>Panneaux spéciaux type A</u> :**

Figure n°42 :Panneaux spéciaux (type A).

❖ **<u>Signaux d'identification des routes type E</u> :**

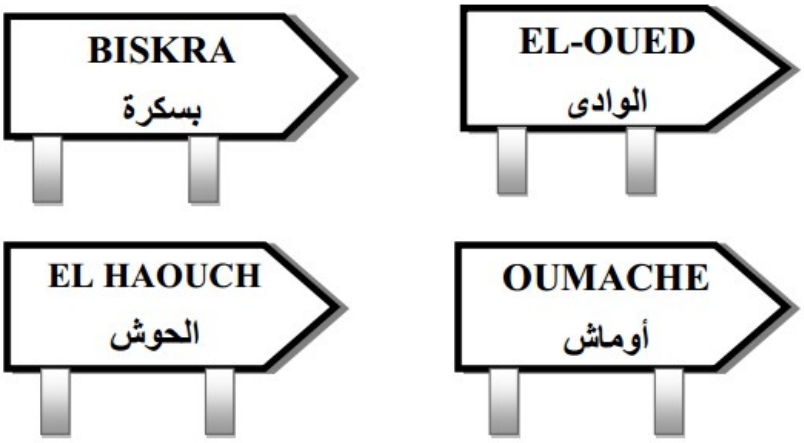


Figure n°43 : Les signaux d'identification des routes (type E).

<u>XII.2.1. Eclairage</u>

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.

<u>XII.2.2. Catégorie d'éclairage</u>

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).

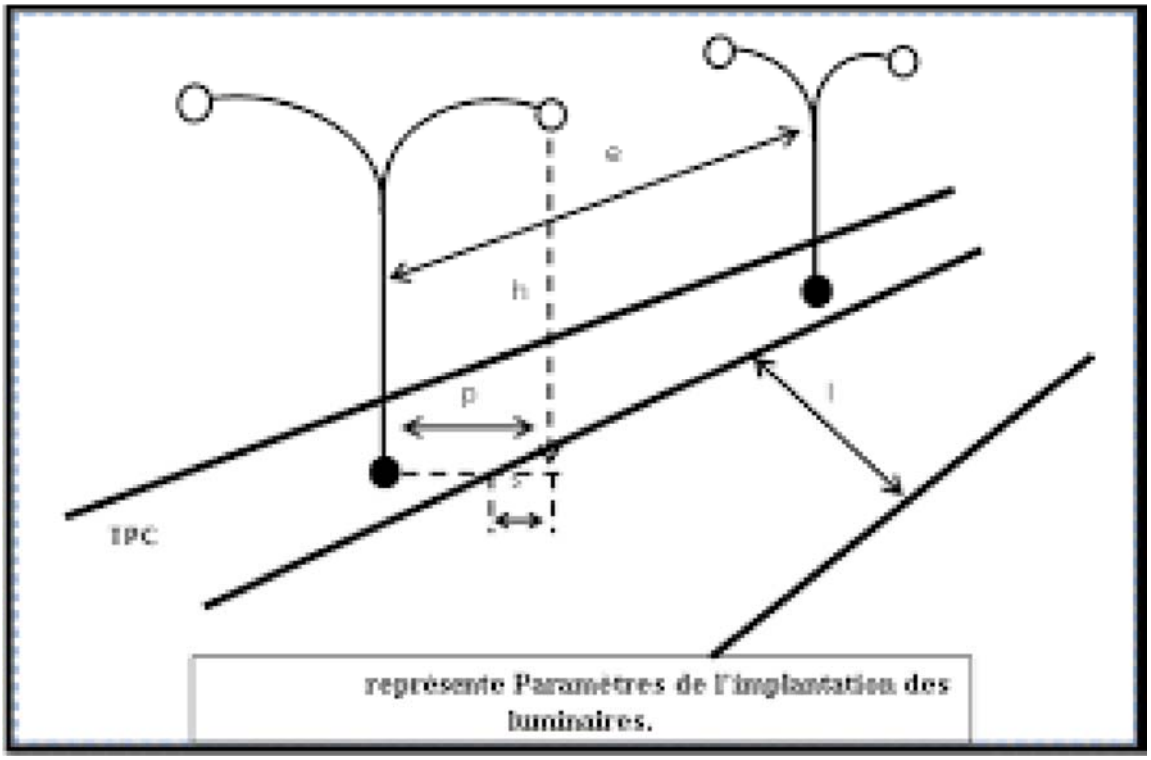
3) **Catégorie C :** Eclairage des voies de cercle.

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.



représente Paramètres de l'implantation des luminaires.

Figure n°44 :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 suivant :

- 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.

- 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.

XIV. Devis Quantitatif et Estimatif

N°	Désignation des Travaux	U	Quantité	P.U (H.T)	Montant
A	Terrassements				
1	Déblais en terrain semi rocheux	M^3	100.00	1 500.00	150 000.00
2	Déblais en terrain rocheux	M^3	800.00	4 000.00	3 200 000.00
3	Déblais mis en dépôt	M^3	2100.00	400.00	840 000.00
4	Remblai en provenence d'emprunt	M^3	22487.50	1 100.00	24 735 250.00
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	30600 000.00
7	Imprégnation en cut-back 0/1	M^2	30000.00	150.00	4500 000.00
8	Couche de roulement en béton bitumineuxa performance modifié sur 7 cm (Réalisée au finisher équipé d'un palper électronique)	T	6720.00	10 000.00	67 200 000.00
9	Rechargement des accotements en matériaux choisi	M^3	1800.00	1 200.00	2160 000.00
10	Signalisations horizontale	ML	9000.00	100.00	900 000.00
			TOTAL EN HORS TAXES		143 285 250.00
			TVA 19%		27 224 197.50
			TOTAL EN T.T.C.		170 509 448.00

ARRETE LE MONTANT DU PRESENT DEVIS EN TTC A LA SOMME DE **:Cent Soixante Dix Millions Cinq Cent Neuf Mille Quatre Cent Quarante Huit Dinars Algériens En Tout Taxes Comprises**

Conclusion

Ce présent travail était l'occasion pour perfectionner nos modestes connaissances dans le domaine des routes. C'est un travail de base qu'on vient de réaliser, il est d'une utilité incontestable parce qu'il nous a confrontés à certains problèmes routiers et nous a permis entre autre de tirer profit des expériences des personnes qualifiées dans le domaine des routes en particulier et des travaux publics en général.

Dans notre projet nous avons essayé d'opter pour un tracé en plan judicieux avec une ligne rouge qui respecte l'économie, la sécurité et le confort des usagers de la route tout en respectant les normes imposées par la B40.

Cette étude nous a permis d'appliquer les connaissances théoriques acquises pour cerner la majorité des problèmes réels existants concernant l'étude et la réalisation des projets routiers. Ça été une occasion pour nous d'approfondir nos connaissances et de mieux maîtriser l'outil informatique en l'occurrence les logiciels AUTO CAD et COVADIS.

Bibliographie

- B40 Normes Techniques d'Aménagement des Routes.
- Les cours de routes « 3ème année licence et 1ère année master » de l'université d'Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.
- https://www.cfmr-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.