

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID-TLEMCEEN
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de MASTER en Génie civil
Option : Infrastructure de base et géotechnique- Travaux Publics

Thème :

***ETUDE DE RACCORDEMENT ROUTIER YAGHMORACEN
BEN ZIANE –ABDLMOUMEN BEN ALI A LA RN 22***

Présenté le 12 Juin 2017 par :

**ALLAM Fadlallah Amine
KORIB Chemseddine**

Devant le jury composé de:

Présidente : M^{me} HAKIKI.K
Encadrant : M^r BENAMAR.A
Examineur : M^r MAACHOU.O
Examinatrice: M^{elle} BOURABAH.M.A

Année Universitaire 2016-2017



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Que Dieu soit loué...Je dédie ce mémoire :

A mon Grand père, mon premier encadrant depuis ma naissance, à ma mère, qui m'a toujours poussé à aller de l'avant avec ses prières. Mon Père qui m'a guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin Je ne serai jamais assez reconnaissante envers eux.

A mes frères Fethallah et Tedjeddine et mes sœurs et mes neveux Alaâ et Manel et Oussama, qui m'ont accompagné de leur amour. .

Toutes personnes qui ma aider à poursuivre mes études mon binôme chamseddine ainsi toute sa famille.

Toute la famille : ALLAM et BARKA

A tous mes amis depuis mon enfance.

A mes amis faycal Amine Zaki Mimo..... .

A toute la promo de Génie Civil dont je fais partie.

A mes professeurs tout au long du cycle de mes études.

A cette terre, notre chère et bien-aimée Algérie, qui m'a vu naître.

ALLAM.F

LOUANGE À DIEU QUI M'A AIDÉ AU COURS DES PISTES
ACADÉMIQUES, ET NOUS AVONS DONNÉ LE COURAGE, LA
VOLONTÉ ET LA PATIENCE POUR ARRIVER À CE STADE AFIN DE
REALISER CE MODESTE TRAVAIL.

JE DÉDIE CE LAPIDAIRE TRAVAIL :

À MES TRÈS CHERS PARENTS POUR LEUR SOUTIEN LES
SACRIFICES ET TOUS LES EFFORTS CONSENTIES POUR MON
ÉDUCATION ET MA FORMATION.

À MES CHERS FRÈRES, ET MA TRAIÈ CHÈRE SŒUR.

TOUE MA FAMILLE.

À TOUS MES COLLÈGUES ET MON BINÔME ALLAM.F

TOUTE LA PROMOTION 2017

KORIB.C

REMERCIEMENTS

Toute notre parfaite gratitude et remerciement à Allah le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour accomplir ce travail.

Nous adressons nos remerciements aux personnes qui nous ont aidés dans la réalisation de ce mémoire.

En premier lieu, nous remercions notre encadreur Monsieur BENAMAR .A. pour son soutien, ses conseils judicieux et ses grandes bienveillances durant l'élaboration de ce mémoire.

Nous tenons à adresser nos reconnaissances à tous les membres du jury d'avoir accepté de lire, de présider et d'examiner ce mémoire et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme de ce travail.

Nous exprimons aussi nos remerciements à l'ensemble des enseignants du département de génie civil qui ont contribué à notre formation d'ingénieur en génie civil.

Enfin, nous ne saurions terminer ces remerciements sans y associer nos familles, nos amis et toute personne qui, de près ou de loin, nous a apportée son aide ou sa sympathie.

RESUME :

La route joue un rôle moteur très important dans l'aménagement du territoire, elle favorise l'implantation d'activités économiques et industrielles et réduit les coûts de transport et donc la production.

Notre projet de fin d'étude est du domaine d'infrastructure des transports, il s'agit d'une étude technique d'un raccordement routier qui relie les deux localités YAGHMORACEN BEN ZIANE –ABDLMOUMEN BEN ALI à la RN22 sur un linéaire de 2km 202m, situé à TLEMCEN dans un milieu urbain.

Ce mémoire est structuré en deux grandes parties :

La première partie, une présentation du projet et étude du trafic et dimensionnement du corps de chaussée.

En suite, la deuxième partie qui comporte la géométrie de la route (tracé en plan, profil en long, les profils en travers), ainsi que les différents équipements à savoir l'assainissement et la signalisation.

Mots clés :

Trafic – aménagement – géométrie – signalisation – assainissement.

ABSTRACT:

The road plays the role of a very important basic engine in transforming the territory .It allows for economic, industrial, rehabilitation, transport and production activities.

Our thesis is integrated in the field of transport's infrastructure; it is the link between the two Localities YAGHMORACEN BEN ZIAN –ABDLMOUMEN BEN ALI and RN22 over a length of 2 km 202 m, and the project is located in Tlemcen in an urban environment.

This thesis is divided into two parts:

The first part, an overview of the project, including the study of traffic and sizing of the road structure.

The second part includes the geometry of the road (outline –long profile-cross section) as well as different equipments namely sanitation and road signs.

Keywords :

Traffic –planning- geometry- signaling- sanitation.

ملخص :

الطريق تلعب دور أساسي في التخطيط الارضي تسمح بالقيام بالنشاطات الاقتصادية والصناعية وتعيد نشاط النقل وبالتالي الإنتاج.

يدخل مشروعنا ضمن مجال البنية التحتية للنقل يتمثل في دراسة تقنية للطريق الرابط بين منطقتي يغمرا سن بن زيان و عبد المؤمن بن علي نحو طريق الوطني رقم 22 على طول يبلغ 2 كلم 202 م . الواقعة يتلمسان و هو مشروع يقع في وسط حضري.

الجزء الأول : تقديم المشروع و دراسة حركة المرور و حساب و تحجيم أجزاء هيكل الطريق.

الجزء الثاني : تخطيط الطريق رسم المسقط العلوي – المقطع الطولي – المقاطع العرضية و مختلف المعدات (المجاري المائية – إشارات المرور).

الكلمات المفتاحية:

حركة المرور – تخطيط – علم الهندسة – إشارات المرور- المجاري المائية

LISTE DES TABLEAUX :

Chapitre I : présentation du projet.

Tableau (I-1) : Classification du relief en fonction de la dénivelée cumulée moyenne [5].....	04
Tableau (I-2) : Classification de la sinuosité moyenne [5].....	05
Tableau (I-3) : environnement en fonction du relief et de la sinuosité [5].....	05
Tableau (I-4) : Les longueurs des alignements droits et des courbes.....	06
Tableau (I-5) : Vitesse de référence en fonction de la catégorie et l'environnement E [5]	07

Chapitre II : Etude de trafic et dimensionnement du corps de chaussée

Tableau (II-1) : coefficient d'équivalence «P» [2]	11
Tableau (II-2) : valeurs de coefficient « K1 » [2]	12
Tableau (II-3) : coefficient de réduction de la capacité « K2 » [2].....	12
Tableau (II-4) : valeurs de capacité théorique du profil en travers en régime stable « C_{th} » [2]	13
Tableau (II-5) : Classification des trafics en France [13].....	22
Tableau (II-6) : Classe de trafic en fonction CAM de poids lourd [13]	22
Tableau (II-7) : L'importance de sol en fonction de l'indice de CBR [7].....	23
Tableau (II-8) : Les coefficients d'équivalence pour chaque matériau [7]	25
Tableau (II-9) : La classe du trafic poids lourd [13]	25
Tableau (II-10) : Classement de fonction de l'indice de CBR [7]	26
Tableau (II-11) : Tableau exprimé les classe de sol en fonction de la déflexion [7].....	29
Tableau (II-12) : épaisseur de couche de fondation en fonction de la portance du sol [7].....	29
Tableau (II-13) : Les zones climatiques de l'Algérie [5]	29
Tableau (II-14) : Récapitulatif des résultats	34

Chapitre III : Les caractéristiques géométriques de la route

Tableau (III-1) : Rayons du tracé en plan [6].....	42
Tableau (III-2) : Valeurs des sur largeurs [6].....	42

Tableau (III-3) : Les coordonnées des sommets et le rayon utilisé	49
Tableau (III-4) : La pente maximale en fonction de la vitesse de référence [13]	55
Tableau (III-5) : rayons verticaux pour un angle saillant [13]	56
Tableau (III-6) : Rayons verticaux pour un angle rentrant [13]	58

Chapitre IV : Les équipements.

Tableau (IV-1) : Variation de Gauss [23]	71
Tableau (IV-2) : Coefficient de ruissellement [23]	72
Tableau (IV-3) : caractéristique des lignes discontinues [22]	80
Tableau (IV-4) : Panneaux de signalisation de danger (type A)	81
Tableau (IV-5): Panneaux d'interdiction de priorité et d'obligation (type B)	82
Tableau (IV-6): Panneaux de signalisation d'intersection et de priorité (type AB)	82

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : présentation du projet.

Fig. (I-1) : Situation géographique de la wilaya [25].....	02
Fig. (I-2) : Plan de situation de la route [27]	03
Fig. (I-3) : La dénivelée cumulée moyenne h/L	04

Chapitre II : Etude de trafic et dimensionnement du corps de chaussée.

Fig. (II-1) : Chaussée souple [26]	20
Fig. (II-2) : Chaussée rigide [28].....	21

Chapitre III : Les caractéristiques géométriques de la route

Fig. (III-1) : Les éléments du tracé en plan [19].....	37
Fig. (III-2) : Force centrifuge [4]	39
Fig. (III-3) : Elément de la clothoïde [6]	44
Fig. (III-4) : Elément de clothoïde	49
Fig. (III-5) : Les éléments géométriques du profil en long [10]	55
Fig. (III-6) : Cas d'un rayon convexe	59
Fig. (III-7) : Profil en travers d'une chaussée bidirectionnelle [27].....	62
Fig. (III-8) : Profil en travers type remblai	63
Fig. (III-9) : Profil en travers type déblai	64
Fig.(III-10) : Profil en travers type mixte	64

Chapitre IV : Les équipements.

Fig. (IV-1) : Dalots [26]	73
Fig.(IV-2) : Fossés [26]	74
Fig.(IV- 3): Modulation des lignes longitudinales [18]	80
Fig.(IV-4) : Signalisation de direction(type E4)	82
Fig.(IV-5) : Caractéristiques géométriques du carrefour	83

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	01
I.1. PRESENTATION DU PROJET	02
I.1.1. Introduction	02
I.1.2. Présentation géographique de la wilaya.....	02
I.1.3. Aspect Administratif	03
I.1.4. Cadre de l'étude	03
I.1.5. Objectif de l'étude	03
I.1.6. Environnement de la route	04
I.1.7 .Application au projet	06
I.1.7.1.Type d'environnement	06
I.1.7.2 Vitesse de référence	06
I.1.8.Conclusion	07
CHAP II : ETUDE DE TRAFIC ET DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE.	
II.1. ETUDE DE TRAFIC	08
II.1.1. INTRODUCTION	08
II.1.2. L'ANALYSE DES TRAFICS EXISTANTS	08
II.1.2.1. La mesure des trafics	08
II.1.2.2. Les comptages	08
II.1.3 LES ENQUETES ORIGINE DESTINATION	09
II.1.4. DIFFERENTS TYPES DE TRAFICS	10
II.1.5. CALCUL DE LA CAPACITE	10

II.1.5.1 Définition de la capacité	10
II.1.5.2 Calcul de Trafic à l'horizon (TMJAh).....	11
II.1.5.3. Calcul du trafic effectif	11
II.1.5.4. Débit de pointe horaire normal	12
II.1.5.5. Débit horaire admissible	12
II.1.6. DETERMINATION DU NOMBRE DES VOIES	13
II.1.7. APPLICATION AU PROJET	14
II.1.7.1. Les données de trafic	14
II.1.7.2. Projection future de trafic.....	14
II.1.7.3. Calcul de trafic effectif	15
II.1.7.4. Débit de pointe horaire normale	15
II.1.7.5 Débit admissible	16
II.1.7.6.Le nombre des voies	16
II 1.8. CONCLUSION	17
II.2. DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE	18
II.2.1. INTRODUCTION	18
II.2.2. LA CHAUSSEE	18
II.2.2.1. Définition	18
II.2.2.2. Rôle de la chaussée	18
II.2.2.3. Les différentes couches de chaussée	18
II.2.2.4. Les différents types de chaussée	19
II.2.3.LES PRINCIPALES METHODES DE DIMENSIONNEMENT	21

II.2.3.1. Les facteurs déterminants pour études de dimensionnement	
de chaussée	21
II.2.3.2. Les méthodes empiriques	23
II.2.4.MATRIAUX CONSTITUANT DE NOTRE CHAUSSEE	30
II.2.4.1.Béton bitumineux « BB ».....	30
II.2.4.2.Grave bitume « GB »	31
II.2.4.3. Grave non traitée « GNT ».....	31
II.2.5. APPLICATION AU PROJET	33
II.2.6. CONCLUSION	35

CHAP III: CARRACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA ROUTE

III.1.INTRODUCTION	36
III.2.TRACE EN PLAN	36
III.2.1. DEFINITION	36
III.2.2.REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE EN PLAN	36
III.2.3.LES ELEMENTS DU TRACE EN PLAN	37
III.2.3.1.Les alignements	37
III.2.3.2.Arc de cercle	38
III.2.3.3.Stabilité en courbe	38
III.2.3.4.Rayon horizontal absolu (RHM)	39
III.2.3.5. Rayon minimal normal(RHN)	40
III.2.3.6.Rayon au devers minimal (RHD)	40
III.2.3.7.Rayon minimal non déverse (RHND)	40

III.2.3.8. Règles pour l'utilisation des rayons en plan	41
III.2.3.9. Sur largeur	42
III.2.3.10. Les raccordement progressifs (clothoïde)	43
III.2.3.11. Rôle et nécessité des courbes de raccordement	43
III.2.3.12. Types de courbe de raccordement	43
III.2.4. LES CONDITIONS DE RACCORDEMENT	45
III.2.4.1. Condition de confort optique	45
III.2.4.2. Condition de confort dynamique	45
III.2.4.3. Condition de gauchissement	45
III.2.5. NOTION DE DEVERS	46
III.2.5.1. Devers en alignement	46
III.2.5.2. Devers en courbe	46
III.2.5.3. Rayon de courbure	47
III.2.5.4. Calcul des devers	47
III.2.6. LA VITESSE DE RÉFÉRENCE (DE BASE).....	48
III.2.6.1. Choix de la vitesse de référence	48
III.2.6.2. Vitesse de projet	48
III.2.7. CALCUL D'AXE	48
III.2.7.1. Exemple de calcul d'axe manuellement	49
III.2.7.2. Raccordement circulaire	49
III.2.7.3. Raccordement progressif	50
III.3. PROFIL EN LONG	
III.3.1. INTRODUCTION	53

III.3.2.REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE DU PROFIL EN LONG	53
III.3.3.LES ELEMENTS DE COMPOSITION DU PROFIL EN LONG	53
III.3.4.COORDINATION DU TRACÈ EN PLAN ET PROFIL EN LONG	54
III.3.5.DECLIVITES	54
III.3.5.1. Déclivité minimum	54
III.3.5.2. Déclivité maximum	54
III.3.6.RACCORDEMENTS EN PROFIL EN LONG	55
III.3.6.1.Raccordement convexes angle	55
III.3.6.2. Raccordement concaves (ANGLE RENTRANT)	57
III.3.7.DETERMINATION PRATIQUES DU PROFIL EN LONG	58
III.3.7.1.calcul sans raccordement périodique	58
III.3.7.2.calcul un raccordement parabolique	58
III.3.7.3.coordonnées des points de raccordement	59
III.3.8.EXEMPLE DE CALCUL DE PROFIL EN LONG	59
III.3.8.1.Cas d'un rayon convexe	59
III.4.PROFIL EN TRAVERS	62
III.4.1. DEFINITION	62
III.4.2.Différents type de profil en travers	62
III.4.2.1. Profil en travers type	62
III.4.2.2.Profil en travers courants	63
III.5.CONCLUSION	65

CHAP IV : LES EQUIPEMENTS

IV.1.ASSAINISSEMENT	66
IV.1.1.INTRODUCTION	66
IV.1.1.1.Pour les chaussées	66
IV.1.1.2.Pour les talus	66
IV.1.2.OBJECTIF D'ASSAINISSEMENT	66
IV.1.3 ASSAINISSEMENT DE LA CHAUSSEE	67
IV.1.4.DEFINITION DES TERMES HYDRAULIQUES	68
IV.1.4.1.Bassin versant	68
IV.1.4.2.Collecteur principal (CANALISATION)	68
IV.1.4.3.Chambre de visite (CHEMINEE)	69
IV.1.4.4.Sacs	69
IV.1.4.5.Fosses de CRETES	69
IV.1.4.6. Décante d'eau	69
IV.1.4.7.Les regards	69
IV.1.5.DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE RETABLISSEMENT	
DESECOULEMENTS	69
IV.1.5.1.Estimation de débit d'apport QA	69
IV.1.5.2.Détermination de l'intensité de la pluie I_t	70
IV.1.5.3.Coefficient de ruissellement	72
IV.1.5.4.Débit de saturation	72
IV.1.5.5.Dimensionnement des dalots	73

IV.1.5.6.Dimensionnement des fossés	74
IV.1.6.APPLICATION AU PROJET	75
IV.1.6.1.Calcul hydraulique	75
IV.1.6.2.Calcul de la surface du bassin versant	76
IV.1.6.3.Dimensionnement des dalots	76
IV.1.6.4.Dimensionnement des fossés	77
IV.2.SIGNALISATION	77
IV.2.1. INTRODUCTION	77
IV.2.2.L'OBJECTIF DE LA SIGNALISATION ROUTIERE	77
IV.2.3.PRINCIPES DE BASE DE LA SIGNALISATION	77
IV.2.3.1. Principes de valorisation	78
IV.2.3.2. Principe de lisibilité	78
IV.2.3.3. Principe de concentration	78
IV.2.4.Catégories de la signalisation	78
IV.2.5.Application au projet	81
IV.2.5.1.L'éclairage	81
IV.2.5.2.Signalisation	81
IV.2.6.Conclusion	83
CONCLUSION GENERALE	85
BIBLIOGRAPHIE.....	86

INTRODUCTION GENERALE :

Pour le développement du pays et l'aménagement du territoire, les infrastructures de transport routières jouent un rôle très important et un moteur efficace non seulement pour les différentes communications et les différents échanges entre les populations mais aussi elle favorise l'implantation des activités économiques et industrielles tout en visant essentiellement à améliorer l'équilibre fonctionnel des espaces régionaux par rapport aux revendications des acteurs territoriaux.

En Algérie, le ministère des travaux publics (MTP) a inscrit plusieurs projets dans le domaine des infrastructures routières comme par exemple les projets portant sur l'aménagement des carrefours, les projets des dédoublements des routes existantes et autres..

Au niveau de la wilaya de TLEMCEM le parc automobile a augmenté considérablement ce qui a engendré un grand flux d'automobiles au niveau du sens giratoire **d'ABOUTECHFINE - YAGHMORACENE BEN ZIANE.**

La problématique posée dans notre projet est :

- Comment résoudre ce problème et rendre la circulation plus fluide ?
- Comment réaliser un tracé avec de bonnes caractéristiques géométriques en tenant compte coût et la qualité ?

Notre travail est structuré comme suit :

Chapitre I : présentation du projet.

Chapitre II : Etude de trafic et dimensionnement du corps de chaussée.

Chapitre III : Les caractéristiques géométriques de la route (Tracé en plan, Profil en long, Profil en travers).

Chapitre IV : Les équipements.

I.1. PRESENTATION DU PROJET :

I.1.1. INTRODUCTION:

Dans ce chapitre on a présenté la localité de notre projet et l'aspect administrative et le cadre de l'étude.

Le critère principal pour la détermination des valeurs extrêmes des caractéristiques géométriques et autres intervenants dans l'élaboration du tracé d'une route c'est la vitesse de référence.

Le choix de la vitesse de référence dépend de l'environnement et la catégorie.

I.1.2. Présentation géographique de la wilaya :

La Wilaya de Tlemcen occupe une position de choix au sein de l'ensemble national.

Elle est située sur le littoral Nord-Ouest du pays et dispose d'une façade maritime de 120 km.

C'est une wilaya frontalière avec le Maroc, Avec une superficie de $9017,69\text{Km}^2$. Le chef lieu de la wilaya est située à 432Km à l'Ouest de la capitale, Alger

La wilaya est limitée par (Figure. I-1):

- La mer méditerranée au Nord
- La wilaya d'Ain Témouchent à l'Est
- La wilaya de Sidi Bel Abbes à l'Est- Sud –Est
- La wilaya de Saida au Sud
- Le Maroc à l'Ouest



Fig.(I-1). Situation géographique de la wilaya [25].

I.1.3. Aspect Administratif

Conformément à la dernière organisation territoriale du pays, la Wilaya de Tlemcen regroupe actuellement 20 Daïras et 53 Communes.

I.1.4. Cadre de l'étude :

Notre projet consiste à faire l'étude d'un raccordement routier sur une longueur de **2Km** et **202m** qui relie les localités **YAGHMORACEN BEN ZIANE** et **ABDLMOUMEN BEN ALI** sur la willaya de Tlemcen (**Figure. I-2**).



Fig. (I-2) Plan de situation de la route [24].

I.1.5. Objectif de l'étude :

Le but essentiel de notre projet est de créer une liaison assurant le transfert d'une partie du trafic de localité **YAGHMORACEN BEN ZIANE** à **ABDLMOUMEN BEN ALI** et diminue la circulation au niveau du sens giratoire **d'ABOUTCHFINE - YAGHMORACEN BEN ZIANE**.

Pour atteindre l'objectif visé, il faut :

Améliorer les conditions de circulations.

L'augmentation de la capacité de la route.

L'amélioration du niveau de service de la route.

Doter la chaussée d'une structure adéquate capable de supporter le trafic actuel et futur
Améliorer la sécurité et le système de drainage.

I.1.6. Environnement de la route :

L'environnement est par définition l'état actuel du relief, et il y a trois classes d'environnement (E1, E2, E3) qui ont été proposées et qui sont caractérisées par deux indicateurs [4] :

- La dénivellée cumulée moyenne h/L .
- La sinuosité moyenne L_S/L .

a) La dénivellée cumulée moyenne h/L :

La somme en valeur absolue des dénivellées successives rencontrées le long de l'itinéraire, est la dénivellée cumulée totale (**Figure. I-3**).

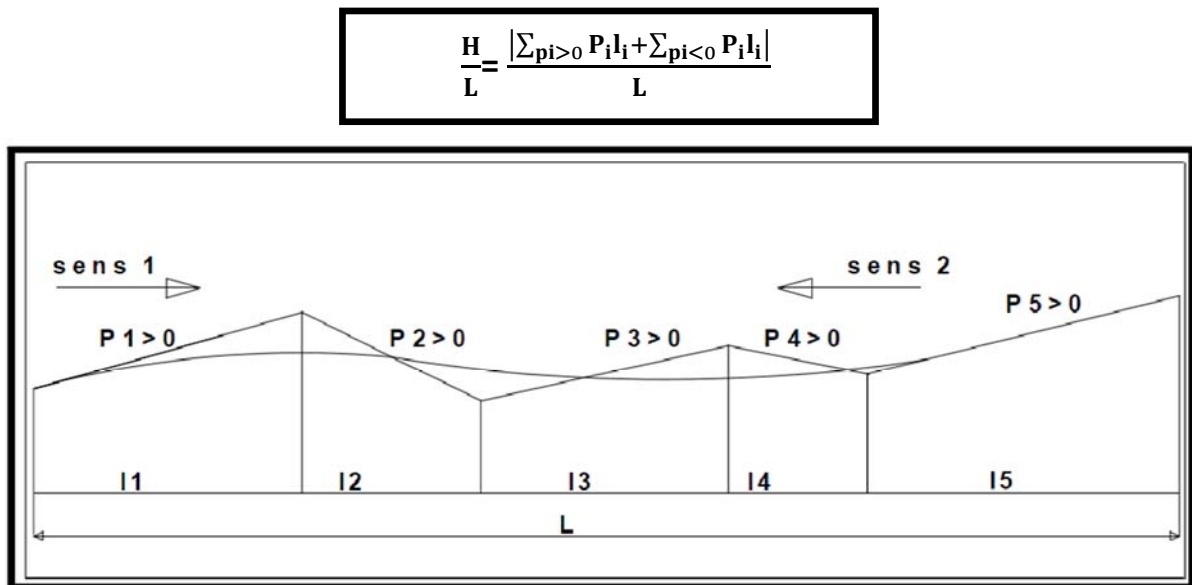


Fig. (I-3). La dénivellée cumulée moyenne h/L .

Le rapport de la dénivellée cumulée totale h à la longueur de l'itinéraire permet de mesurer la variation longitudinale du relief (**Tableau I-1**).

Tableau (I-1) : Classification du relief en fonction de la dénivellée cumulée moyenne [5].

N° de code	Classification	La dénivellée cumulée moyenne h/L
1	Terrain plat	$h/l \leq 1,5\%$
2	Terrain vallonné	$1,5\% < h/l \leq 4\%$
3	Terrain montagneux	$4\% < h/l$

b) La sinuosité moyenne : $\sigma = L_S / L$:

La sinuosité d'un itinéraire est égale au rapport entre la longueur sinueuse L_S et la longueur totale de l'itinéraire. La longueur sinueuse L_S est la longueur cumulée des courbes de rayon en plan inférieur ou égale à 200 m.

Avec

$$L_S = \sum L_R \quad (R \leq 200)$$

L_S : La longueur sinueuse.

L_{AB} : L (longueurs totales de l'itinéraire).

L_R : Longueur de rayon ≤ 200 m.

Tableau (I-2): Classification de la sinuosité moyenne [5].

N° de code	Classification	Sinuosité moyenne
1	Sinuosité faible	$\sigma \leq 0.1$
2	Sinuosité moyenne	$0.1 < \sigma \leq 0.3$
3	Sinuosité forte	$0.3 < \sigma$

L'association des deux paramètres précédents (sinuosité moyenne et dénivelée cumulée moyenne), nous donne les trois types d'environnement et ceci selon (**Tableau I-3**).

Tableau (I-3) : environnement en fonction du relief et de la sinuosité [5].

Sinuosité	Faible	Moyenne	Fort
Relief			
Plat	E1	E2	
Vallonné	E2	E2	E3
Montagneux		E3	E3

I.1.7 .Application au projet :**a) Catégorie :**

Notre projet relie deux centres de vie (YAGHMORACEN BEN ZIANE à ABDLMOUMEN BEN ALI). Cette liaison est classée en catégorie **4** conformément à la norme **B40**.

b) Environnement :

- **La Dénivelée Cumulée moyenne :**

Le tracé que nous avons effectué donne :

$$\frac{\sum p}{n} = \frac{67}{16} \simeq 4,19\%$$

La dénivelée cumulée moyenne $h/L > 4\%$ donc selon B40 → **Terrain est montagneux**

- **Sinuosité :**

$$\sigma = \frac{L_s}{L_{AB}} = \frac{275,31}{2201,53} = 0,125$$

Tableau (I- 4) : Les longueurs des alignements droits et des courbes.

N°	Alignements droit	courbes	Rayons
01	$L_1=48,46\text{m}$	$L_{S1}=60,29$	R=200m
02	$L_2=105,25\text{m}$	$L_{S2}=22,91$	R=200m
03	$L_3=70,49\text{m}$	$L_{S3}=89,17$	R=100m
04	$L_4=76,23\text{m}$	$L_{S4}=42,23$	R=500m
05	$L_5=181,37\text{m}$	$L_{S5}=91,85$	R=500m
06	$L_6=144,41\text{m}$	$L_{S6}=58,32$	R=500m
07	$L_7=140,11\text{m}$	$L_{S7}=161,85$	R=500m
08	$L_8=76,02\text{m}$	$L_{S8}=136,76$	R=400m
09	$L_9=132,74\text{m}$	$L_{S9}=129,77$	R=400m
10	$L_{10}=18,81\text{m}$	$L_{S10}=102,94$	R=100m
11	$L_{11}=291,56\text{m}$		

D'après le tableau (I-2) $0,1 < \sigma \leq 0,3$ Donc : **La Sinuosité est moyenne.**

I.1.7.1 .Type d'environnement :

Puisqu'on a trouvé que le terrain est montagneux et la sinuosité moyenne, ce qui donne d'après le tableau (I-3), le type d'environnement **E3**.

I.1.7.2. Vitesse de référence :

On a tiré la vitesse de référence du tableau (I-5) qui s'en suit (Environnement 3, catégorie 4) :

$$V_r = 60 \text{ km/h}$$

Tableau (I-5) : Vitesse de référence en fonction de la catégorie et l'environnement E [5] :

Catégories	Caté.1	Caté.2	Caté.3	Caté.4	Caté.5
Environnement					
E1	120/100 80	120/100 80	120/100 80	100/80 60	80/60/40
E2	100/80 60	100/80 60	100/80 60	80/60	60/40
E3	80/60 40	80/60 40	80/60 40	60/40	40

I.1.8. Conclusion :

D'après le calcul effectué on a :

On a déterminé une de référence de 60km/h selon le B40 (Tableau I-5) qui son suit l'environnement 3 et catégorie 4.

II.1. ETUDE DE TRAFIC :

II.1.1. INTRODUCTION :

L'étude de trafic est un élément essentiel qui doit être préalable à tout projet de réalisation ou d'aménagement d'infrastructures de transports, elle 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 différents couches de matériaux qui constituent la chaussée.

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

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 couts d'entretien.
- Définir les caractéristiques techniques des différents tronçons.

II.1.2. L'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 circulations des usagers de la route (l'intensité et de la composition de trafic, condition de circulation, origine et destination). Cette étude débute par le recueil des données.

II.1.2.1. La mesure des trafics :

Cette mesure est réalisée par différents procédés complémentaires :

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

II.1.2.2. Les comptages :

C'est l'élément essentiel de l'étude de trafic, on distingue deux types de comptage :

- Les comptages manuels.
- Les comptages automatiques.

a- Les 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 commun, les trafics sont exprimés en moyenne journalière annuelle (T.J.M.A) [2].

b- Les comptages automatiques :

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

Les comptages permanents : sont réalisés en certains points choisis pour leur représentativité sur les routes les plus importantes : réseau autoroutier, réseau routier national et le chemin de wilaya les plus circulés.

Le comptage temporaire : s'effectue une fois par an durant un mois pendant la période où le trafic est intense sur les restes des réseaux à l'aide de postes de comptages tournant.

L'inconvénient de cette méthode : est que tous les matériels de comptage actuellement utilisés ne détectent pas la différence entre les véhicules légers et les poids lourds [3].

II.1.3. LES ENQUETES 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 diverses 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, en définissant leur origine et destination.

II.1.4. DIFFERENT TYPES DE TRAFICS :

Trafic normal : c'est un trafic existant sur l'ancien aménagement sans prendre compte du nouveau projet.

Trafic dévié : c'est le trafic attiré vers la nouvelle route aménagée et empruntant, sans investissement, d'autres routes ayant la même destination, la dérivation de trafic n'est qu'un transfert entre le différent moyen d'atteindre la même destination.

Trafic induit : c'est le trafic qui résulte de :

- Des nouveaux déplacements des personnes qui s'effectuent et qui en raison de la mauvaise qualité de l'ancien aménagement routier ne s'effectuaient pas antérieurement ou s'effectuaient vers d'autres destinations.
- Une augmentation de production et de vente grâce à l'abaissement des coûts de production et de vente due une facilité apportée par le nouvel aménagement routier.

Trafic total : c'est le trafic sur le nouvel aménagement qui sera la somme du trafic induit et du trafic dévié [5].

II.1.5.CALCUL DE LA CAPACITE :

II.1.5.1 Définition de la capacité :

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

La capacité dépend [4] :

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

II.1.5.2 Calcul de Trafic à l'horizon (TMJA_h) :

Du fait de la croissance annuelle du trafic le (TMJA) évolue d'une année à l'autre. Le trafic moyen journalier annuel à l'année horizon s'est exprimé dans la formule suivante [2] :

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

Avec :

TMJA_h : le trafic à l'année horizon.

TMJA₀ : le trafic à l'année zéro (l'année de référence).

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

n : nombre d'année.

II.1.5.3. Calcul du trafic effectif :

C'est le trafic traduit en unités des véhicules particuliers (U.V.P) en fonction de type de route et de l'environnement (en site plat, vallonné ou montagneux). Pour cela on utilise des coefficients d'équivalence (**p**) pour convertir les poids lourds (PL) en unités des véhicules particuliers (U.V.P).

Le trafic effectif (**T_{eff}**) est donné par la relation suivante [2] :

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

Avec :

T_{eff} : Trafic effectif à l'horizon en (U.V.P/j).

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

Z : pourcentage de poids lourds (%).

Les valeurs du coefficient d'équivalence sont groupées dans (**Tableau II.1**).

Tableau (II-1): coefficient d'équivalence «P» [2]

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

II.1.5.4. Débit de pointe horaire normal :

Le débit de pointe horaire normal (**Q**) est une fraction du trafic effectif à l'horizon, il est exprimé en (U.V.P) et donné par la formule [2] :

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

Avec :

Q : débit de pointe horaire.

n : nombre des heures de pointe.

T_{eff} : trafic effectif.

II.1.5.5. Débit horaire admissible :

Le débit horaire admissible (Q_{adm}) exprimé en (U.V.P/h) ; est le nombre des véhicules tolérés pendant une heure pouvant passer en un point donné, il est déterminé par la formule suivante :

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

Avec:

K1 : coefficient lié à l'environnement.

K2 : coefficient de réduction de capacité.

C_{th} : capacité théorique du profil en travers.

Les valeurs de (**K1**) sont groupées dans (tableau II-2).

Tableau (II-2): valeurs de coefficient « K1 » [2].

Environnement	E1	E2	E3
K1	0,75	0,85	0,90 à 0,95

Les valeurs de (**K2**) sont présentées en fonction de l'environnement et la catégorie de la route dans (Tableau II-3).

Tableau (II-3): coefficient de réduction de la capacité « K2 » [2] :

Environnement	Catégorie de la route				
	1	2	3	4	5
E1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
E2	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98
E3	0,92	0,95	0,97	0,96	0,96

Les valeurs de (C_{th}) sont montrées dans (**Tableau II-4**).

Tableau (II-4):valeurs de capacité théorique du profil en travers en régime stable « C_{th} » [2].

	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 800 uvp/h/sens

II.1.6. DETERMINATION DU NOMBRE DES VOIES :

Le choix du nombre des voies résulte de la comparaison entre l'offre et la demande (le débit admissible) et le trafic prévisible à l'année d'exploitation. Pour cela il est donc nécessaire d'évaluer le débit horaire à l'heure de pointe pour les années d'exploitation.

Le Trafic Journalier Moyen Annuel (**TMJA**) exprimé en (véhicules/jour), est égal au trafic total de l'année, divisé par le nombre de jour [2].

a) Cas d'une chaussée bidirectionnelle :

On compare (Q) à (Q_{adm}) et en prend le profil permettant d'avoir [2] :

$$Q \leq Q_{adm}$$

b) Cas d'une chaussée unidirectionnelle :

Le nombre de voie par chaussée est le nombre entier le plus proche du rapport [2] :

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

Avec :

n : nombre de voies.

Q_{adm} : débit admissible par voie

S : coefficient dissymétrie, en général = 2/3

II.1.7. APPLICATION AU PROJET :

II.1.7.1. Les données de trafic :

D'après les résultats de trafic qui nous ont été fournis par la direction des travaux publics, nous avons [7] :

- Le trafic à l'année 2017 $TJMA_{2017} = 1985$ v/j.
- Le taux d'accroissement annuel du trafic noté $C = 3\%$.
- Le pourcentage de poids lourds $Z = 30\%$.
- L'année de mise en service sera en 2020.
- La durée de vie estimée de 15 ans.

II.1.7.2. Projection future de trafic :

$$TMJA_h = TMJA_0(1 + \tau)^n$$

Avec:

$TMJA_h$: Le trafic à l'année horizon.

$TMJA_0$: Le trafic à l'année de référence.

$$TMJA_{2020} = 1985(1 + 0,03)^3 = 2170 \text{ v/j}$$

$$TMJA_{2020} = 2170 \text{ v/j}$$

- Trafic à l'année (2035) pour une durée de vie de 15 ans.

$$TMJA_{2035} = 2170 \times (1 + 0,03)^{15} = 3381 \text{ v/j}$$

$$TMJA_{2035} = 3381 \text{ v/j}$$

II.1.7.3. Calcul de trafic effectif :

$$= [(1-z) + pxz] TMJA_h T_{eff}$$

Avec :

Z : pourcentage de poids lourd on a Z=30%.

P : coefficient d'équivalent pris pour convertir le poids lourds pour une route à deux voies et un environnement **E3** on **p=12**.

$$T_{eff2020} = 2170 \times [(1-0.30) + 12 \times 0.30] = 9331 \text{ uvp/j}$$

$$T_{eff2020} = 9331 \text{ uvp/j}$$

$$T_{eff2035} = 3381 \times [(1-0.30) + 12 \times 0.30] = 14539 \text{ uvp/j}$$

$$T_{eff2035} = 14539 \text{ uvp/j}$$

II.1.7.4. Débit de pointe horaire normale :

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

Avec :

n = coefficient de pointe horaire.

$\frac{1}{n}$: 0.12 en général.

$$Q_{2020} = 0,12 \times T_{eff}$$

$$Q_{2020} = 0,12 \times 9331 = 1120 \text{ uvp/h}$$

$$Q_{2020} = 1120 \text{ uvp/h}$$

$$Q_{2035} = 0,12 \times T_{eff}$$

$$Q_{2035} = 0,12 \times 14539 = 1745 \text{ uvp/h}$$

$$Q_{2035} = 1745 \text{ uvp/h}$$

II.1.7.5 Débit admissible :

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

Avec :

Catégorie C4 $k_1 = 0,95$ Environnement E3 $k_2 = 0,96$ $C_{th} = 2000$ uvp/h

$$Q_{adm} = 0,95 \times 0,96 \times 2000 = 1824 \text{ uvp/h}$$

$$Q_{adm} = 1824 \text{ uvp/h}$$

II.1.7.6. Le nombre des voies :

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

Avec :

$$S = 2/3$$

$$N = (2/3) \times (1745/1824) = 0,64$$

$$N = 1 \text{ voie/sens}$$

II.1.8.CONCLUSION :

D'après le calcul effectué on a :

- Trafic moyen journalier annuel pour l'année 2035 :3381(v/j)
- Trafic effectif pour l'année 2035 : 14539 (uvp/j)
- Le débit de pointe horaire normale pour l'année 2035 :(1745uvp/h)

<i>TJMA</i>₂₀₂₀(v/j)	<i>TJMA</i>₂₀₃₅(v/j)	<i>T_{eff}</i>₂₀₃₅(uvp/j)	<i>Q</i>₂₀₃₅(uvp/h)	N
2170	3381	14539	1745	1 voie/sens

Notre route sera bidirectionnelle (02 voies de circulation) de 3,5m de largeur chacune et des accotements de 1,5m.

II.2.DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE :

II.2.1. INTRODUCTION :

La chaussée doit permettre la circulation des véhicules dans les conditions de confort et de sécurité voulues. Si le corps de chaussée se repose sur un sous-sol naturel une épaisseur quelque fois importante de matériaux choisis dont la qualité va croître au fur et à mesure qu'on se rapproche de la surface de la chaussée car les matériaux seront soumis à pression forte.

La qualité de la construction de chaussées joue 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.

II.2.2. LA CHAUSSEE :

II.2.2.1. Définition :

- **Au sens géométrique** : c'est la surface aménagée de la route sur la quelle circulent les véhicules.
- **Au sens structurel** : c'est l'ensemble des couches de matériaux superposées de façon à permettre la reprise des charges.

II.2.2.2. Rôle de la chaussée :

La chaussée a pour rôle de reporter sur le sol support les efforts dus au trafic, en les répartissant convenablement.

La pression verticale transmise au sol sera en tout point suffisamment faible pour que le support puisse la supporter sans dégradation. Ceci est obtenu par un choix judicieux de l'épaisseur de la structure, du module d'élasticité et de résistance du matériau structure de chaussée.

II.2.2.3. Les différentes couches de chaussée :

- Couche de surface.
- Couche de base.
- Couche de fondation.
- Couche de forme.

a) Couche de surface :

Cette couche en contact direct avec le pneumatique de véhicule et la charge extérieure, elle est composée d'une couche de roulement et d'une couche de liaison.

Rôle de couche de roulement :

- Encaisser les efforts de cisaillement provoqués par la circulation.
- Imperméabiliser la surface de la chaussée.
- Assurer la sécurité (adhérence) et le confort (brui et uni).

Rôle de couche de liaison :

- Elle a pour rôle essentielle d'assurer une transition avec les couches inférieures plus rigides.

b) Couche de base:

C'est une couche intermédiaire, permet le passage progressif entre couche de roulement et couche de fondation, Elle reprend les efforts verticaux et repartie les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes.

c) Couche de fondation :

- Elle a le même rôle que celui de la couche de base.
- La couche de base et couche de fondation forment le « corps de chaussée ».

d) Couche de forme :

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

- **Sur 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.

Eventuellement, une couche drainante ou anti-contaminant peut être intercalée entre la couche de forme et la couche de fondation qui s'appelle sous-couche.

II.2.2.4. Les différents types de chaussée :

Il existe trois types de chaussée :

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

a) Les chaussées souples :

Elles constituent l'immense majorité des routes actuelles. Elles sont composées d'une fondation constituée d'un matériau non traité mais stabilisé mécaniquement (compact),

d'une couche de base constituée d'un matériau traité au liant Hydrocarbonés, et une couverture bitumineuse mince (couche de roulement) moins de 15 cm.

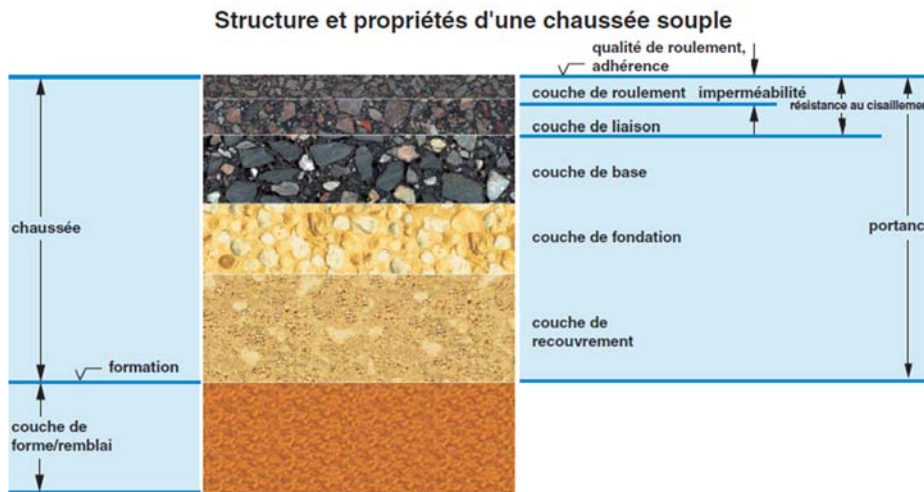


Fig. (II-1) .Chaussée souple [26].

b) Les chaussées semi-rigides :

On distingue :

Les chaussées comportant une couche de base (quelques fois une couche de fondation) traitée au liant hydraulique (ciment, granulat,...).

La couche de roulement est en enrobé hydrocarboné et repose quelque fois par l'intermédiaire d'une couche de liaison également en enrobé strictement minimale doit être de 15 mm. Ce type de chaussée n'existe à l'heure actuelle qu'à titre expérimental en Algérie. Les chaussées comportant une couche de base ou une couche de fondation en sable gypseux.

c) Les chaussées rigides :

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

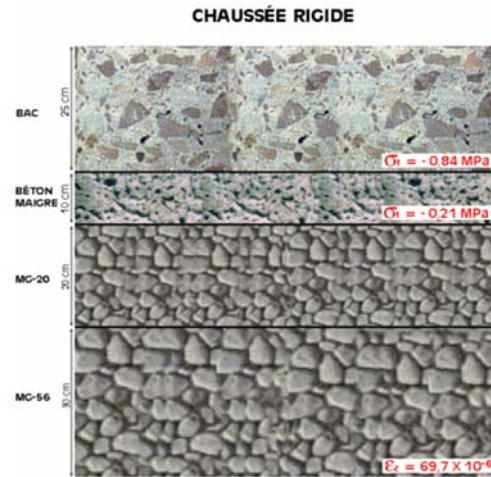


Fig. (II-2) .Chaussée rigide [26].

II.2.3.LES PRINCIPALES METHODES 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 intéresse aux méthodes empiriques les plus utilisées.

II.2.3.1.Les facteurs déterminants pour les études de dimensionnement de chaussée :

a) Trafic :

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

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

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

• Trafic à la mise en service :

Ce trafic compté sur la base du TMJA est à partir du trafic PL par sens circulant sur la voie la plus chargée à l'année de mise en service de la route.

On définit, en général, des classe de trafic en fonction du moyen journalier annuel de PL >5t.

Tableau (II-5) : Classification des trafics en France [13].

Classe de trafic	T_5	T_4	T_3		T_2		T_1		T_0		2000
			T_3^-	T_3^+	T_2^-	T_2^+	T_1^-	T_1^+	T_0^-	T_0^+	
MJA (PL /J)	0	25	50	85	150	200	300	500	750	1200	

- **Trafic cumulé équivalent (NE) :**

Le trafic utilisé pour le dimensionnement est le nombre équivalent d'essieux de référence correspondant au trafic PL cumulé sur la durée de service retenue, il est donné par la relation suivante [13] :

L'essieu de référence en vigueur en Algérie est de 13 Tonnes.

$$NE = N \times CAM$$

N : est le nombre cumulé de PL pour la période de calcul de P années.

$$N = 365 \times MJA \times C$$

C : étant le facteur de cumul sur la période de calcul, telle que :

$$C = \frac{[(1 + \tau)^p - 1]}{\tau}$$

Avec :

P : durée de vie.

τ : Taux de croissance de trafic.

CAM : est le coefficient d'agressivité moyenne de PL par rapport à l'essieu de référence.

$$NE = 365 \times MJA \times CAM \times \frac{[(1 + \tau)^p - 1]}{\tau}$$

Tableau (II.6): Classe de trafic en fonction CAM de poids lourd [13].

Classe de trafic	T_5	T_4	T_3^-	T_3^+	Au-delà
CAM	0.4	0.5	0.7	0.8	0.8 si $e < 20\text{cm}$ 1.0 si $e > 20\text{cm}$

b) Le climat et l'environnement :

Le climat et l'environnement influent considérablement sur la bonne tenue de la chaussée en termes de résistance aux contraintes et aux déformations.

L'amplitude des variations de température et la température maximum interviennent dans le choix du liant hydrocarboné.

Les précipitations liées aux conditions de drainage conditionnent la teneur en eau du sol support et donc sa portance ainsi que les possibilités de réemploi des matériaux de déblai en remblai [14].

c) Le sol support :

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

Si ce dernier facteur n'est pas connu, on prendra comme paramètre une teneur en eau égale la limite de plasticité et densité sèche égale à 95% de la densité à l'O.P.M.

Tableau (II-7) : L'importance de sol en fonction de l'indice de CBR [7].

Portance	1	2	3	4
CBR	<3	3à6	6à10	10à20

d) Les matériaux :

Les matériaux utilisés doivent être conformes aux exigences en fonction de la couche de chaussée concernée et du trafic PL [16].

II.2.3.2. Les méthodes empiriques :**a) Méthode 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'au 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.

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

Avec :

e: épaisseur équivalente.

I: indice CBR (sol support).

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

$$N = T_H \% PL$$

T_H : Trafics prévus pour une durée de vie de 20ans.

$$T_H = \frac{T_0}{2} (1 + \tau)^m$$

Avec :

T_0 : Trafics actuel (v/j).

m : année de prévision.

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

Log : logarithme décimal.

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante:

$$e = c_1 \times e_1 + c_2 \times e_2 + c_3 \times e_3$$

$c_1 \times e_1$: couche de roulement.

$c_2 \times e_2$: couche de base.

$c_3 \times e_3$: couche de fondation.

Ou:

c_1, c_2, c_3 : Coefficients d'équivalence.

e_1, e_2, e_3 : Épaisseurs réelles des couches.

Tableau (II-8): Les coefficients d'équivalence pour chaque matériau [7].

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense	2,00
Grave ciment grave laitier	1,50
Grave bitume	1,20 à 1,70
Grave concassée ou gravier	1,00
Grave roulée grave sableuse T .V.O	0,75
Sable ciment	1,00 à 1,20
Sable	0,50
Tuf	0,80 à 0,90

b) Méthode du catalogue des structures «SETRA» :

C'est le catalogue des structures type neuves et établi par «SETRA». Il distingue les structures de chaussées suivant les matériaux employés (GNT, SL, GC, SB).

Il considère également quatre classes de trafic selon leur importance, allant de 200 à 1500 PL/J/sens.

Il tient compte des caractéristiques géotechniques du sol de fondation.

Il se présente sous la forme d'un jeu de fiches classées en deux paramètres de données :

- Trafic cumulé de poids lourds à la 15 ème année T_j .
- Les caractéristiques de sol(S_j).

- Détermination de la classe de trafic :

La classification de trafic (TPLi) est déterminée à partir du trafic poids lourd par sens circulant sur voie la plus chargée à l'année de mise en service.

Tableau (II-9): La classe du trafic poids lourd [13].

Classe de trafic	Trafic poids lourds cumulé sur 20 ans
T_0	$<3,5 \cdot 10^5$
T_1	$3,5 \cdot 10^5 < T < 7,3 \cdot 10^5$
T_2	$7,3 \cdot 10^5 < T < 2 \cdot 10^6$
T_3	$2 \cdot 10^6 < T < 7,3 \cdot 10^6$
T_4	$7,3 \cdot 10^6 < T < 4 \cdot 10^7$
T_5	$T > 4 \cdot 10^7$

Le trafic cumulé est donné par la formule :

$$T_e = T_{PL} \left[1 + \frac{(1+\tau)^{n+1} - 1}{\tau} \right] \quad \text{365}$$

Avec :

T_{PL} : Trafic poids lourds à l'année de mise en service.

n : durée de vie.

- **Détermination de la classe du sol :**

Le classement des sols se fait en fonction de l'indice CBR mesuré sur éprouvette compactée à la teneur en eau optimale de Proctor modifié et à la densité maximale correspondante [8].

Après immersion de quatre jours, le classement sera fait en respectant les seuils suivants :

Tableau (II-10) : Classement de sol en fonction de l'indice de CBR [7].

Classe de sol (Si)	Indice C.B.R
S0	>40
S1	25-40
S2	10-25
S3	<05-10
S4	<05

c) Méthode A.A.S.H.O « AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY OFFICIALS :

Cette méthode empirique est basée sur des observations du comportement, sous trafic des chaussées réelles ou expérimentales.

Chaque section reçoit l'application d'environ un million des charges roulantes qui permet de préciser les différents facteurs [17] :

- L'état de la chaussée et l'évolution de son comportement dans le temps.
- L'équivalence entre les différentes couches de matériaux.
- L'équivalence entre les différents types de charge par essai.
- L'influence des charges et de leur répétition.

d) La méthode L.C.P.C « LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES » :

Cette méthode est dérivée des essais A.A.S.H.O, elle est basée sur la détermination du trafic équivalent donnée par l'expression :

$$T_{eq} = [TJMA \cdot a \cdot [(1 + Z)^n - 1] \cdot 0.75 \cdot P \cdot 365] / [(1 + Z) - 1]$$

Avec:

T_{eq} = trafic équivalent par essieu de 13t.

$TJMA$ = trafic à la mise en service de la route.

a = coefficient qui dépend du nombre de voies.

Z = taux d'accroissement annuel.

n = durée de vie de la route.

P = pourcentage de poids lourds.

Une fois la valeur du trafic équivalent est déterminée, on cherche la valeur de l'épaisseur équivalente (en fonction de T_{eq} , I_{CBR}) à partir de l'abaque L.C.P.C.

L'abaque L.C.P.C est découpé en un certain nombre de zones pour lesquelles, il est recommandé en fonction de la qualité de la couche de base.

e) Méthode du catalogue des chaussées neuves CTPP :

Les paramètres utilisés dans la méthode du catalogue des chaussées sont : trafic, sol support, environnement et zone climatique [18].

- Trafic :

C'est le trafic poids lourds (véhicules de charge supérieure à 3,5 tonnes).

Le réseau principal noté RP: il se compose de route reliant :

- Les chefs-lieux de wilaya.
- Les ports, les aérodromes et les postes frontaliers.
- Les principales agglomérations et important zone industrielles.

Ce réseau principal se décompose en deux niveaux :

RP1 ($T > 1500V/J$) ⇒ RN, Autoroute, CW.

RP2 ($T < 1500V/J$) ⇒ RN, CW,....

Le linéaire total du réseau principal RP est de l'ordre de 18.400Km.

Le réseau secondaire RS: il se compose du reste des routes qui ne sont pas en RP, son linéaire total de 7.900Km.

- Répartition transversale du trafic :

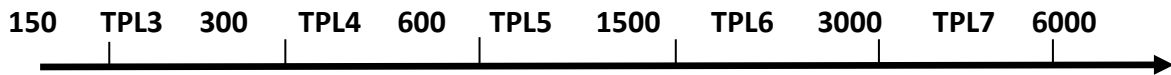
On adoptera les valeurs suivantes :

- Chaussée unidirectionnelles à 2voies : 90% du trafic PL sur la voie lente de droite.
- Chaussée unidirectionnelles à 3voies : 80% du trafic PL sur la voie lente de droite.
- Chaussée bidirectionnelles à 2voies : 50% du trafic PL.
- Chaussée bidirectionnelles à 3 voies : 50% du trafic PL.

- **Déterminations de la classe de trafic TPLi :**

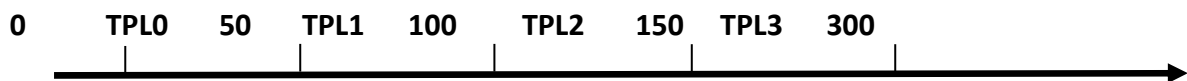
Les classes sont données pour chaque niveau de réseau principal (RP1 et RP2), en nombre de PL/J/sens à l'année de mise en service.

RP1:



PL/J/sens

RP2:



PL/J/sens

- **Détermination des classes de portance de sols :**

Le tableau regroupe les classes des sols par ordre croissant de S4 à S0.

- **Détermination des classes de portance de sols support :**

Pour les sols sensibles à l'eau: la portance du sol support est déterminée par :

- L'essai CBR imbibé à 4 jours pour les zones climatiques I et II.
- L'essai CBR immédiat pour les zones climatiques III et IV.

Pour les sols insensibles à l'eau: sols grossiers contenant plus de 25% d'éléments > 20mm, la portance sera déterminée à partir des essais de chargement à la plaque ou des mesures de déflexions ($W_{nat} > W_{opm}$).

- L'essai de plaque \Rightarrow le module de sol EV2 la déflexion \Rightarrow de (déformation).
- Les deux sont reliés par la relation empirique :

$$EV2 \times d_c = 10340$$

Avec :

EV2 : en (MPa).

d_c : en (1/100mm).

Les différentes expériences ont fait ressortir la relation :

$$E(\text{MPa}) = 5 \cdot \text{CBR}$$

Tableau (II-11): Tableau exprimé les classe de sol en fonction de la déflexion [7].

CLASSE	S3	S2	S1	S0
E(MPA)	25-50	50-125	125-200	>200

Il existe différents type de couches de forme suivant le cas de portance du sol terrassée(Si) et la classe du sol support visée (Sj).

Tableau (II-12) : épaisseur de couche de fondation en fonction de la portance du sol [7].

Classe portance du sol terrassé (Si)	Matériaux de C.F	Epaisseur de C.F	Classe portance du sol support visée (Sj)
<S4	Matériau NT	50 cm(en 2c)	S3
S4	Matériau NT	35 cm	S3
S4	Matériau NT	60cm(en 2c)	S2
S3	Matériau NT	40 cm (en 2c)	S2
S3	Matériau NT	70 cm(en 2c)	S2

- Les zones climatiques :

Tableau (II-13): Les zones climatiques de l'Algérie [5].

Zone climatique	Pluviométrie (mm/an)	Climat	T_{eq}	Région
I	>600	Très humide	20	Nord
II	350-600	Humide	20	Nord, hauts plateaux
III	100-350	Semi-aride	25	Hauts plateaux
IV	<100	Aride	30	sud

II.2.4.MATRIAUX CONSTITUANT DE NOTRE CHAUSSEE :

II.2.4.1.Béton bitumineux « BB » :

a) **Définition** : Les bétons bitumineux sont des matériaux enrobés à chaud dont le squelette minéral est, en général, une grave concassée 0/10 ou 0/14 et, le liant, du bitume pur 40/50.

b) **Domaine d'utilisation** :

Ce type de matériau est bien adapté aux couches de surface des chaussées à forts trafics en raison de ses bonnes caractéristiques mécanique. Il est aussi bien utilisé pour les chaussées neuves qu'en renforcement.

c) **Constituants**:

- **Granulats** : la granularité du squelette minéral est de classe 0/10 ou 0/14 pour des épaisseurs moyennes de couche de roulement de respectivement, 6 et 8 cm.

- **Teneur en fines** : la fraction sableuse (passant à 0.08mm) doit être comprise entre 6 et 10%, Lorsque cette valeur est insuffisante pour une bonne composition du matériau, il nécessaire d'adjoindre à la grave 0/D des fine d'apport. Celles-ci doivent avoir plus de 80% d'éléments passant au tamis 0,080 mm et 100% de passant à celui de 0,2 mm.

- **Bitume** : le bitume utilisé est, normalement, de classe 40/50.

Dans certains cas (trafic modéré, route en altitude, etc.), il est possible d'utiliser un bitume moins dur tel le 60/70 ou 80/100 si le risque d'orniérage n'est pas trop à craindre.

d) **Fabrication** :

Les bétons bitumineux sont fabriqués en centrales d'enrobage continues ou discontinues.

e) **Mise en œuvre** :

- Répandage : « finisseur ».
- Compactage : « atelier vibrant en tête ».
- Epaisseur technologiques de mise en œuvre : Les seuils technologiques après compactage, en une seule couche sont, Épaisseur minimale= 6cm, Épaisseur maximale =8cm.

f) **CONTROLE** :

• **Contrôle de fabrication** : le contrôle portera sur toutes les étapes de la fabrication en centrale des bétons bitumineux : stockage des matériaux, dosage des matériaux (granulat, bitume), température de malaxage des enrobés [11].

Contrôle de mise en œuvre ; le contrôle portera sur :

- La température de répandage.
- La composition de l'enrobé (pourcentage de liant et granulométrie).

- Le contrôle de compactage (exécution des carottages et détermination de la compacité des carottes d'enrobés bitumineux).

II.2.4.2. Grave bitume « GB » :

- a) **Définition:** Les graves bitumes 0/20 sont des enrobés bitumineux à chaud (mélange à chaud de granulats séchés et de bitumes pur).
- b) **Domaine d'utilisation :** La technique des graves bitumes est destinée à la réalisation des assises de chaussée (couche de base et couche de fondation), réseau RP1 : Classes de trafic TPL3 à TPL7.

c) **Constituants :**

- **Granulats :** les classes granulaires utilisées pour la fabrication des graves bitumes 0/20 sont les suivantes coupures granulométriques : 0/3, 3/8, 8/14, 14/20, (Indice de concassage $I_c = 100\%$).
- **Bitume :** classe du bitume = 40/50 (pour le RP1).

d) **Fabrication :**

Les graves bitumes 0/20 sont fabriqués en centrales continues ou discontinues.

- e) **Mise en œuvre et contrôle:** La même chose que celui des bétons bitumineux.

Epaisseurs technologiques de mise en œuvre : les seuils technologiques après compactages, en une seule couche sont Epaisseur minimale= 10 cm, Epaisseur maximale=15cm **[18]**.

II.2.4.3. Grave non traité « GNT » :

- a) **Définition :** Les GNT sont définies comme étant des graves 0/D, ne comportant pas de liant.

On distingue deux types de GNT suivant leur mode d'élaboration :

- Les GNT de type A sont obtenus en une seule fraction.
- Les GNT de type B sont des matériaux provenant du mélange d'au moins deux fractions granulométrique, malaxées et humidifiées en centrale.

b) **Domaine d'utilisation:**

Couches d'assises de chaussées (couche de base et couche de fondation) pour le réseau RP.

Couche de fondation pour le réseau RP1.

c) **Constituants :**

Granulats : la granularité du GNT est de classe 0/20 et 0/31,5 ; Indice de concassage $I_c = 100\%$.

- d) **Fabrication :** Les GNT sont produites à partir de roches massives concassées et en carrière.

e) Mise en œuvre :

- **Répannage** : Utiliser des engins produisant peu de ségrégation (épandeuse, finisseur, niveleuse).
- **Humidification** : l'arrosage lorsqu'il est nécessaire, peut être exécuté sur un matériau ayant déjà subi un premier compactage. Ce dernier doit intervenir avant la fin du compactage.

La teneur en eau de mise en œuvre doit être comprise dans l'intervalle Wopm +0,5.

- **Compactage** : le compactage doit être réalisé de façon énergique, pour cela, utilisé : Les compacteurs vibrants ayant une masse par centimètre de génératrice vibrante (M1/L 30 Kg/cm).

Les compacteurs à pneumatiques de 3 tonnes par roue au moins.

Protection de surface; grave non traitée devant supporter une autre assise :

- Maintenir l'humidité de surface, si besoin est par arrosages légers mais fréquents.
- Eviter la circulation des véhicules de chantier sur l'assise.
- Mettre en œuvre le plus rapidement possible la couche suivante GNT devant supporter une couche de roulement ou provisoirement une circulation.
- Outre les dispositions ci-dessus, réaliser directement sur celle-ci, un enduit superficiel.

Epaisseur technologiques de mise en œuvre; les seuils technologique après compactage, en une seule couche sont :

- Epaisseur minimal égale à 15 cm.
- Epaisseur maximale égale à 25cm.

f) Contrôle :**- contrôle de fabrication :**

- Avant fabrication : Contrôler le matériel de la chaîne de fabrication ; Contrôler l'installation et les réglages initiaux de la centrale pour la GNT de type B.
- En cours de fabrication : Contrôler l'alimentation des concasseurs, la charge des cribles, la qualité, de la production, et le chargement et stockage des matériaux.

- contrôle de mise en œuvre :

Il s'agit de vérifier que :

- Les modalités définies lors des planches d'essai sont bien appliquées.
- La qualité du compactage.

II.2.5. APPLICATION AU PROJET :

Pour le dimensionnement du corps de chaussée on utilise les méthodes suivantes :

- La méthode dite CBR.
- La méthode de catalogue des structures SETRA.
- La méthode du catalogue des chaussées neuves CTTP.

• La méthode CBR :

On a: $I_{CBR} = 6$ ce sol appartient dans (S3) qui on a obtenue de la part LTPO Tlemcen.

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

Avec :

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

Log : logarithme décimal.

N : le nombre moyen de camion de plus 1500 kg à vide.

Avec :

$$\%PL = 30\%, \quad \tau = 3\%, \quad I_{CBR} = 6$$

T_H: Trafics prévus pour une durée de vie de 20 ans.

$$N = T_H \cdot \%PL$$

$$T_H = \frac{T_0}{2} (1 + 0,03)^m = \frac{1985}{2} (1 + 0,03)^{20} \Rightarrow T_H = 1793 \text{ V/J/sens}$$

$$N = 1793 \times 0,3 \Rightarrow N = 538 \text{ PL /j /sens}$$

$$e = \frac{100 + (\sqrt{6,5})(75 + 50 \log \frac{538}{10})}{6 + 5} = 46,53 \text{ cm}$$

$$\text{Donc : } E_{\acute{e}q} = 50 \text{ cm}$$

$$\text{On a : } E_{\acute{e}q} = c_1 \times e_1 + c_2 \times e_2 + c_3 \times e_3$$

$$e_3 = \frac{E_{\acute{e}q} - (c_1 \cdot e_1 + e_2 \cdot c_2)}{c_3} = \frac{50 - (2,6 + 1,2 \cdot 10)}{1} = 26 \text{ cm}$$

Tableau (II-14): Récapitulatif des résultats.

Couches	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence (Ci)	Epaisseur équivalente (cm)
BB	6	2	12
GB	10	1,2	12
GC	26	1	26
TOTAL	42		50

Notre structure comporte : **6BB+10GB+26GC**

- méthode de catalogue des structure «SETRA» :

Le calcul du trafic poids lourds à l'année de mise en service :

$$TJMA_{2020} = 2170 \text{ v/j} \Rightarrow TPL_{2020} = (2170 \times 0,3)/2 = 325,5 \text{ PL/J/sens.}$$

$$TPL_{2035} = 325,5 \times (1 + 0,03)^{15} = 508 \text{ PL/j/sens.}$$

$$T_c = T_{pl} \left[1 + \frac{(1+\tau)^{n+1} - 1}{\tau} \right] 365 \Rightarrow T_c = 508 \left[1 + \frac{(1+0,03)^{15+1} - 1}{0,03} \right] 365 = 3,92 \cdot 10^6 \text{ PL/J/sens.}$$

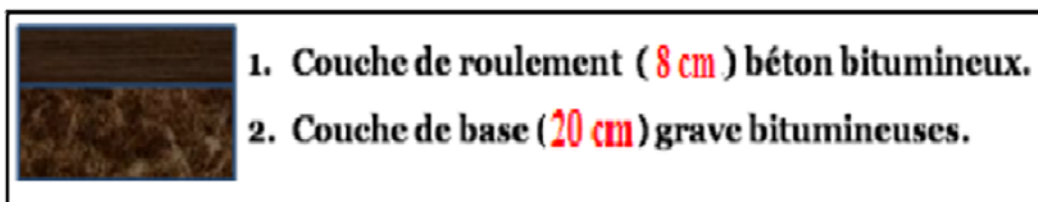
$$T_c = 3,92 \cdot 10^6 \text{ PL/J/sens}$$

Selon le Tableau (II.9), notre trafic est classé en T3.

Selon le Tableau (II.10), notre sol est classé en S3.

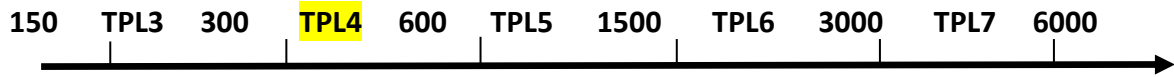
Par conséquent d'après le règlement on obtient la structure suivante:

Notre structure comporte : 8BB + 20GB



- La méthode du catalogue des chaussées neuves CTPP :
 - Détermination du trafic TPLI :

$$TJMA_{2020} = 2170 \text{ v/j} \Rightarrow T_{PL} = \frac{2170 \cdot 0,3}{2} = 325,5 \text{ PL/J/sens.}$$

Classe TPLi pour RP1:**PL/J/sens**

$$RP1 : 300 < 326 < 600 \Rightarrow TPL4$$

D'après le classement donné par le catalogue des structures, notre trafic est classé en TPL4.

Classe de sol support :

$$E = 5 \times I_{CBR} = 5.6 = 30 \text{ MPA.}$$

Selon le tableau (II-11) notre sol est classé en **S3**.

La zone climatique :

Pour notre projet, selon la carte climatique de l'Algérie, nous avons la zone climatique II.

Et suivant les fiches structures pour le (RP1) le corps de chaussée contient **6BB +20GB**.

II.2.6.CONCLUSION :

D'après les différents résultats, on remarque bien que la méthode CBR nous donne le corps de chaussée le plus économique tout en sachant que cette méthode est la plus utilisée en Algérie, donc on a les résultats de la méthode CBR.

A savoir : 6BB+10GB+26GC avec une de forme de 40cm.

III.1.INTRODUCTION :

L'élaboration de tout projet routier commence par la recherche de l'emplacement de la route dans un environnement et son adaptation la plus rationnelle à la configuration de terrain. La géométrie d'une route est fondamentalement caractérisée par trois notions :

- Tracé en plan ;
- Profil en long ;
- Profil en travers ;

III.2.TRACE EN PLAN :

III.2.1 DEFINITION :

Le tracé en plan est une succession des droites et 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 normes nationales et internationales.

III.2.2.REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE EN PLAN :

Pour faire un bon tracé en plan dans les normes on doit respecter certaines recommandations [6].

- L'adaptation de tracé en plan au terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants.
- 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 et cela pour des raisons économiques.
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques.
- Limiter le pourcentage de longueur des alignements entre 40% et 60% de la longueur totale de tracé.
- Appliquer les normes du B40.
- Utiliser des grands rayons si l'état du terrain le permet.
- Respecter la cote des plus hautes eaux.
- Respecter la longueur minimale des alignements droits si c'est possible.
- S'inscrire dans le couloir choisi.

III.2.3.LES ELEMENTS DU TRACE EN PLAN :

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

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

Un tracé en plan est constitué par [19] :

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

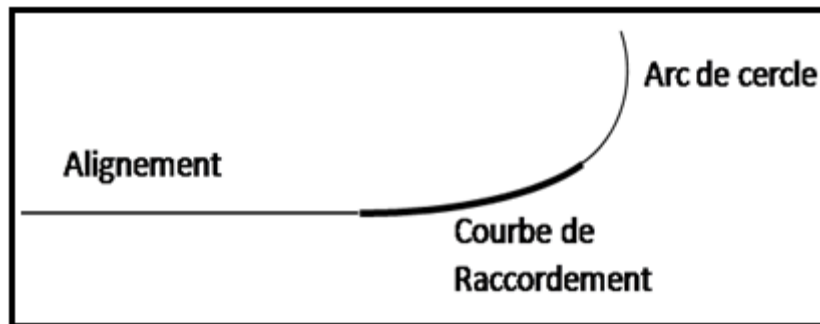


Fig. (III-1) : Les éléments du tracé en plan [19].

III.2.3.1 Les alignements :

Bien qu'en principe la droite soit l'élément géométrique le plus simple, son emploi dans le tracé des routes est restreint (B40).

La cause en est qu'il présente des inconvénients, notamment :

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

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

- En plaine où, des sinuosités ne seraient absolument pas motivées.
- Dans des vallées étroites.
- Le long de constructions existantes.
- Pour donner la possibilité de dépassement.

Donc la longueur des alignements dépend de:

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

Règles concernant la longueur des alignements: il existe une longueur minimale d'alignement L_{min} devra séparer deux courbes circulaires de même sens, cette longueur sera prise égale à la distance parcourue pendant cinq (5) secondes à la vitesse maximale permise par le plus grand rayon de deux arcs de cercle **[13]**.

$$L_{min} = 5 \times \frac{V_B}{3.6}$$

$$\Rightarrow L_{min} = 5 \times \frac{60}{3.6} = 83,33m$$

Avec:

V_B : vitesse de base en km/h.

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

$$L_{max} = 60 \times \frac{V_B}{3.6}$$

$$\Rightarrow L_{max} = 60 \times \frac{60}{3.6} = 1000m$$

III.2.3.2.Arc de cercle :

Trois éléments interviennent pour limiter la courbe (Jean Berthier, Technique de l'ingénieur):

- La stabilité des véhicules.
- L'inscription des véhicules longs dans les courbes de faible rayon.
- La visibilité dans les tranchées en courbe.

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

III.2.3.3.stabilité en courbe:

Dans un virage les rayons et leur devers doivent permettre à un véhicule roulant à la vitesse de référence V_B subit l'effet de la force centrifuge qui tend à provoquer une instabilité du système, afin de réduire l'effet de la force centrifuge on incline la chaussée transversalement vers l'intérieur du virage (éviter le phénomène de dérapage) d'une pente dite dévers exprimée par sa tangente.

Les rayons en plans dépendant de facteurs [11]:

- Force centrifuge FC.
- Poids de véhicule P.
- Accélération de la pesanteur g.
- Dévers d.

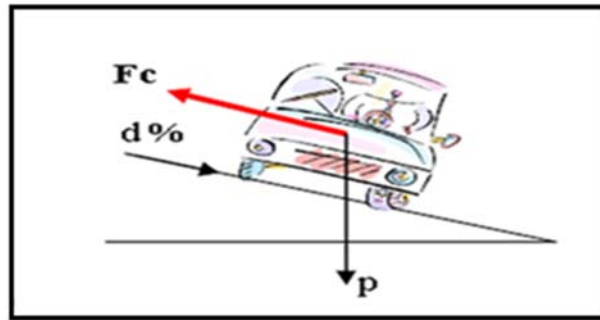


Fig. (III-2) : Force centrifuge [4].

III.2.3.4. Rayon horizontal minimal absolu (RHM) :

Il est défini comme étant le rayon au dévers maximal [6]:

$$RH_{\min} = \frac{V_r^2}{127 (f_t + d_{\max})}$$

Avec :

RH_{\min} : Rayon horizontal minimal.

V_r : vitesse de référence.

f_t : Frottement transversal.

d_{\max} : Dévers maximal.

Ainsi pour chaque V_r on définit une série de couple (R, d).

III.2.3.5. Rayon minimal normal (RHN) :

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

Le rayon minimal normal (RHN) doit permettre à des véhicules dépassant Vr de 20 km/h de rouler en sécurité [6].

III.2.3.6. Rayon au dévers minimal (RHD) :

C'est le rayon au dévers minimal, au-delà duquel les chaussées sont déversées vers l'intérieur du virage et tel que l'accélération centrifuge résiduelle à la vitesse Vr serait équivalente à celle subite par le véhicule circulant à la même vitesse en alignement droit [6].

Dévers associé :

$d_{\min} = 2.5\%$ en catégorie 1-2.

$d_{\min} = 3\%$ en catégorie 3-4

$$RHd = \frac{Vr^2}{127 * 2 * d \min}$$

III.2.3.7. Rayon minimal non déversé (RHND) :

Si le rayon est très grand, la route conserve son profil en toit et le dévers est négatif pour l'un des sens de circulation ; le rayon min qui permet cette disposition est le rayon min non déversé (R_{hnd}) [6].

Pour catégories 1 et 2 :

$$RHnd = \frac{Vr^2}{127 * 0,035}$$

Pour catégories 3-4 et 5 :

$$RHnd = \frac{Vr^2}{127 (f' - d \min)}$$

Avec :

$f' = 0.07$ catégories 3

$f' = 0.075$ catégories 4 et 5

III.2.3.8. Règles pour l'utilisation des rayons en plan :

Il n'y a aucun rayon inférieur à R_{Hm} , on utilise autant des valeurs de rayon $\geq R_{Hn}$ à que possible.

Les rayons compris entre R_{Hm} et R_{Hd} sont déversés avec un dévers interpolé linéairement en $1/R$ arrondi à 0,5% près entre d_{max} et $d(R_{Hm})$.

Si :

$$R_{Hm} < R < R_{Hn}$$

$$d = \frac{d^{max} - d(R^{Hn})}{(1/R^{Hn} - 1/R^{Hd})} (1/R - 1/R^{Hmax}) + d^{max}$$

Entre $d(R_{Hn} < R < R_{Hd})$ et d_{min}

Si :

$$R_{Hm} < R < R_{Hd}$$

$$d = \frac{d(R^{Hn} - d^{min})}{(1/R^{Hn} - 1/R^{Hd})} (1/R - 1/R^{Hd}) + d^{min}$$

Les rayons compris entre R_{Hd} et R_{Hnd} sont en dévers minimal d_{min} .

Les rayons supérieurs à R_{Hnd} peuvent être déversés s'il n'en résulte aucune dépense notable et notamment aucune perturbation sur le plan de drainage.

Un rayon R_{Hm} doit être encadré par des R_{Hn} .

Remarque :

On essaye de choisir le plus grand rayon possible en évitant de descendre en dessous du rayon minimum préconisé.

Tableau (III-1) : Rayons du tracé en plan [6].

Paramètres	Symboles	Valeurs
Vitesse de référence (km/h)	V	60
Divers maximal(%)	D_{max}	7
Rayon horizontal minimal absolu (m)	RH_m (7%)	115
Rayon horizontal normal (m)	RH_N (5%)	230
Rayon horizontal déversé (m)	RH_d (3%)	450
Rayon horizontal non déversé (m)	RH_{nd} (-3%)	650

III.2.3.9.Sur largeur :

Un long véhicule à 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 pas sur la voie adjacente, on donne à la voie parcourue par ce véhicule une largeur par rapport à sa largeur normale en alignement [6].

$$S = L^2 / 2R$$

Avec :

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

R : rayon de l'axe de la route.

Tableau (III-2) : Valeurs des sur largeurs [6].

Rayon (m)	Sur largeur (m)
40	1,25
45	1,00
60	1,00
80	0,5
100	0,5
160	0,25
180	0,25

III.2.3.10. Les raccordements progressifs (CLOTHOÏDE) :

Un tracé rationnel de route moderne comportera des alignements, des arcs de cercle liés entre eux, par des tronçons de raccordement à courbure progressif, passant de la courbure 0 ($R = \infty$) à l'extrémité de l'alignement à la courbure $1/R$ au début du cercle du virage [11].

III.2.3.11. Rôle et nécessité des courbes de raccordement :

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

- Stabilité transversale du véhicule.
- Confort des passagers du véhicule.
- Transition de la forme de la chaussée.
- Tracé élégant, souple, fluide, optiquement et esthétiquement satisfaisant.

III.2.3.12. Type de courbe de raccordement :

Parmi les courbes mathématiques connues qui satisfont à la condition désirée d'une variation continue de la courbure, nous avons retenu les trois courbes suivantes [20] :

- Parabole cubique.
- Lemniscate.
- Clothoïde.

a) Parabole cubique :

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

b) Lemniscate :

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

c) Clothoïde :

La clothoïde est une spirale, dont le rayon de courbure décroît d'une façon continue des l'origine où il est infini jusqu' au point asymptotique où il est nul.

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.

- **Expression mathématique de la clothoïde :**

Courbure K linéairement proportionnelle à la longueur curviligne.

$$K=C.L: K=\frac{1}{R}\Rightarrow L.R=\frac{1}{C}\Rightarrow \frac{1}{R}=C.L$$

$$L.R=A^2$$

On pose: $\frac{1}{C}=A^2$

- **Élément de clothoïde :**

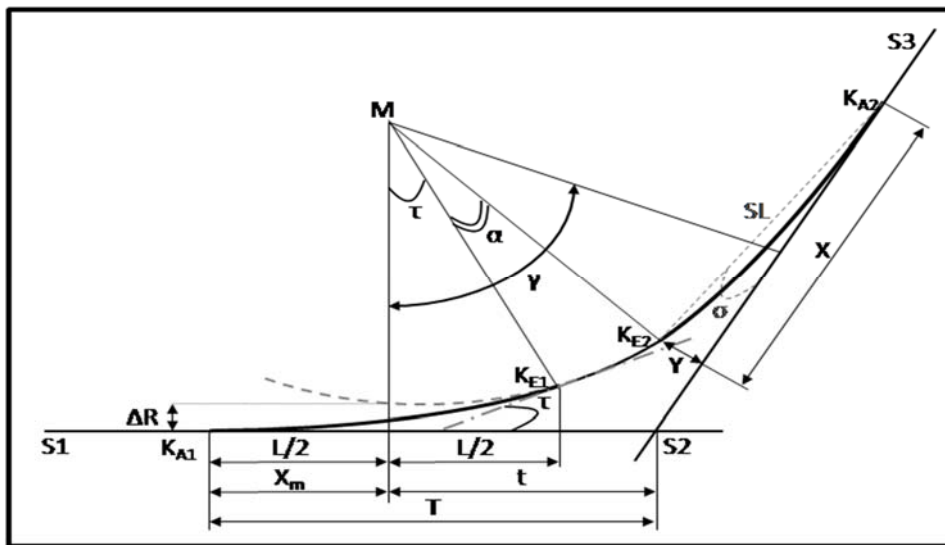


Fig.(III.3). Élément de la clothoïde [6].

R : rayon du cercle.

ΔR : Mesure de décalage entre l'élément droit de l'arc du cercle (le ripage).

σ : Angle polaire (angle de corde avec la tangente).

L : longueur de la branche de la clothoïde.

X_m : Abscisse du centre du cercle.

KE : Extrémité de la clothoïde.

A : Paramètre de la clothoïde.

KA : Origine de la clothoïde.

τ : Angle des tangentes.

SL : Corde (KA – KE).

M : Centre de cercle.

X : Abscisse de KE.

Y : Origine de KE.

t : tangente courte.

T : tangente longue.

III.2.4.LES CONDITIONS DE RACCORDEMENT :

La longueur de raccordement progressif doit être suffisante pour assurer les conditions suivantes [6]:

III.2.4.1. Condition de confort optique :

Cette condition a pour objet d'assurer une vue satisfaisante de la route et de ses obstacles éventuels et en particulier de rendre perceptible suffisamment à l'avance la courbure de traces de façon à obtenir la sécurité de conduite la plus grande possible.

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

$\tau > 3^\circ$ soit $\tau > 1/18$ rads

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

$$R > A \geq R/3$$

D'après les règles générales de B(40):

- $R \leq 1500$ m $\Delta R = 1$ m (éventuellement 0,5m) $L = \sqrt{24.R.\Delta R}$
- $1500 < R \leq 5000$ m $L \geq R/9$
- $R > 5000$ m $\Delta R = 2,5$ m $L = 7,75\sqrt{R}$

III.2.4.2. Condition de confort dynamique :

Cette condition consiste à limiter le temps de parcours Δt du raccordement et la variation par unité de temps de l'accélération transversale d'un véhicule.

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

Avec:

V_r : vitesse de base (km/h).

R : rayon en (m).

Δd : variation de dévers. $\Delta d = (d_{final} - d_{init})$

III.2.4.3. Condition de gauchissement :

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

$$L \geq l \times \Delta d \times V_r$$

Avec:

L: Longueur de raccordement.

l: Largeur de la chaussée.

Δd : variation de dévers.

Remarque :

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

Cette variation est limitée à 2%.

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

Ainsi : (L en m, Δd en %, et V en km/h).

III.2.5. NOTION DE DEVERS :

Le devers est par définition la pente transversale de la chaussée, il permet l'évacuation des eaux pluviales pour les alignements droits et assure la stabilité des véhicules en courbe [20].

La pente transversale choisie résulte d'un compromis entre la limitation de l'instabilité des véhicules.

Lorsqu' ils passent d'un versant à l'autre et la recherche d'un écoulement rapide des eaux de pluies.

III.2.5.1. Devers en alignement :

En alignement le devers est destiné à assurer l'évacuation rapide des eaux superficielles de la chaussée. Il est pris égal à: $d_{min} = 3\%$.

III.2.5.2. Devers en courbe :

En courbe permet de:

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

III.2.5.3. Rayon de courbure :

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

III.2.5.4. Calcul des devers :

Dans les alignements droits et dans les courbes de $R \geq R_{Hnd}$ le dévers est égal à 3% et pour les courbes de rayon $R < R_{Hnd}$ un calcul de devers peut être fait par l'interpolation en $1/R$.

$$R_{Hm} < R < R_{Hn} \quad \text{on a:} \quad \frac{d(R) - d(R_{Hm})}{1/R - 1/R_{Hm}} = \frac{d(R_{Hm}) - d(R_{Hn})}{1/R_{Hm} - 1/R_{Hn}}$$

$$R_{Hn} < R < R_{Hd} \quad \text{on a:} \quad \frac{d(R) - d(R_{Hd})}{1/R - 1/R_{Hd}} = \frac{d(R_{Hn}) - d(R_{Hd})}{1/R_{Hn} - 1/R_{Hd}}$$

Les rayons compris entre R_{Hd} et R_{Hnd} sont au dévers minimal mais des rayons supérieur à R_{Hnd} peuvent être déversés s'il n'en résulte aucune dépense notable et notamment aucune perturbation sur le plan de drainage.

a) Raccordement de devers :

En alignement droit les devers sont de type unique et ont des valeurs constantes (3%), en courbe ils ont des valeurs supérieures (de 3 à 7%).

Le raccordement des alignements droits aux courbes se fait par des clothoïde:

- Dans le cas où les devers sont de même sens le raccordement sera progressif à partir du début de la clothoïde jusqu'au début de l'arc de cercle.
- Dans le cas où les devers sont opposés, le problème se pose pour passer du devers d'alignement droit au devers de l'arc de cercle, donc il faut passer par un devers nul, ce dernier peut être placé en général à une distance D_{min} .

$$D_{min} = \frac{5}{36} \times V_B \Delta d$$

D_{min} : Appelée longueur de gauchissement.

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

III.2.6.LA VITESSE DE RÉFÈRENCE (DE BASE) :

La vitesse de référence (V_r) est une vitesse prise pour établir un projet de route, elle est le critère principal pour la détermination des valeurs extrêmes des caractéristiques géométriques et autres intervenants dans l'élaboration du tracé d'une route [6].

Pour le confort et la sécurité des usagers, la vitesse de référence ne devrait pas varier sensiblement entre les sections différentes, un changement de celle-ci ne doit être admis qu'en coïncidence avec une discontinuité perceptible à l'utilisateur (traverser d'une ville, modification du relief, etc.....).

III.2.6.1.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.

III.2.6.2.Vitesse de projet :

La vitesse de projet V_B est la vitesse théorique la plus élevée pouvant être admise en chaque point de la route, compte tenu de la sécurité et du confort dans les conditions normales.

On entend par conditions normales:

- Route propre sèche ou légèrement humide, sans neige ou glace.
- Trafic fluide, de débit inférieur à la capacité admissible.
- Véhicule en bon état de marche et conducteur en bonne conditions normales.

D'après le tableau de B40 en choisir $V_B = 60$ km/h.

III.2.7.CALCUL D'AXE :

Cette étape ne peut être effectuée parfaitement qu'après avoir déterminé le couloir par lequel passera la voie.

Le calcul d'axe consiste à déterminer tous les points de l'axe, en exprimant leurs coordonnées ou directions dans un repère fixe. Ce calcul se fait à partir d'un point fixe dont on connaît ses coordonnées, et il doit suivre les étapes suivantes:

- Calcul de gisements.
- Calcul de l'angle γ entre alignements.
- Calcul de la tangente T.
- Calcul de la corde SL.
- Calcul de l'angle polaire σ .

- Vérification de non chevauchement.
- Calcul de l'arc de cercle.
- Calcul des coordonnées des points singuliers.
- Calcul de kilométrage des points particuliers.

III.2.7.1.Exemple de calcul d'axe manuellement :

Pour illustrer notre travail de calcul d'axe, il nous semble qu'il est intéressant de détailler au moins un calcul d'une liaison de notre axe. La liaison que l'on a choisie se situe à début de notre projet.

Tableau (III- 3) : Les coordonnées des sommets et le rayon utilisé sont comme suit :

Les stations	X(m)	Y(m)	R(m)	V _r (km/h)
S1(P1)	1845,809	7505,1105	R=400	V _r =60
S0(P13)	1964,5085	7586,228		
S2(P30)	2142,329	7660,495		

III.2.7.2.Raccordement circulaire :

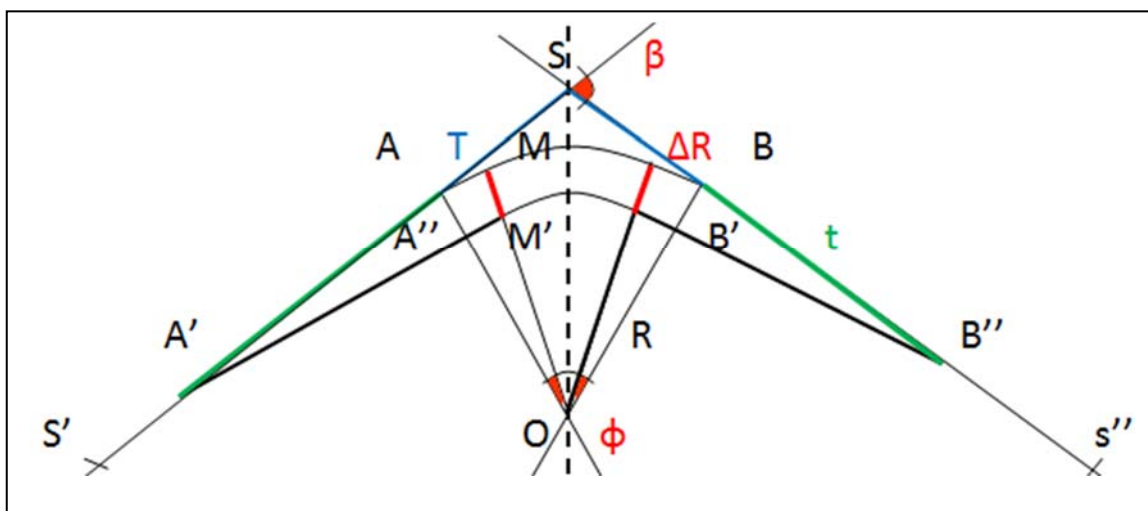


Fig. (III-4) : Élément de clothoïde.

1) développement de l'arc (longueur circulaire de l'arc)

$$D=AB=R \times \beta = 400 \times \beta = 139,62\text{m} \quad \beta = [\text{rd}] \quad \beta = 20^\circ$$

2) la tangente $T=AS=BS$:

$$\text{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{T}{R} \Rightarrow T = R \times \text{tg} \frac{\beta}{2} = 400 \times \text{tg} \frac{20}{2} = 70,53\text{m}$$

3) la bissectrice SM :

$$SM = \frac{R}{\cos \frac{\beta}{2}} - R \Rightarrow SM = \frac{400}{\cos \frac{20}{2}} - 400 = 6,17\text{m}$$

III.2.7.3. Raccordement progressif :

On Choisi la longueur du raccordement progressif L :

La clothoïde est défini par un rayon R et son développement.

a) Détermination A :

Selon le règlement B40 on a :

$$\begin{aligned} R < R_{\text{hnd}} \quad 400 < 650\text{m} & \implies R/3 < A < R \\ & \implies 400/3 < A < 400 \\ & \implies 134 < A < 400 \end{aligned}$$

b) Détermination de la valeur minimale de L (LONGUEUR DE LA CLOTHOIDE) :

• Condition de confort optique :

$$R=400\text{m} \leq 650\text{m} \Rightarrow L \geq \sqrt{24 \times R \times \Delta R}$$

On prendre : $\Delta R = 1\text{m}$ (éventuellement 0.5).

$$L_1 \geq \sqrt{24 \times 400 \times 1} = 98\text{m}$$

$$\text{Donc: } L_1 = 98\text{m} \dots\dots\dots(1)$$

• **Condition de confort dynamique :**

$$R_{HN} \leq R \leq R_{Hd}$$

$$\Delta d = d - (-3) \quad d = 7$$

$$\Rightarrow \Delta d = 7 - (-3) = 10\%$$

$$L_2 \geq \frac{V_r^2}{18} \times \left(\frac{V_r^2}{127 \cdot R} - \Delta d \right) \Rightarrow L \geq \frac{60^2}{18} \times \left(\frac{60^2}{127 \times 400} - 0.100 \right) = 5,83\text{m}$$

$$\text{Donc : } L_2 = 5,83\text{m} \dots\dots\dots(2)$$

• **Condition de gauchissement :**

$$L_3 \geq \frac{l \times \Delta d \times V}{50} \Rightarrow L \geq \frac{7 \times 0.100 \times 60}{50} = 0.84\text{m}$$

$$\text{Donc: } L_3 = 0.84\text{m} \dots\dots\dots(3)$$

$$L = \max(L_1, L_2, L_3) = 98\text{m}$$

• **Vérification de la condition d'aménagement (disposition du raccordement progressif) :**

$$2\phi = \frac{L}{R} \leq \beta$$

. Si $2\phi > \beta$ il faut augmenter le rayon, on diminue L

$$L = 98 \quad , \quad R = 400$$

$$2\phi = \frac{98}{400} = 0,245 \leq \beta = 0,35$$

• **Détermination le paramètre de la clothoïde A :**

$$A = \sqrt{R \times L} = \sqrt{400 \times 98} = 198\text{m}$$

- **Détermination des coordonnées du point finale du raccordement progressif**

(X_0, Y_0) par l'intermédiaire de l'abaque de la clothoïde unité :

$$S_1 = \frac{L}{A} = \frac{98}{198} = 0,495$$

D'après le tableau clothoïde unité : $(X_1, Y_1) = (0,499219 ; 0,020810)$.

$$X_0 = X_1 \cdot A \Rightarrow X_0 = 0,499219 \times 198 = 98,845\text{m}$$

$$Y_0 = Y_1 \cdot A \Rightarrow y_0 = 0,020810 \times 198 = 4,12\text{m}$$

- **Détermination des déplacements t et ΔR :**

$$t = x_0 - R \sin \omega = 98,845 - 400 \sin 7,02 = 50,1\text{m}$$

$$\Delta R = y_0 - R (1 - \cos \omega) = 4,12 - 400 (1 - \cos 7,02) = 1,1214 \text{ m}$$

- **Détermination du déplacement de la courbe :**

$$SM' = SM + \Delta R$$

$$SM' = 6,17 + 1,1214 = 7,2914\text{m}$$

- **Le nouveau déplacement de la courbe/ au sommet S :**

$$D_0 = (\beta - 2\omega) \times R \quad (\beta \text{ et } \omega \text{ en [rd]})$$

$$D_0 = (0,35 - 2 \times 0,1225) \times 400 = 42\text{m}$$

- **Détermination les distances cumulées [A, A'] ; [B, B'] :**

$$\text{Distances cumule : } (A') = SS' - (t + T)$$

$$\text{Distances cumule : } A' = \sqrt{(1964,5085 - 1845,809)^2 + (7586,228 - 7505,1105)^2} - (50,1 + 70,53) = 22,73\text{m}$$

$$\text{Distance cumule (A'')} = \text{distance cumule (A')} + L \Rightarrow 22,73 + 98 = 120,73\text{m}$$

$$\text{Distance cumule (B')} = \text{distance cumule (A'')} + D_0 \Rightarrow 120,73 + 42 = 162,73\text{m}$$

$$\text{Distance cumule (B'')} = \text{distance cumule (B')} + L \Rightarrow 162,73 + 98 = 260,73\text{m}$$

III.3.PROFIL EN LONG :

III.3.1.INTRODUCTION :

Le profil en long est une coupe longitudinale du terrain suivant un plan vertical passant par l'axe de la route. Il se compose de segments de droite de déclivité en rampe et en pente et des raccordements circulaires, ou parabolique.

Ces pentes et rampes peuvent être raccordées entre elles soit par des angles saillants ou par des angles rentrants. La courbe de raccordement les plus courants utilisés est le parabolique qui facilite l'implantation des points du projet.

III.3.2.REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE DU PROFIL EN LONG :

Dans ce paragraphe on va citer les règles qu'il faut en tenir compte –sauf dans des cas exceptionnels- lors de la conception du profil en long. L'élaboration du tracé s'appuiera sur les règles suivantes [13]:

- Respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par les règlements en vigueur.
- Eviter les angles rentrants en déblai, car il faut éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulement.
- Un profil en long en léger remblai est préférable à un profil en long en léger déblai, qui complique l'évacuation des eaux et isole la route du paysage.
- Pour assurer un bon écoulement des eaux, on placera les zones des dévers nul dans une pente du profil en long.
- Eviter une hauteur excessive en remblai.
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long, la combinaison des alignements et des courbes en profil en long doit obéir à des certaines règles notamment :
 - Eviter les lignes brisées constituées par de nombreux segments de pentes voisines, les remplacer par un cercle unique, ou une combinaison de cercles et arcs à courbures progressives de très grand rayon.
 - Remplacer deux cercles voisins de même sens par un cercle unique.
 - Adapter le profil en long aux grandes lignes du paysage.

III.3.3.LES ELEMENTS DE COMPOSITION DU PROFIL EN LONG :

Le profil en long est constitué d'une succession de segments de droites (rampes et pentes) raccordés par des courbes circulaires, pour chaque point du profil en long on doit déterminer [13]:

- L'altitude du terrain naturel.
- L'altitude du projet.
- La déclivité du projet. etc.....

III.3.4.COORDINATION DU TRACÉ EN PLAN ET PROFIL EN LONG :

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

- D'avoir une vue satisfaisante de la route en sus des conditions de visibilité minimale.
- D'envisager de loin l'évolution du tracé.
- De distinguer clairement les dispositions des points singuliers (carrefours, échangeurs, etc.) pour éviter les défauts résultants d'une mauvaise coordination tracé en plan et profil en long, les règles suivantes sont à suivre:
 - D'augmenter le ripage du raccordement introduisant une courbe en plan si le profil en long est convexe.
 - D'amorcer la courbe en plan avant un point haut.
 - Lorsque le tracé en plan et le profil en long sont simultanément en courbe.
 - De faire coïncider le plus possible les raccordements du tracé en plan et celle du profil en long (porter les rayons de raccordement vertical à 6 fois au moins le rayon en plan).

III.3.5.DECLIVITES :

On appelle déclivité d'une route la tangente de l'angle qui fait le profil en long avec l'horizontale. Elle prend le nom de pente pour les descentes et rampe pour les montées [13].

III.3.5.1. Déclivité minimum :

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

On adopte en général les pentes longitudinales minimales suivantes:

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

III.3.5.2. Déclivité maximum :

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

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

Donc, La déclivité maximale dépend de:

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

Tableau (III-4) : La pente maximale en fonction de la vitesse de référence [13]

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

- Pour notre cas la vitesse $V_r=60$ Km/h donc la pente maximale $I_{max} =7\%$.

III.3.6.RACCORDEMENTS EN PROFIL EN LONG :

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

- Les raccordements en angle saillant (convexes).
- Les raccordements en angles rentrants (concaves).

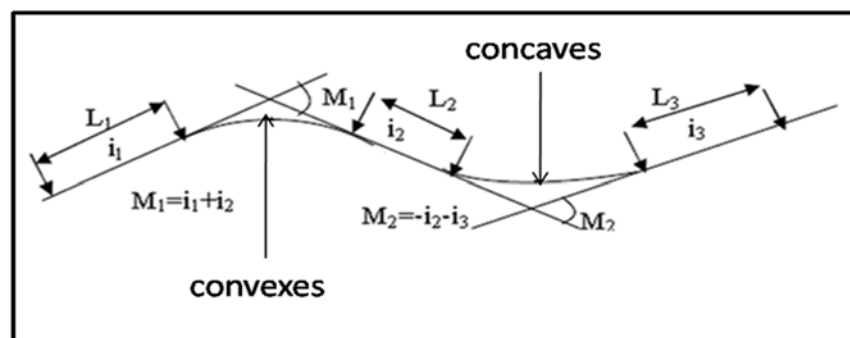


Figure (III-5). Les éléments géométriques du profil en long [10].

III.3.6.1.Raccordement convexes angle saillant :

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

a) Condition de confort :

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

Limitation de l'accélération verticale [13]:

$$\frac{g}{40} \longrightarrow \text{(Cat 1-2)}$$

$$\frac{g}{30} \longrightarrow \text{(Cat 3-4-5)}$$

Le rayon de raccordement à retenir sera donc égal à : $\frac{v_r^2}{R_v} < \frac{g}{30}$

Avec : $g = 10 \text{ (m/s}^2\text{)}$ et $v = \frac{v_r}{3.6}$

Pour (cat 1-2) $R_v \geq 0,3V^2$

Pour (cat 3-4-5) $R_v \geq 0,23V^2$

b) Condition de visibilité :

Elle intervient seulement dans les raccordements des points hauts comme conditions supplémentaires à celle de confort.

Il faut que deux véhicules circulent en sens opposés puissent s'apercevoir à une distance double de la distance d'arrêt au minimum. Le rayon de raccordement est donné par la formule suivante [13]:

$$R_v = \frac{D_1^2}{2(h_0 + h_1 + 2 \times \sqrt{h_0 h_1})}$$

Avec :

D_1 : 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 bretelles : $h_0 = 1.1 \text{ m}$, $h_1 = 0.15 \text{ m}$

$$\text{On trouve: } R_v = 0.24D_1^2$$

Tableau (III.5) : rayons verticaux pour un angle saillant [13].

Catégorie		C4
Environnement		E3
Vitesses de base (Km/h)		60
Déclivité maximale I_{max} (%)		7%
Rayon	Symbole	Valeur
Min-absolu	R_{vm}	1300
Min-normal	R_{vn}	3500
Dépassement	R_{vd}	5000

III.3.6.2.Raccordement concaves (angle rentrant) :

a) Le confort dynamique :

En angle rentrant le problème de visibilité ne se pose pas, mais il y a apparition d'une accélération importante (accélération) qui influence sur le confort des véhicules.

On distingue deux types de rayon verticaux :

- Rayon minimal absolu calculé pour une vitesse V_r
- Rayon minimal normal calculé pour une vitesse V_r+20
- Pour assurer le confort dynamique des véhicules, on admet qu'une telle accélération est supportable si elle ne dépasse pas :
 - $\frac{g}{40}$ (g : la pesanteur) pour les catégories 1,2
 - $\frac{g}{30}$ pour les catégories 3,4 et 5
 - $\gamma_c \leq \frac{g}{40}$ ou $\frac{g}{30} \implies \frac{V^2}{R_v} \leq \frac{g}{40}$ ou $\frac{g}{30}$

$$\implies R'_v \geq \frac{V^2}{\frac{g}{30}}$$

b) La visibilité nocturne :

Dans un raccordement concave, les conditions de visibilité du jour ne sont pas déterminantes, lorsque la route n'est pas éclairée la visibilité de nuit être prise en compte.

Cette condition s'exprime par la relation [13]:

$$R'_v = \frac{d_1^2}{(1.5+0.035d_1)}$$

Avec :

R'_v : Rayon minimum du cercle de raccordement.

d_1 : distance d'arrêt.

c) Condition esthétiques :

Il faut éviter de donner au profil en long une allure sinusoïdale en changeant le sens de déclivités sur des distances courtes, pour éviter cet effet on imposera une longueur de raccordement minimale et ($b > 50$) pour des devers $d < 10\%$ (spécial échangeur) [13]:

$$R_{vmin} = 100 \times \frac{50}{\Delta d(\%)}$$

Δd : changement des devers.

R_{vmin} : rayon vertical minimal.

Pour une vitesse $V_r = 60$ km/h, une catégorie C4 et environnement E3 on a le tableau suivant :

Tableau (III.6): Rayons verticaux pour un angle rentrant [13].

Catégorie		C4
Environnement		E3
Vitesses de base (Km/h)		60
Déclivité maximale $I_{max}(\%)$		7%
Rayon	Symbole	Valeur
Min-absolu	R_{vm}	1100
Min-normal	R_{vn}	1600
Dépassement	R_{vd}	5000

III.3.7.DETERMINATION PRATIQUES DU PROFIL EN LONG :

III.3.7.1.calcul sans raccordement périodique :

Déclivité:

$$Cp (B) = Cp (A) + p (AB)$$

$$Cp (B) = Cp (A) + pX \quad \text{rampe}$$

$$Cp (A) = Cp(A) - pX \quad \text{pente}$$

III.3.7.2. calcul un raccordement parabolique :

B : différence de 2 déclivités successives muni de leur signe (pente-rampe)

Tangente u et flèche des raccordements verticaux.

a- tangente :

$$u = OB = OC$$

$$\tan\left(\frac{\beta}{2}\right) = \frac{u}{R} \quad \tan\left(\frac{\beta}{2}\right) \approx \left(\frac{\beta}{2}\right)$$

$$\left(\frac{\beta}{2}\right) = \frac{u}{R} \implies u = R\left(\frac{\beta}{2}\right) \dots\dots (1)$$

$$u = R \frac{i1+i2}{2}$$

b- flèche $OM=f$:

$$R^2 + u^2 = (R + f)^2 \quad f^2 : \text{est négligeable}$$

$$R^2 + u^2 = R^2 + 2Rf \quad \Rightarrow \quad \boxed{f = \frac{u^2}{2R}} \quad \dots\dots (2)$$

$$\text{Remplaçons (1) dans (2) :} \quad \Rightarrow \quad \boxed{f = R \frac{B^2}{8}}$$

III.3.7.3. coordonnées des points de raccordement :

Pour faciliter les calculs, on remplace l'équation du cercle $x^2 + y^2 - 2Ry = 0$

Par l'équation de la parabole $x^2 - 2Ry = 0$ qui a comme solution $y = \frac{x^2}{2R}$

Le point m'appartient à la parabole

$$CP(M) = Cp(B) + px - \frac{x^2}{2R}$$

$$CP(M) = Cp(B) + pu - \frac{u^2}{2R}$$

III.3.8. EXEMPLE DE CALCUL DE PROFIL EN LONG :

III.3.8.1. cas d'un rayon convexe :

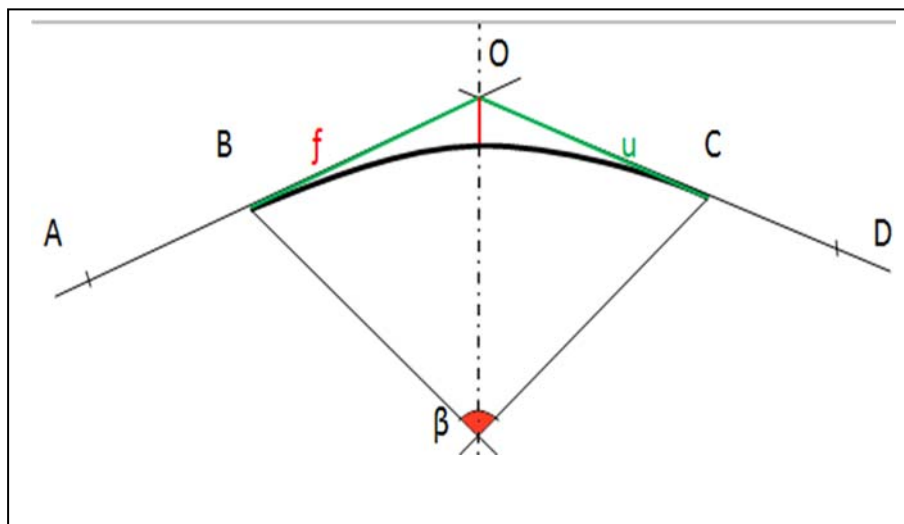


Fig.(III-6). Cas d'un rayon convexe.

Tableau : Exemple de calcul

Cas d'un rayon convexe		
R=1500m		
	Pk(m)	Cp(m)
A	1060,00	671,11
S	1136,45	672,837
D	1220,00	669,45

a) calcul un raccordement parabolique :

- Calcul des pentes :

$$p_1 = \frac{Cp_S - Cp_A}{X_S - X_A} \times 100 = \frac{672,837 - 671,11}{1136,45 - 1060,00} \times 100 = 2,26\%$$

Donc :

$$p_1 = 2,26\%$$

$$p_2 = \frac{Cp_S - Cp_D}{X_S - X_D} \times 100 = \frac{672,837 - 669,45}{1136,45 - 1220,00} \times 100 = -4,05\%$$

Donc :

$$p_2 = -4,05\%$$

- Calcul des tangents :

$$u = \frac{R}{2} |p_2 + p_1| = \frac{1500}{2} |4,05 + 2,26| = 47,32$$

Donc :

$$u = 47,32$$

- Calcul des flèches :

$$H = \frac{u^2}{2R} = \frac{47,32^2}{2 \times 1500} = 0,75\text{m}$$

Donc :

H=0,75m

Calcul les distances cumulées :

$$\begin{cases} X_B = X_A + X = 1060,00 + 60 = 1120,00\text{m} \\ Z_B = Z_A + X \cdot p_1 = 671,11 + 60 \cdot 0,0226 = 672,466\text{m} \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_C = X_G + u = 1167,32 + 47,32 = 1214,64\text{m} \\ Z_C = Z_B + 2u \cdot p_1 - \frac{(2T)^2}{2R} = 672,466 + 2 \cdot 47,32 \cdot 0,0226 - \frac{(2 \cdot 47,32)^2}{2 \cdot 1500} = 671,62\text{m} \end{cases}$$

Calcul des coordonnées du sommet de la courbe :

$$\begin{cases} X_G = X_B + u = 1120,00 + 47,32 = 1167,32\text{m} \\ Z_G = Z_B + u \cdot p_1 - \frac{u^2}{2R} = 672,466 + 47,32 \cdot 0,0226 - \frac{47,32^2}{2 \cdot 1500} = 672,79\text{m} \end{cases}$$

Tableau : les distances et les cotes projet d'un exemple de rayon convexe

	A	B	C	D	S	G
X(m)	1060,00	1120,00	1214,64	1220	1136,45	1167,32
Y(m)	671,11	672,466	671,62	669,45	672,837	672,79

III.4.PROFIL EN TRAVERS

III.4.1. DEFINITION:

Le profil en travers d'une chaussée est la coupe perpendiculaire à l'axe de la chaussée par un plan vertical.

Le profil en travers contient tous les éléments constitutifs de la future route, dans toutes les situations (remblais, déblais, trottoirs). [13]

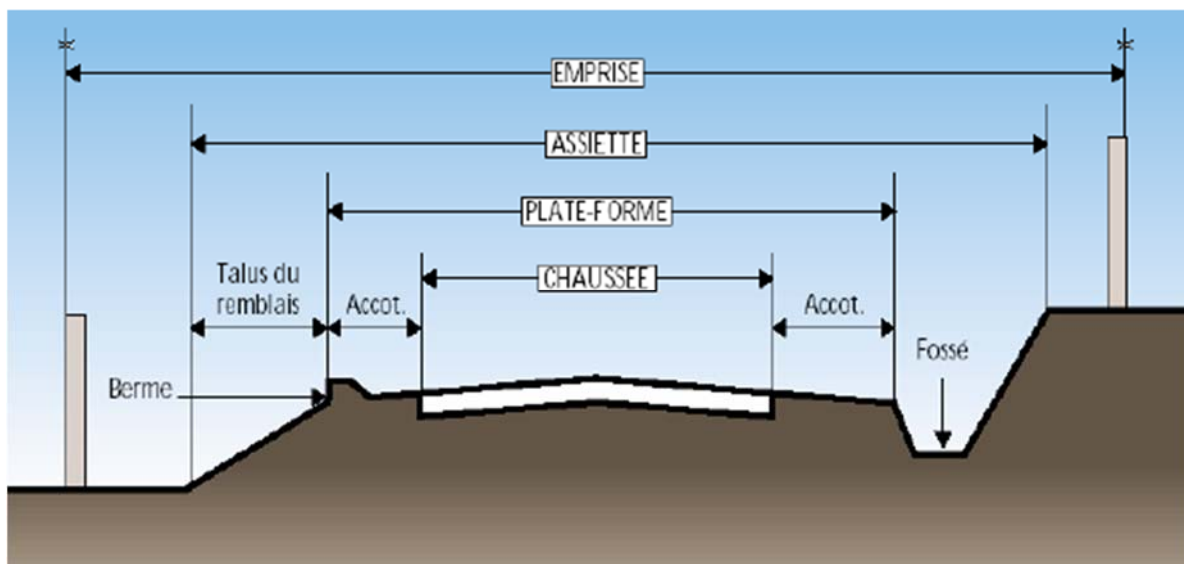


Fig.(III-7) .Profil en travers d'une chaussée bidirectionnelle [27]

III.4.2.Différents type de profil en travers :

Dans une étude d'un projet de route l'ingénieur doit dessiner deux types de profil en travers. [16]

III.4.2.1. Profil en travers type :

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

III.4.2.2.Profil en travers courants :

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

a) L'emprise :

L'emprise de la route est la surface de terrain appartenant à la collectivité, c'est limites du domaine public (Figure III-7)

b) L'assiette :

L'assiette de la route est la surface du terrain réellement dire les limites des terrassements.

c) La plate forme :

Elle est entre le fossé et les crêtes des talus en remblais ; la plate forme plus les accotements (éventuellement la terre)

d) Chaussée :

La chaussée est la partie de la route affectée à la circulation des véhicules, la chaussée unique ou chaussée séparée par un terre

e) Accotements :

Les accotements sont les zones latérales qui bordent extérieurement la chaussée. Ils peuvent être dérasés ou surélevés [17].

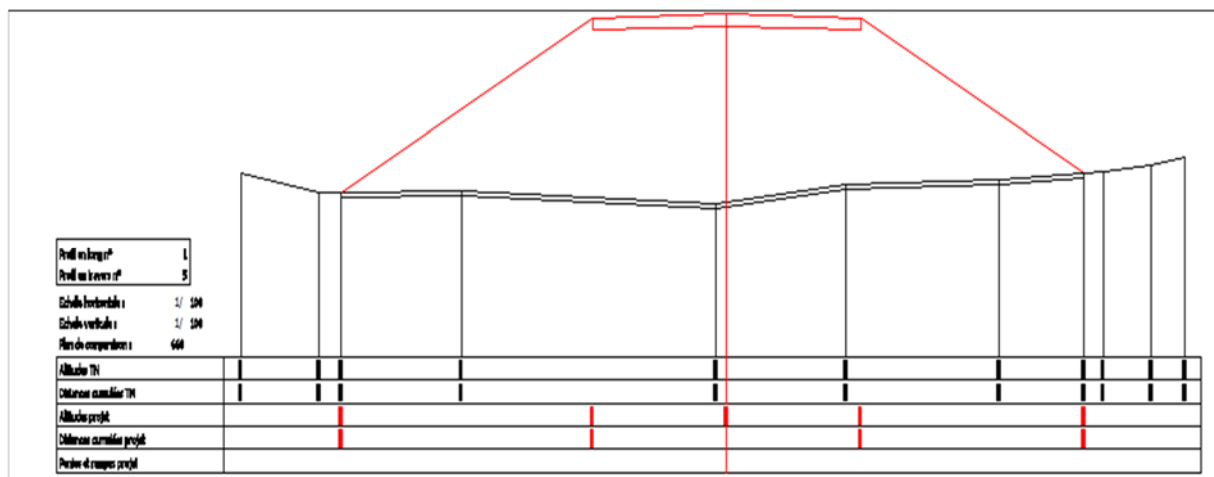


Fig. (III-8) : Profil en travers type remblai.

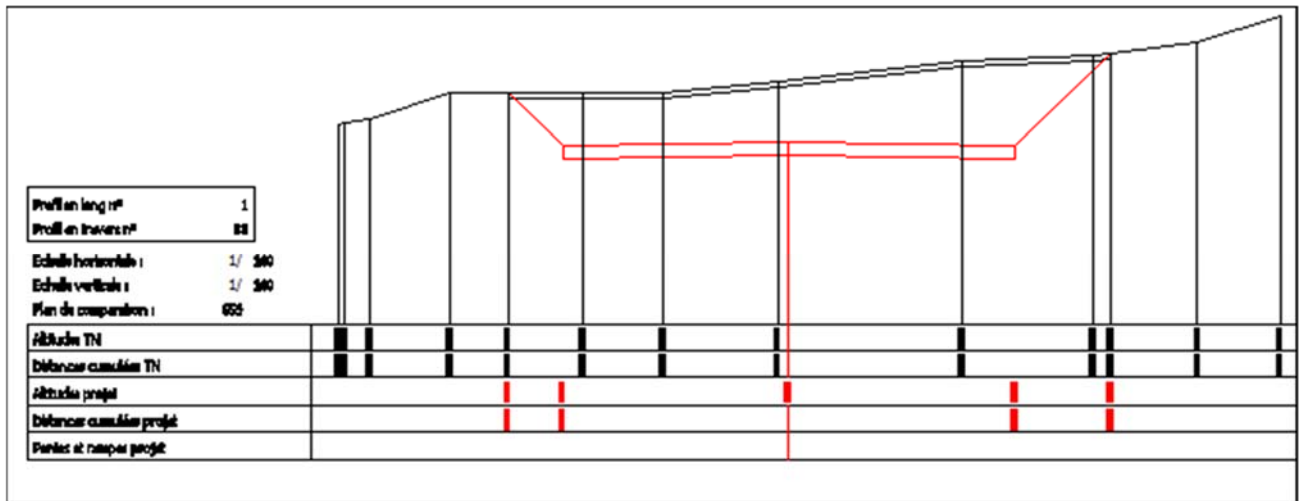


Fig. (III-9) : Profil en travers type déblai.

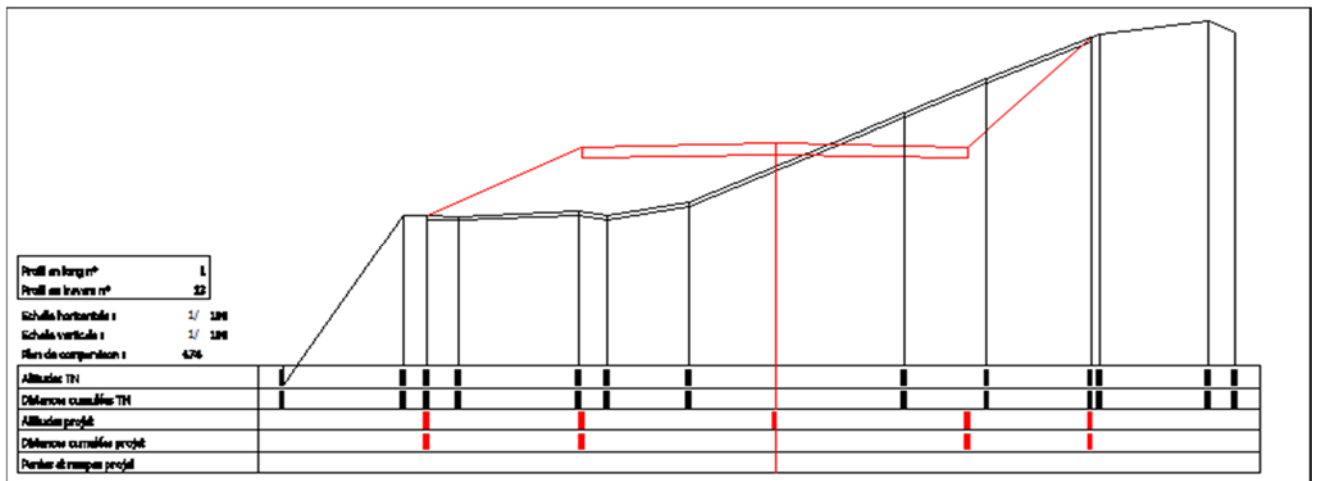


Fig. (III-10) : Profil en travers type mixte.

III.5.CONCLUSION :

Après l'étude de trafic, le profil en travers type retenu pour notre route sera composé d'une chaussée bidirectionnelle.

Les éléments du profil en travers type sont comme suit :

- Une chaussées de deux voies de 3,5m chacune : $(2 \times 3,5) = 7,00$
- Des accotements de 1,50m à chaque coté de la chaussée : $(1,50 \text{ m} \times 2) = 3\text{m}$

Le tracé en plan a été effectué conformément en norme B40.

Pour le profil en long la déclivité de 7% prévu par les normes B40 n'a pas été respectée suite à la demande du metre de l'ouvrage pour des raisons économiques et a été fixé à 11% à cause des quantités des remblais importants.

Le dessin de profil en travers nous à permet de déterminer les quantités de déblais et remblais d'après le tableau de la cubature (annexe).

IV.1.ASSAINISSEMENT :

IV.1.1.INTRODUCTION :

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

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

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

IV.1.1.1. Pour les chaussées :

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

IV.1.1.2.Pour les talus :

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

Les études hydrauliques inventorieront l'existence de cours d'eau et d'une manière générale des écoulements d'eau en surface. Elles détermineront ensuite l'incidence du projet sur ces écoulements et les équipements à prendre en compte pour maintenir ces écoulements [31].

IV.1.2.OBJECTIF D'ASSAINISSEMENT :

L'assainissement des routes doit remplir les objectifs suivants:

- Assurer l'évacuation rapide des eaux tombant et s'écoulant directement sur le revêtement de la chaussée (danger d'aquaplaning).
- Le maintien de bonne condition de viabilité.
- Réduction du coût d'entretien.
- Eviter les problèmes d'érosion.

- Assurer l'évacuation des eaux d'infiltration à travers de corps de la chaussée. (danger de ramollissement du terrain sous-jacent et effet de gel).
- Evacuation des eaux s'infiltrant dans le terrain en amont de la plate-forme (danger de diminution de l'importance de celle-ci et l'effet de gel)[28].

IV.1.3 ASSAINISSEMENT DE LA CHAUSSEE :

La détermination du débouché a donné aux ouvrages tels que dalots, ponceaux, ponts, etc. dépend du débit de crue qui est calculé d'après les mêmes considérations.

Les ouvrages sous chaussée les plus courants utilisés pour l'évacuation des petits débits sont les dalots et buses à section circulaire.

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

- Les réseaux de canalisation longitudinaux (fossés, cuvettes, caniveaux).
- Ouvrages transversaux et ouvrages de raccordement (regards, décente d'eau, tête de collecteur et dalot).

Les ouvrages d'assainissement doivent être conçus dans le but d'assainir la chaussée et l'emprise de la route dans les meilleures conditions possibles et avec un moindre coût [30].

a) Fossé de pied du talus de déblai :

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

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

b) Fossé de crête de déblai :

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

c) Fossé de pied 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 [19].

d) Drain:

Le drainage du corps de chaussée est assuré par une tranchée drainant longeant de route. Ce drain est constitué par un matériau graveleux comportant en son centre un tuyau circulaire en plastique perforé à sa génératrice supérieure à 150 mm de diamètre. Ce drain est positionné sous le fossé trapézoïdal et à la limite des accotements.

Les eaux collectées par le drain sont rejetées dans des regards de drainage et en dernier lieu dans les points de rejet [31].

e) Descente d'eau :

Dans les sections route en remblai, lorsque la hauteur de ces remblais dépasse les 2,50 m, les eaux de ruissellement de la chaussée sont évacuées par des descentes d'eau. Elles sont espacées généralement tous les 50 m lorsque la pente en profil en long est supérieure à 1%. Lorsque la pente est inférieure à 1 %, leur espacement est varié entre 30 m et 40 m.

IV.1.4.DEFINITION DES TERMES HYDRAULIQUES :**IV.1.4.1. Bassin d'eau :**

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) [29].

IV.1.4.2. collecteur principal (canalisation) :

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

Les collecteurs sont constitués par des tuyaux enterrés alignés, entre les regards avec un diamètre et une pente constante[29].

IV.1.4.3. Chambre de visite (cheminée) :

C'est un ouvrage placé sur les canalisations pour permettre leur contrôle et le nettoyage. Les chambres de visites sont à prévoir aux changements de calibre, de direction ou de pente longitudinale de la canalisation, aussi qu'aux endroits où deux collecteurs se rejoignent [29].

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

IV.1.4.4.Sacs :

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

IV.1.4.5.Fosses de crêtes :

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

IV.1.4.6. Décente d'eau :

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

IV.1.4.7.Les regards :

ils sont constitués d'un puits vertical, muni d'un tampon en fonte ou en béton armé, dont le rôle est d'assurer pour le réseau des fonctions de raccordement des conduites, de ventilation et d'entretien entre autres et aussi à résister aux charges roulantes et aux poussées des terres [29].

IV.1.5.DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE RETABLISSEMENT DES ECOULEMENTS :

Le dimensionnement de différents types d'ouvrages d'assainissement résulte de la comparaison du débit d'apport et le débit de saturation de chaque type d'ouvrage.

IV.1.5.1. Estimation de débit d'apport QA :

Le débit d'apport est calculé en appliquant la méthode Rationnelle:

$$Q_a = K \times C \times I_t \times A$$

Avec:

K : coefficient qui permet la conversion des unités (les mm/h en l/s) ; K= 2.778.

I_t : intensité moyenne de la pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration (mm/h).

C : coefficient de ruissellement.

A : aire du bassin versant (m²).

IV.1.5.2. Détermination de l'intensité de la pluie I_t :

$$I_t = I \times \frac{1}{t_c^\beta}$$

Avec:

$$\beta = b - 1$$

I : Intensité de la pluie (mm/h).

t_c : Temps de concentration (h).

a) L'intensité horaire **I**:

$$I = \left(\frac{P_j}{24} \right)$$

Avec:

P (t) : Hauteur de la pluie de durée t_c (mm).

b) Temps de concentration t_c :

➤ Si $A < 5 \text{ km}^2$, selon VENTURA:

$$t_c = 0,127 \times \sqrt{\frac{A}{P}}$$

➤ Si $5 \text{ km}^2 \leq A < 25 \text{ km}^2$, selon GIANDOTTI:

$$t_c = 0,108 \times \frac{\sqrt[3]{A \times L}}{\sqrt{P}}$$

➤ Si $25 \text{ km}^2 \leq A < 200 \text{ km}^2$, selon PASSINI:

$$t_c = \frac{(4 \times \sqrt{A}) + (1,5 \times L)}{(0,8 \sqrt{H})}$$

Avec:

A : Superficie du bassin versant (km²).

P : Pente moyenne du bassin versant (m.p.m).

L : Longueur de bassin versant (km).

H : La différence entre la cote moyenne et la cote minimale (m).

c) Pluie journalière maximale annuelle p_j :

Pluie journalière maximale annuelle p_j est donnée par la formule de GALTON.

$$P_j(\%) = \left[\frac{P_{j\text{moy}}}{\sqrt{C_v^2 + 1}} \right] \times \left[e^{\left(u \sqrt{\ln(C_v^2 + 1)} \right)} \right]$$

Avec:

$P_{j\text{moy}}$: Pluie moyenne maximum journalière.

C_v : coefficient de variation climatique.

U : variation de Gauss, donnée par le tableau suivant:

Tableau (IV-1) : Variation de Gauss [23].

Fréquence (%)	50	20	10	2	1
Période de retour (ans)	2	5	10	50	100
Variable de Gauss (U)	0	0,84	1,28	2,05	2,372

- Les buses seront dimensionnées pour une période de retour 10 ans.
- Les ponceaux (dalots) seront dimensionnés pour une période de retour 50 ans.
- Les ponts dimensionnés pour une période de retour 100 ans.

IV.1.5.3. Coefficient de ruissellement :

C'est le rapport de volume d'eau qui ruisselle sur cette surface au volume d'eau reçu sur elle. Il peut être choisi suivant le tableau ci-après:

Tableau (IV-2) : Coefficient de ruissellement [23].

Type de chaussée	C	Valeurs prises
Chaussée revêtue en enrobés	0.80 à 0.95	0.95
Accotement ou sol légèrement perméable	0.15 à 0.40	0.40
Talus	0.10 à 0.30	0.30
Terrain naturel	0.05 à 0.20	0.20

IV.1.5.4. Débit de saturation :

Le débit de saturation est donné par la formule de Manning- Strickler [23] :

$$Q_s = S_m \times K_{ST} \times R_H^{2/3} \times J^{1/2}$$

Avec:

S_m : Section mouillée.

K_{ST} : coefficient de STRICKLER.

$K_{ST} = 70$ pour les dalots.

$K_{ST} = 80$ pour les buses.

R_H : rayon hydraulique (m) $R_H = S/p$.

J : la pente moyenne de l'ouvrage.

IV.1.5.5.Dimensionnement des dalots :

La section de dalot est calculée comme pour le fossé, seulement on change la hauteur de remplissage et la hauteur du dalot.

On fixe la hauteur tenant compte du profil en long et on calcule l'ouverture L nécessaire et on fixe aussi la hauteur de remplissage à $\rho= 0.8h$ [19].

On à:

Périmètre mouillé : $P_m=(2\times 0.8\times h)+L$

Section mouillée : $S_m=0.8\times h\times L$

Rayon mouillé: $R_h=\frac{S_m}{P_m}=\frac{0.8\times h\times L}{1,6\times h+L}$

$Q_a=Q_s=S_m\times K_{ST}\times R_H^{2/3}\times J^{1/2}$

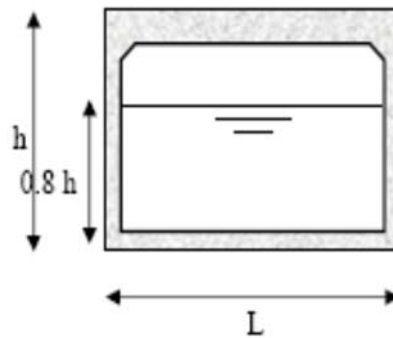


Fig. (IV-1) : Dalots [19].

$$Q_s=(0.8\times h\times L)\times K_{ST}\times \left[\frac{0.8\times h\times L}{1.6\times h+L}\right]^{2/3}\times J^{1/2}$$

Avec:

$K_{ST} = 70$ (dalot en béton).

J : pente du dalot.

Le débit rapporté par le bassin versant, doit être inférieur ou égal au débit de saturation du dalot.

$$Q_s = Q_a$$

$$Q_a=(0.8\times h\times L)\times 70\times \left[\frac{0.8\times h\times L}{1,6\times h+L}\right]^{2/3}\times J^{1/2}$$

On tire la valeur de h qui vérifie cette inégalité, par itération.

IV.1.5.6. Dimensionnement des fossés :

Les fossés récupèrent les eaux de ruissellement venant de la chaussée, de l'accotement et de talus. Pour mon étude j'adopte des fossés en béton, ceci est fonction des pentes du fossé et la nature des matériaux le sol support.

Le profil en travers hypothétique de fossé est donné dans la figure ci-dessous.

On fixe la base de la fosse à (b = 50 cm) et la pente du talus à (p=1/n =1/1.5) d'où la possibilité de calcul le rayon hydraulique en fonction de la hauteur h [19].

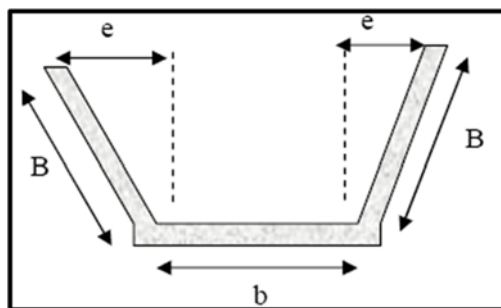


Fig.(IV-2) : Fossés [19].

- **Calcul de la surface mouillée:**

$$S_m = (b \times h) + 2 \times \left(\frac{e \times h}{2} \right)$$

$\tan \alpha = \frac{h}{e} = \frac{1}{n}$ D'où $e = n \times h$

$$S_m = (b \times h) + (n \times h^2) = h \times [b + (n \times h)]$$

$$S_m = h \times [b + (n \times h)]$$

- **Calcul du périmètre mouille:**

$$P_m = b + 2B$$

Avec :

$$B = \sqrt{h^2 + e^2} = \sqrt{h^2 + (h^2 \times n^2)} = h \times \sqrt{1 + n^2}$$

$$P_m = b + 2 h \times \sqrt{1 + n^2}$$

- **Calcul le rayon hydraulique:**

$$R_h = S_m / P_m = \frac{h \times [b + (n \times h)]}{b + 2 h \times \sqrt{1+n^2}}$$

Les dimensions des fossés sont obtenues en écrivant l'égalité du débit d'apport et débit d'écoulement au point de saturation. La hauteur (h) d'eau dans le fossé sera obtenue en faisant l'égalité suivant:

$$Q_a = Q_s \Rightarrow K \times C \times I_t \times A = S_m \times K_{ST} \times R_H^{2/3} \times J^{1/2}$$

$$Q_a = K_{ST} \times h \times [b + (n \times h)] \times \left[\frac{h \times [b + (n \times h)]}{b + 2 h \times \sqrt{1+n^2}} \right]^{2/3} \times J^{1/2}$$

IV.1.6. APPLICATION AU PROJET :

Les données pluviométriques nécessaires pour le calcul :

- Pluie moyenne journalière $P_j = 60\text{mm}$.
- Exposant climatique $b = 0,36$.
- Le coefficient de variation climatique $C_v = 0,37$

IV.1.6.1. Calcul hydraulique :

- **Calcul de la pluie journalière maximale annuelle P_j :**

$$P_j = \left[\frac{P_{j\text{moy}}}{\sqrt{C_v^2 + 1}} \right] \times \left[e^{(u \times \sqrt{\ln(C_v^2 + 1)})} \right]$$

- **Pendant 10ans:**

$$P_j(10\%) = \left[\frac{60}{\sqrt{0,37^2 + 1}} \right] \times \left[e^{(1,28 \times \sqrt{\ln(0,37^2 + 1)})} \right]$$

$$P_j(10\%) = 89,004\text{mm}$$

- **Pendant 50ans:**

$u = 2,05$, $C_v = 0,37$, $P_{j\text{moy}} = 60\text{mm}$.

$$P_j(2\%) = \left[\frac{60}{\sqrt{0,37^2 + 1}} \right] \times \left[e^{(2,05 \times \sqrt{\ln(0,37^2 + 1)})} \right]$$

$$P_j(2\%) = 117,27\text{mm}$$

L'intensité horaire I :

$$I = \left(\frac{P_j}{24} \right)$$

Pour: $P_j (10\%)=89,004\text{mm}$.

$$I(10\%) = \left(\frac{89,004}{24}\right) = 3,7085\text{mm/h}$$

$$I(10\%)=3,7085\text{mm/h}$$

Pour: $P_j (2\%)=117,27\text{mm}$.

$$I(2\%) = \left(\frac{117,27}{24}\right) = 4,88 \text{ mm/h}$$

$$I(2\%)=4,88 \text{ mm/h}$$

IV.1.6.2.Calcul de la surface du bassin versant :

Les buses ainsi que les fossés sont dimensionnés pour évacuer le débit apporté par l'ensemble des bassins versants de la chaussée et l'accotement et le talus.

$$A_C = 7.2202.10^{-4} = 1,5414 \text{ ha (Surface den chaussé).}$$

$$A_A = 3 \times 2202.10^{-4} = 0,66066 \text{ ha (Surface des accotements).}$$

$$A_{\text{total}} = A_C + A_A = 1,5414 + 0,66066 = 2,202\text{ha}$$

$$A_{\text{total}}=2,202\text{ha}$$

IV.1.6.3.Dimensionnement des dalots :

- Calcul des débits d'apport:

$$Q_a = C \times I_t \times A$$

Q_a : le débit apporté

C : Coefficient de ruissellement

I_t : L'intensité horaire

$$C = \frac{\text{vol ruisselant}}{\text{vol ruisselé}} = 0,9$$

$$I (l / s. \text{Ha}) = 1,667 \cdot \frac{54}{60} = 150,03 \text{ l/S Ha}$$

$$Q_a = 0,9 \cdot 150,03 \cdot 2,202 = 297,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_a = V \cdot S = \frac{V \pi D^2}{4} \quad V = 1\text{m/s}$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 297,33 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 1}} = 0,62\text{m}$$

On prend: **D=1250mm ; pente=2%**

IV.1.6.4. Dimensionnement des fossés :

A partir des résultats obtenus précédemment:

$$Qa = K_{ST} \times h \times [b + (n \times h)] \times \left[\frac{h \times [b + (n \times h)]}{b + 2 h \times \sqrt{1+n^2}} \right]^{2/3} \times J^{1/2}$$

$J = 2 \%$, $K_{ST} = 30$, $b = 0,5 \text{ m}$

$$0,28 = 30 \times h \times [0,5 + (1,5 \times h)] \times \left[\frac{h \times [0,5 + (1,5 \times h)]}{0,5 + 2 h \times \sqrt{1+1,5^2}} \right]^{2/3} \times 0,02^{1/2}$$

D'après le calcul itératif on trouve $h = 0,257 \text{ m}$.

Dimensions retenues du fossé sont : $b = 100 \text{ cm}$; $h = 50 \text{ cm}$.

IV.2. SIGNALISATION :

IV.2.1. INTRODUCTION:

La signalisation routière désigne l'ensemble des signaux conventionnels implantés sur le domaine routier et destinés à assurer la sécurité des usagers de la route, soit en les informant des dangers et des prescriptions relatifs à la circulation ainsi que équipements utiles à la prise de décisions, soit en leur indiquant les repères et équipements utiles à leurs déplacements .

IV.2.2. L'OBJECTIF DE LA SIGNALISATION ROUTIERE:

La signalisation routière a pour objet : [21]

- De rendre plus sûre la circulation routière.
- De faciliter cette circulation.
- D'indiquer ou de rappeler diverses prescriptions particulières de police.
- De donner des informations relatives à l'usage de la route.

IV.2.3. PRINCIPE DE BASE DE LA SIGNALISATION :

Dans la conception et l'implantation de la signalisation routière, on doit respecter les trois principes suivants : [21]

IV.2.3.1. Principes de valorisation :

- La multiplication des signaux nuit à leur efficacité.
- Il faut en placer que s'ils sont indispensables.
- Ils s'ont autant d'obstacle susceptible d'être heurtés.

IV.2.3.2. Principe de lisibilité

- Il ne faut pas demander à l'utilisateur un effort de lecture ou de mémoire irréalisable.
- Il faut réduire et simplifier les indications au maximum.

IV.2.3.3. Principe de concentration :

- Il faut les implanter de façon que l'utilisateur puisse les percevoir d'un seul coup d'œil, de nuit comme de jour.
- Dans ce cas, plusieurs signaux doivent être vus en même temps ou à peu près en même temps.

IV.2.4. CATEGORIES DE LA SIGNALISATION :

Les différentes signalisations on a répartie en trois catégories [20] :

- **Signaux d'avertissement de danger :** (type A)
- **Signaux de réglementation :**

Se subdivisant en :

Signaux de priorités (type B).

Signaux d'interdiction ou de restriction (type C).

Signaux d'obligation (type D).

- **Signaux d'indication :**

Se compose de :

Signaux d'identification des routes (type E).

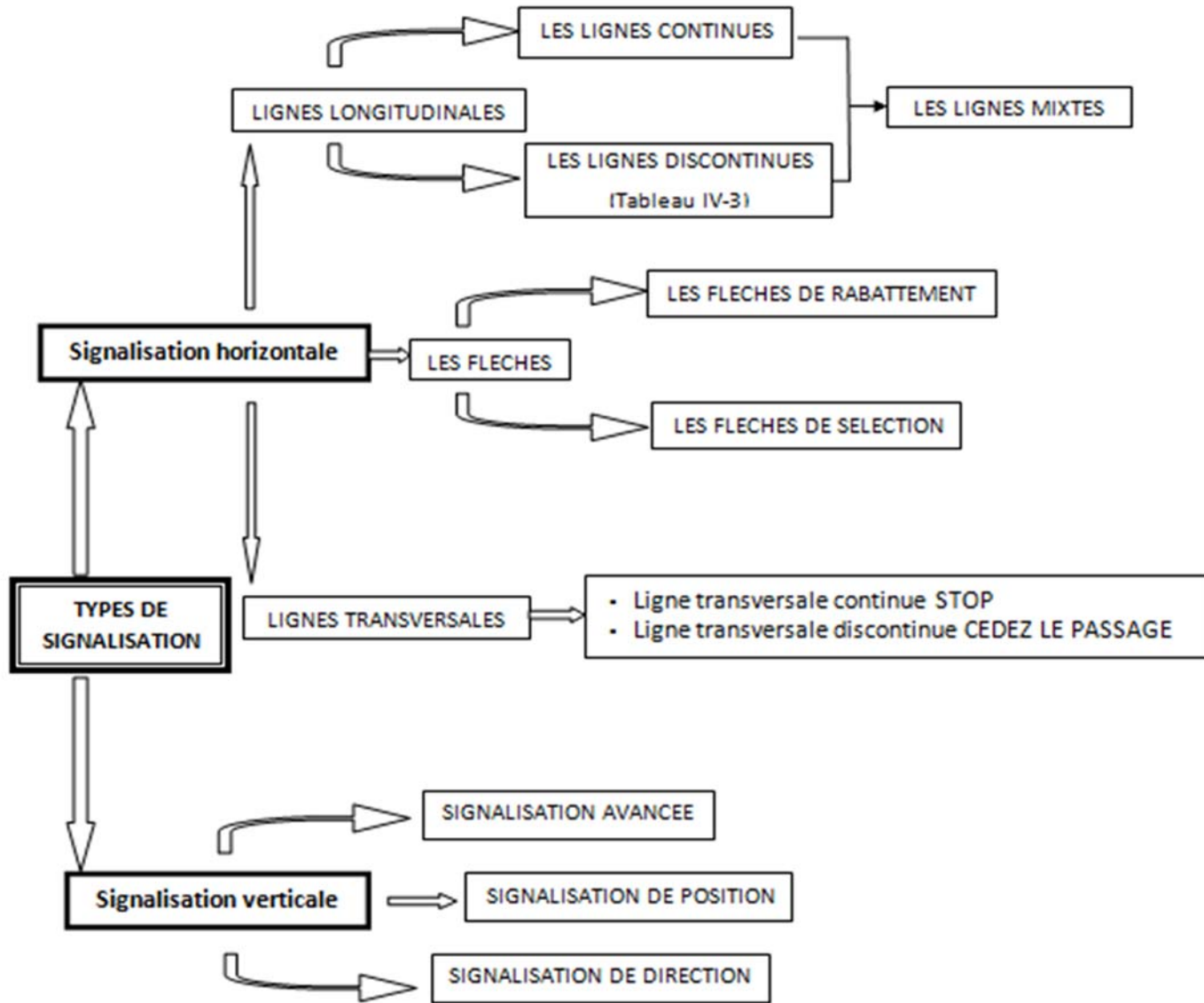
Signaux de pré-signalisation (type E).

Signaux de direction (type E).

Signaux de localisation (type E).

Signaux de confirmation (type E).

On distingue deux types de signalisation:



a. Modulation des lignes discontinues :

Elles sont basées sur une longueur périodique de 13m. Leur caractéristique sont données par le tableau suivant :

Tableau. (IV-3) : caractéristique des lignes discontinues [22].

Type de Modulation	Longueur de trait (m)	Intervalle entre trait (m)	Rapport plein-vide
T_1	3.00	10.00	~3/1
T_2	3.00	3.5	~1
T_3	3.00	1.33	~3

b. Largeurs des lignes :

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

- U= 7.5cm sur autoroutes et voies rapides urbaines.
- U= 6.0cm sur les routes et voies urbaines.
- U= 5.0cm sur les autres routes.
- Pour notre cas la largeur des lignes est définie d'un **U= 6cm.**

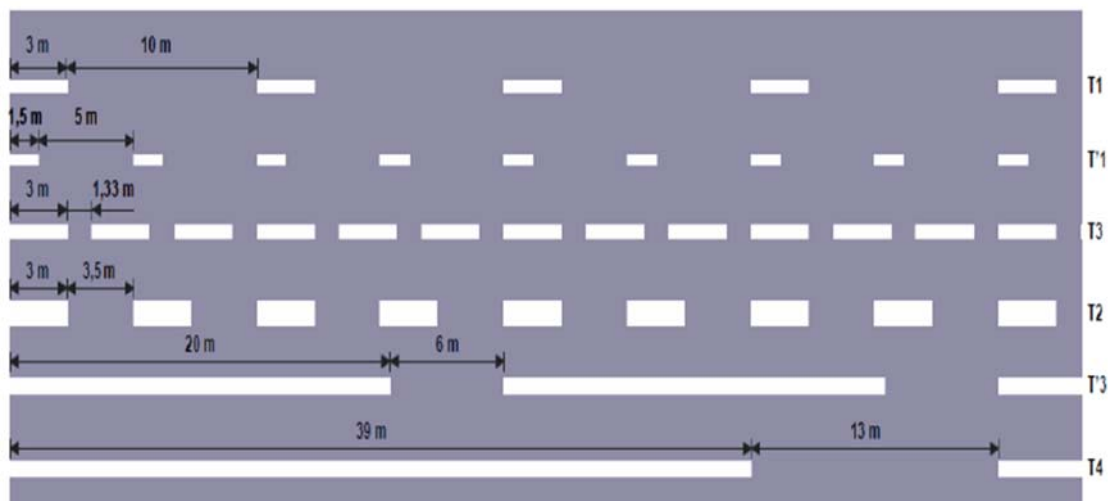


Fig.(IV- 3): Modulation des lignes longitudinales [18].

IV.2.5.Application au projet :

IV.2.5.1.L'éclairage :

L'éclairage de la route doit permettre d'illuminer l'ensemble de l'espace public de la ville (zone piétonne, quartier résidentiel, rue, route). Outre l'aspect décoratif ou esthétique qu'ils peuvent apporter, il s'agit de la possibilité de percevoir les points singuliers et les obstacles éventuels.

a) L'éclairage de notre route :

Des lampadaires hauteur de 8 à 12 m sont implantés sur les trottoirs le long de la section étudiée avec un espacement varie de 24 à 30 m de façon à avoir un niveau d'éclairage équilibré pour le sens de notre route.

IV.2.5.2.Signalisation :

Les différents types de panneaux de signalisation utilisés pour notre étude sont les suivants :

Tableau. (IV-4) : Panneaux de signalisation de danger (type A)





Noms des panneaux	Schéma
Panneau (A18) : Circulation dans les deux sens	
Panneau (A16) : descente dangereuse.	
Panneau (A1a) : d'annonce de virage dangereux à droite	
Panneau (A1b) : d'annonce de virage dangereux à gauche	

Tableau. (IV-5): Panneaux d’interdiction de priorité et d’obligation (type B)




Noms des panneaux	Schéma
Panneau (B3) : Interdiction de dépassement	
Panneau (B3a) : Interdiction pour les véhicules de plus de 3,5t d’effectuer un dépassement	
Panneau (B14) : Limitation de vitesse (la vitesse max à ne pas dépasser)	

Tableau (IV-6): Panneaux de signalisation d’intersection et de priorité (type AB)


Noms des panneaux	Schéma
Panneau (AB4) : Arrêt obligatoire à l’intersection	



Fig.(IV-4) :Signalisation de direction(type E4)

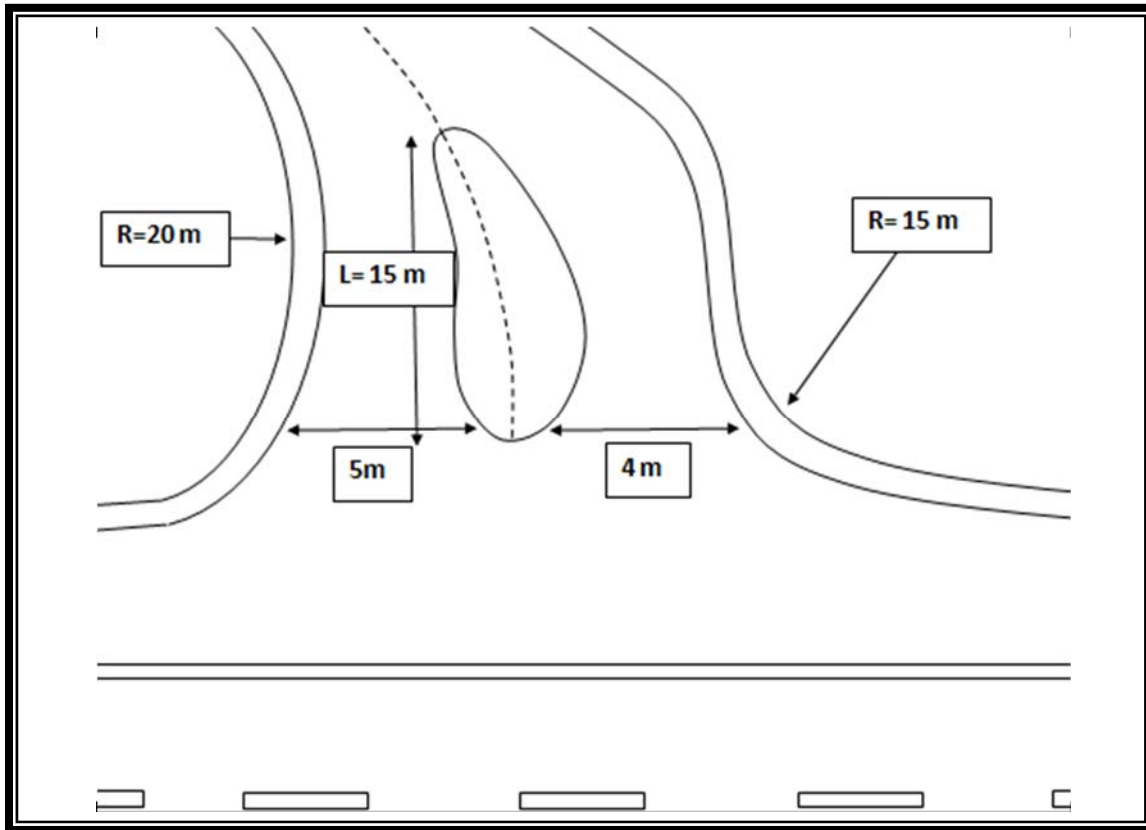


Fig. (IV-5) : Caractéristiques géométriques du carrefour.

IV.2.6.Conclusion :

L'écoulement des eaux est perturbé par la création de la nouvelle ligne, donc pour notre projet on propose des ouvrages hydrauliques (une buse et fossés), pour la buse il est de forme circulaire dont les dimensions sont $\Phi= 1250\text{ mm}$, et un fossé de (50×100) .

La signalisation routière joue un rôle important qui permet à la circulation de développer dans de très bonnes conditions (vitesse, sécurité). Pour notre cas on a prévue une signalisation vertical et horizontal pour faciliter la tâche à l'usagé.

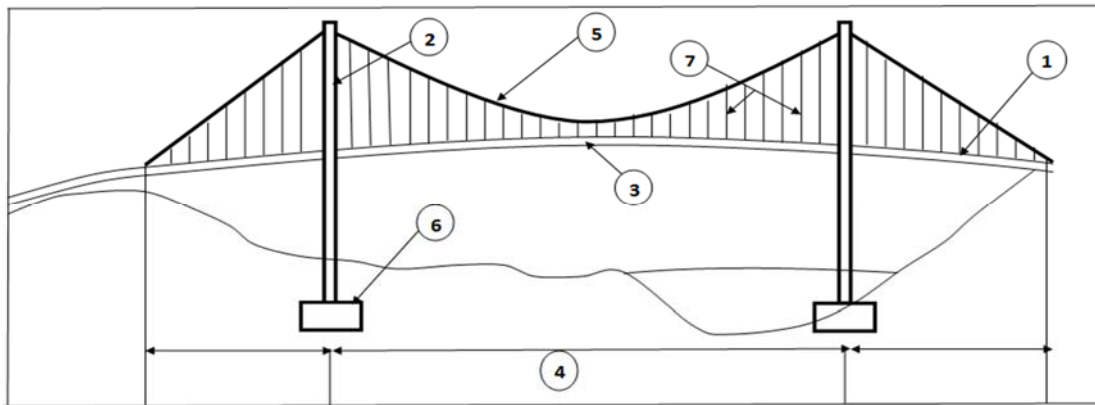
En ce qui concerne le profil en long, le terrain étant très accidenté, on a été amené à réaliser une déclivité de 11%(valeur hors norme) mais avec l'accord du maitre de l'ouvrage.

A cet effet nous proposons comme perspective un pont suspendu qui s'adapte bien à un tel environnement. Une recherche bibliographique nous a amené à un pont (en Chine) qui s'insert dans notre profil en long.

Description du pont [15] :

Un pont suspendu est un pont dont le tablier est littéralement suspendu aux piles (on parle alors de pylônes) par un système de câbles ; les pylônes s'élèvent au-dessus du tablier et supportent deux câbles principaux qui partent d'une culée à l'autre, un de chaque côté du tablier.

Ces câbles soutiennent le tablier par l'intermédiaire d'un ensemble de câbles verticaux.



- 1- **Travée de rive** : Ces deux travées sont celles qui relient la côte au premier pylône.
- 2- **Pylône ou pilier** : Ils soutiennent le câble porteur.
- 3- **Tablier** : C'est sur lui que roulent les voitures.
- 4- **Travée centrale** : Plus longue partie du pont, située entre les deux pylônes.
- 5- **Câble porteur** : Le câble porteur est étendu sur tout le long du pont, et passe par les sommets de deux piliers. Il maintient le pont et en particulier les multiples suspentes.
- 6- **Fondation** : C'est sur elles que les piliers reposent. Elles sont principalement composées de béton.
- 7- **Suspente** : Petits câbles reliant le câble porteur à la travée centrale tout le long du pont.

CONCLUSION GENERALE :

Ce projet de fin d'étude a été une occasion pour nous de s'approcher des professionnels de la route en l'occurrence, les cadres de la direction des travaux publics de Tlemcen.

Le travail effectué dans ce mémoire porte sur l'étude de l'évitement reliant YAGHMORACENE BEN ZIANE- ABDELMOUMEN BEN ALI à la RN22 sur un tronçon de 2km et 203 m.

Pour notre étude nous avons appliqué rigoureusement toutes les normes, les directives et les recommandations liés au domaine routier pour contrecarrer les contraintes rencontrées sur le terrain.

Toute la démarche consiste à trouver un compromis entre un tracé idéal et un tracé tenant compte des contraintes liées à la topographie, le relief et la nature du terrain des zones traversées dans le but d'assurer le maximum de confort et de sécurité des usagers.

Ce projet de route nous a permis de mettre en application les connaissances acquises durant les cinq dernières années de formation, de mieux connaître le déroulement des études d'un projet routier.

Après avoir fait l'étude de trafic qui a donné comme résultats un profil de 1 x 2 voies qui est assez satisfaisant pour un trafic moyen journalier de 3381(v/j) pour l'année 2035.

Après les calculs trouvés, nous avons conclu que :

- Le rayon horizontal minimal RH_m est de 115m
- Le rayon horizontal minimal en angle saillant est de 1300m.
- Le rayon horizontal minimal en angle rentrant est de 1100m.
- Une chaussée de deux voies de largeur 3,5m chacune ($2 \times 3,5$)=7m.
- Un accotement de 1,5m de chaque côté droit de la chaussée ($2 \times 1,5$)=3m.

Pour le dimensionnement du corps de chaussée nous avons utilisé trois méthodes, et après avoir déterminé l'épaisseur on a remarqué que la méthode CBR propose le corps de chaussée le plus économique, la structure de notre chaussée est composée de 6BB+10GB+26GC ; et pour l'aménagement du carrefour et des équipements notre étude a bien garanti la sécurité et la commodité.

- [1]. Michel, Faure. Route les cours de L'ENTPE. tome1. Lyon : ELEAS, 1997. pp35-221 p258.
- [2]. Roger, Coquand. Route circulation tracé et construction. Livre1. Paris: eyrolles, 1985.pp 19-40 p291.
- [3]. B40.Normes technique d'aménagement des routes. Algérie: ministre des travaux publics, octobre1977.
- [4].Djelti, AbdelkaderZakaria ;Hattou, Mohammed. Etude de la réhabilitation du chemin de wilaya CW54.mémoire d'ingénieur. Tlemcen : juillet 2009.pp 12-80 p86.
- [5] : Direction des travaux publics DTP (TLM).
- [6]. LCPC ; SETRA. Catalogue des structures types de chaussée neuves. Paris : Bagnaux, 1977.
- [7]. Hevré, Brunel. Cours de route. France: université d'Orléans I.U.T. de bourges, 2005.pp1-48 p98.<http://www.brunel-ejm.org>.Consulté le 30/03/2012.
- [8]. J, Costet ; G, Sanglerat. Cours pratique de mécanique des sols.4ème trimestre: Dunod, 1983, p 442.
- [9]. AASTHO. American Association of state Highway and Transportation Officials. Interim guide for design of pavement structures; Highway research board: Washington, 1972.
- [10]. LCPC ; SETRA. Manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic. Paris : Bagnaux, 1981.p31.
- [11]. LCPC ; SETRA. Directive pour la réalisation des assises de chaussées en sables traités aux liants hydrauliques. Paris : Bagnaux, 1985.
- [12]. LCPC ; SETRA. Catalogue des structures types de chaussées neuves. Paris : ministres de l'équipement des transports et du logement ; Bagnaux, 1998.297p.
- [13]. LCPC ; SETRA. Réalisation des remblais et des couches de forme ; Guide technique fascicule 1et2. 2ème édition. Paris: Bagnaux, juillet 2000.pp 1-84 p 102.
- [14]. SETRA ; BRENAC. Relations vitesse, courbure, devers ; Note technique. Paris : Bagnaux, 2000.
- [15].Les ponts suspendus en France, LCPC.STRA.1989
- [16] KALL, F. née RAHAL, Tracé en plan. In cours de routes. Edition Ed. :Ecole nationale Supérieure Des Travaux Public ; Alger, 2014, P 57- 83. ISBN 9789961015261.
- [17]. Sétra (1994), aménagement des routes principales (guide technique).
- [18].BERTHIER Jean, 1992 : Projet et construction de la route in Techniques de l'ingénieur, traité construction C5500.
- [19]: SETRA. Aide aux choix solutions d'assainissement et de drainage sur les routes existantes ; méthodologie pratique et efficace de recherche de solutions d'assainissement.

Paris : Bagnaux, 1993. p77.

[20] : Cours de circulation de master 2 génies civil. 2017.Mr GHENNANI B.

[21]: Instruction interministérielle sur la signalisation routière arrêt du 7 Juin 1977 relatif à la signalisation des routes et des autoroutes : Journal officiel du 13 aout 1977.p40

[22] : LCPC ; SETRA. Guide technique; Conception et dimensionnement des structures de chaussée. Paris : Bagnaux, décembre 1994. P250.

[23] : François ; G, Brière. Distribution et collecte des eaux. 2éme édition : Ecole polytechnique de Montréal, 2000. p399.

[24] : GOOGLE EARTH. Consulté le 2/03/2017.

[25] :<http://decoupageadministratifalgerie.blogspot.com/2014/09/monographiede-la-wilayade-tlemcen.html> .Consulté le 20/03/2017.

[26] : Marc Proteau, MARS 2005 : Comparaison entre les chaussées souples bitumineuses et les chaussées rigides en béton.

[27] :Hevré brunel, 2005 : Cours de route. Université d'Orléons I.U.T.Paris.

[28] : LCPC ; SETRA. Guide Technique de l'Assainissement Routier, (SETRA – 2006).p188.

[29]: SETRA. L'eau et la Route; Dispositifs de traitement des eaux pluviales .Volume 7.Paris: Bagnaux, 1997.

[30]. Angelbert ; C, Biaou. Cours d'hydraulique routière.2009.

[31]. B, Metral ; C, Florent. Etude technique du projet routière. Université de Lyon: 2003.