



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil et Architecture



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER ACADEMIQUE

- Filière : TRAVAUX PUBLICS.
- Spécialité : VOIES ET OUVRAGES D'ART (VOA).

Étude de la liaison autoroutière Reliant
La wilaya de Batna a l'autoroute Est-ouest
du Pk 31+260 au Pk 43+260
Lot 2 : du PK 37+260 au PK 43+260.

Présenté par :

- Mr. BELHIA mohamed.
- Mr. BENKERDAGH abderrahmane.

Soutenu le : 26 juin 2024.

Devant le jury de soutenance composé de :

Président: Mr. KERAOUTI rabah.

Encadrant : Mr. ROUAM serik mohamed.

Examineur : Mr. TALIA ahmed.

Année universitaire : 2023-2024.

Remerciement

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

C'est avec une profonde et particulière reconnaissance que nous remercions notre encadreur Mr ROUAM SERIK MOHAMED pour son aide, ses conseils et ses remarques qui nous ont permis d'accomplir notre travail de fin d'étude.

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

Dédicace

Je dédie ce mémoire A

mes chers parents.

*A mes frères qui m'ont toujours aidé et qui ont été
ma première source d'inspiration et de courage, et*

à ma très chère sœur.

*A toute ma famille oncles, tantes et
cousins.*

A tous mes amis.

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

A vous tous.

Dédicace

Je dédie ce projet :

A ma chère mère,

A mon cher père,

*Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me
soutenir*

Et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mon cher grand-père,

Qui je souhaite une bonne santé.

A mes chères ami(e)s

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles

Résumé.

Ce projet de mémoire s'inscrit dans le cadre du programme de développement du réseau routier pour la wilaya de Batna et pour l'Algérie dans son ensemble. Il traite du projet détaillé d'une section de la pénétrante reliant la ville de Batna à l'autoroute Est-Ouest, s'étendant du PK 37+260 au PK 43+260 sur une distance de 06 km. Cette section, actuellement en cours de réalisation, sera une route à 2x2 voies. Son objectif principal est d'assurer une meilleure fluidité du trafic et de la circulation, améliorant ainsi le transport de marchandises et de personnes, tout en réduisant les coûts et en économisant du temps, elle devra assurer la liaison entre la ville de Batna et l'autoroute Est-ouest.

Mots clés : Pénétrante, autoroute, réseau routier.

Abstract.

This project thesis is part of the development program for the road network in the wilaya of Batna and Algeria in general. It addresses the detailed project of a section of the road connecting the city of Batna to the East-West highway, extending from PK 37+260 to PK 43+260 over a distance of 6 km. This section, currently under construction, will be a 2x2 lane road. The primary objective of the road is to ensure better traffic flow and transportation for both goods and people, leading to reduced costs and time savings, it will have ensure the connection between the town of Batna and the East-west highway.

Keywords : Penetrating, Highway, Road network.

ملخص.

هذا المشروع هو جزء من برنامج تطوير شبكة الطرق لولاية باتنة والجزائر بشكل عام. يتناول المشروع التفصيلي لجزء من الطريق الرابط بين مدينة باتنة والطريق السيار شرق-غرب، ويمتد من النقطة الكيلومترية 260+37 إلى النقطة الكيلومترية 260+43 على مسافة 6 كم. هذا الجزء، الذي هو حالياً قيد الإنشاء، سيكون طريقاً مكوناً من مسارين في كل اتجاه. الهدف الرئيسي من هذا الطريق هو ضمان تحسين تدفق حركة المرور والنقل لكل من البضائع والأشخاص، مما يؤدي إلى تقليل التكاليف وتوفير الوقت وسيتعين عليها ضمان الاتصال بين مدينة باتنة والطريق السيار شرق-غرب.

الكلمات المفتاحية: اختراق، الطريق السريع، شبكة الطرق.

Table des matières

Introduction générale

1	CHAPITRE 01 : PRESENTATION DU PROJET	20
1.1	Introduction :	20
1.2	Généralité sur la wilaya de Batna.	20
1.3	Situation géographique de la wilaya de Batna.....	20
1.4	Aspect administratif.	22
1.5	Population.....	22
1.6	Géomorphologie.	23
1.7	Le Relief.	23
1.7.1	Les hautes plaines telliennes :.....	23
1.7.2	Les reliefs montagneux :.....	23
1.8	Le climat.....	23
1.9	Le réseau routier de la wilaya de Batna.	24
1.10	Description du projet.....	25
1.11	Localisation et description de notre tronçon.....	25
1.12	L'objectif du projet.	26
1.13	Conclusion.	26
2	CHAPITRE 02 : NORMES GEOMETRIQUES ET DONNEES DE BASE.	27
2.1	Introduction.	27
2.2	Environnement de la route.....	27
2.2.1	La dénivelée cumulée moyenne.....	27

2.2.1.1	Calcul de la dénivelée cumulée moyenne.....	28
2.2.2	La sinuosité.	36
2.2.2.1	Calcul de la sinuosité.....	36
2.3	Catégorie de la route.	38
2.3.1	Choix de la catégorie :.....	38
2.4	La vitesse de référence.	39
2.5	Conclusion.	39
3	CHAPITRE 03 : TRACE EN PLAN.....	40
3.1	Introduction.	40
3.2	Règles à respecter dans le tracé en plan.	40
3.3	Les éléments du tracé en plan.	41
3.4	Les alignements :	41
3.5	Les arcs de cercle.	43
3.5.1	Stabilité en courbe :.....	43
3.5.2	Courbes en plan.....	43
3.5.2.1	Le rayon minimal absolu RHM.	43
3.5.2.2	Le rayon minimal normal RHN.	44
3.5.2.3	Le rayon minimal déversé (RHd).....	44
3.5.2.4	Le rayon minimal non déversé (RHnd).....	44
3.5.3	Devers associés.	45
3.5.3.1	Dévers en alignement.	46
3.5.3.2	Dévers vers l'intérieur des courbes.....	46

3.6	Les courbes de raccordement.....	47
3.6.1	Rôle et nécessité des courbes de raccordement.	47
3.6.2	Clothoïde.....	48
3.6.2.1	Expression mathématique de la Clothoïde.	48
3.6.2.2	Element de la Clothoïde.	49
3.6.2.3	Longueur de la Clothoïde.	50
3.6.3	Raccordement circulaire.	51
3.7	Application au projet.....	52
3.7.1	Détermination des rayons en plan.	52
3.7.1.1	Paramètres fondamentaux :.....	53
3.7.2	Rayons de courbure choisis pour le tracé en plan de la route.	54
3.7.3	Détermination des dévers aux rayons en plan.....	54
3.7.4	Détermination des coordonnées définissant l'axe de la route.	55
3.7.4.1	Calcul les gisements.	55
3.7.4.2	Calcul des distances.	56
3.7.4.3	L'angle au centre (β) :.....	57
3.7.4.4	Calculs des éléments des raccordements circulaires.	57
3.7.4.5	Calculs les éléments de raccordement progressif (clothoïde).....	59
4	CHAPITRE 04 : PROFIL EN LONG.	63
4.1	Définition.....	63
4.2	Règles à respecter dans le tracé du profil en Long.	63
4.3	Règles à respecter dans le tracé de la ligne rouge.....	64

4.4	Éléments de composition du profil en long.....	64
4.5	Coordination entre le tracé en plan et le profil en long.....	64
4.6	Déclivité.....	65
4.6.1	Déclivité minimum.....	65
4.6.2	Déclivité maximum.....	65
4.7	Les raccordements en profil en long.....	66
4.7.1	Les raccordements en angle saillant (convexes).....	66
4.7.1.1	Condition de confort.....	67
4.7.1.2	Condition de visibilité.....	67
4.7.2	Raccordements concaves (angle rentrant).....	68
4.7.2.1	Condition esthétique.....	68
4.8	Détermination pratique du profil en long.....	69
4.8.1	Détermination de La position du point de rencontre (S).....	70
4.8.2	Calculs de La tangente.....	70
4.8.3	Projection horizontale de la longueur de raccordement.....	70
4.8.4	Calcul de la flèche.....	70
4.8.5	Calcul de la flèche et de l'altitude d'un point courant M sur la courbe.....	71
4.8.6	Calcul des coordonnées du sommet de la courbe (T).....	71
4.9	Exemple de calcul de profil en long rentrant.....	71
4.9.1	Calcul de la tangente.....	71
5	CHAPITRE 05 : PARAMETRE CINEMATIQUE.....	73
5.1	Introduction.....	73

5.2	Distance de freinage.....	73
5.3	Temps de réaction.....	74
5.4	Distance d'arrêt.....	75
5.5	Manœuvre de dépassement.....	76
5.6	Espacement entre deux véhicules	77
5.7	Application au projet.....	77
5.7.1	Distance de freinage.....	77
5.7.2	Distance d'arrêt.....	77
5.7.3	Espacement entre véhicules.....	78
6	CHAPITRE 06 : ETUDE DU TRAFIC.....	79
6.1	Introduction.....	79
6.2	Analyse de trafics.....	79
6.3	Mesure des trafics.....	80
6.3.1	Les comptages.....	80
6.3.1.1	Les comptages manuels.....	80
6.3.1.2	Les comptages automatiques.....	80
6.3.2	Les enquêtes.....	81
6.3.2.1	Les Enquêtes Origine Destination.....	81
6.3.2.2	Les Enquêtes papillons ou distributions.....	81
6.3.2.3	Relevé des plaques minéralogiques.....	81
6.3.2.4	Interview des conducteurs.....	82
6.3.2.5	Les enquêteurs à domicile – Enquête ménage.....	82

6.4	Différents types de trafic.	82
6.5	Modèles de présentation de trafic.	83
6.5.1	Prolongation de l'évolution passée.	83
6.5.2	Corrélation entre le trafic et des paramètres économiques.	83
6.5.3	Modèle gravitaire.	84
6.5.4	Modèle de facteurs croissance.	84
6.6	Calcul de la capacité.	84
6.6.1	Définition de la capacité.	84
6.6.2	La procédure de détermination du nombre de voies.	85
6.6.2.1	Calcul de TJMA horizon.	85
6.6.2.2	Calcul des trafics effectifs.	85
6.6.2.3	Débit de pointe horaire normal	86
6.6.2.4	Débit horaire admissible.	86
6.7	La capacité théorique.	87
6.8	Calcule nombre de voies	87
6.9	Application au projet.	88
6.9.1	Projection future du projet.	88
6.9.2	Trafic Effectif.	88
6.9.3	Débit de point horaire normale.	89
6.9.4	Debit horaire admissible.	89
6.9.5	Calcul nombre des voies.	90
6.9.6	Calcul de l'année de saturation de 2x2 voies.	90

7	Chapitre 07 : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE.....	91
7.1	Généralités.....	91
7.1.1	De la charge des véhicules.....	91
7.1.2	Des intempéries.....	92
7.1.3	Des efforts tangentiels.....	92
7.2	La chaussée.....	92
7.2.1	Au sens géométrique.....	92
7.2.2	Au sens structurel.....	93
7.2.2.1	Couche de surface.....	93
7.2.2.2	Couche de base.....	93
7.2.2.3	Couche de fondation.....	94
7.2.2.4	Couche de forme.....	94
7.3	Les différentes catégories de chaussée.....	95
7.4	Les principales méthodes de dimensionnement.....	96
7.4.1	Method C.B.R (California – Bearing – Ratio).....	97
7.4.2	Coefficient d'équivalence.....	98
7.4.3	Application au projet.....	99
7.4.3.1	Méthode de l'indice CBR.....	99
7.4.4	Calcul des épaisseurs des différentes couches.....	100
7.4.4.1	Épaisseur équivalente :.....	101
8	Chapitre 08 : PROFIL EN TRAVERS.....	102
8.1	Définition.....	102

8.2	Les éléments du profil en travers.....	102
8.3	Différents types de profil.....	104
8.4	Application au projet :.....	105
9	Chapitre 09 : LES CUBATURES.....	107
9.1	Généralités.....	107
9.2	Définition.....	107
9.3	Méthode de calcul des cubatures.....	107
9.4	La méthode SARRAUS.....	108
9.5	Méthode de GULDEN.....	110
9.6	Méthode linéaire.....	110
9.7	Application au projet.....	110
10	CHAPITRE 10 : SIGNALISATION ROUTIERE.....	119
10.1	Introduction.....	119
10.2	Objectifs de signalisation routière.....	119
10.3	Critères à respecter pour les signalisations.....	119
10.4	Types de signalisation.....	120
10.4.1	Signalisation verticale.....	120
10.4.2	Signalisation horizontale.....	121
10.4.3	Marquages longitudinaux :.....	121
10.4.3.1	Lignes continues :.....	121
10.4.3.2	Lignes discontinues :.....	121
10.4.3.3	Largeur Des Lignes.....	122

10.4.4	Marquages transversaux.	123
10.4.5	Autres signalisations.....	123
10.5	Application au projet.....	124
10.5.1	Les signalisations horizontales	124
10.5.1.1	Flèche de rabattement.....	125
10.5.1.2	Schéma de signalisation stop sur chaussée.	126
10.5.1.3	Schémas de marquage par hachures (sur le nez d’îlot).	126
10.5.2	Les signalisations verticales.....	127
10.6	Éclairage.....	129
10.6.1	Catégorie d’éclairage.....	129
10.6.2	Paramètres d’implantation des luminaires.	129
10.6.3	Éclairage d’un point singulier.	130
11	CHAPITRE 11 : Devis quantitatif et estimatif.....	131
	Conclusion générale.	

Liste des figures.

Figure 1.1: Situation géographique de la wilaya de BATNA.	21
Figure 1.2: Wilayas limitrophes de la wilaya de Batna.	21
Figure 1.3: Daïras de la wilaya de Batna.	22
Figure 1.4: Carte du réseau routier de la wilaya de BATNA.	24
Figure 1.5: schéma du projet sur google earth.	25
Figure 1.6: le tronçon étudié.	26
Figure 3.1: Éléments du tracé en plan.	41
Figure 3.2: l'effet de la force centrifuge.	43
Figure 3.3: La Clothoïde.	49
Figure 3.4: Les éléments raccordement circulaire.	51
Figure 3.5: levé de bande de notre projet.	62
Figure 5.1: La distance d'arrêt.	75
Figure 7.1: Les différentes catégories de chaussée.	95
Figure 8.1: Éléments du profil en travers.	102
Figure 8.2: Différents types de profil en travers courant.	105
Figure 8.3: Profil en travers type.	106
Figure 9.1: Volume remblais, déblais.	108
Figure 9.2: Schéma représentant la surface entre profil.	109
Figure 10.1: Flèche de sélection (1).	124
Figure 10.2: Flèche de sélection (2).	124
Figure 10.3: Marque sur la chaussée.	125
Figure 10.4: Flèche de rabattement.	125
Figure 10.5: Schéma de signalisation stop.	126
Figure 10.6: Schémas de marquage.	126

Figure 10.7: Paramètres d'implantation des luminaires. 130

Liste des tableaux.

Tableau 2.1: données de base.....	28
Tableau 2.2: Détermination de la nature des terrains selon B40.....	36
Tableau 2.3: Sinuosité.	37
Tableau 2.4: Environnement de la route.....	37
Tableau 2.5: Vitesse de référence.....	39
Tableau 3.1: Coefficient f' en fonction de la catégorie.	45
Tableau 3.2: rayons du tracé en plan selon les normes B40.....	45
Tableau 3.3: Valeurs des dévers selon les normes Algériennes.....	46
Tableau 3.4: Coefficient du frottement transversal ft.....	46
Tableau 3.5: Les coordonnées planimétriques de l'axe.....	52
Tableau 3.6: les paramètres fondamentaux.....	53
Tableau 3.7: Rayons de courbure choisis.	54
Tableau 3.8: dévers associés des rayons horizontal.	55
Tableau 3.9: récapitulatif.	57
Tableau 3.10: les éléments de raccordement circulaire.....	58
Tableau 3.11: Longueur de la clothoïde.	59
Tableau 3.12: Les paramètres de la clothoïde.....	60
Tableau 3.13: Longueur totale des « courbes / alignements droits ».	61
Tableau 3.14: Pourcentage des alignements droit et courbe.....	61
Tableau 4.1: Valeur de déclivité maximale [NormesB40].	66
Tableau 4.2: Rayons convexes (angle saillant) [B40].	68
Tableau 4.3: Rayons concaves (angle rentrant) [B40].	68
Tableau 4.4: tableau récapitulatif.	69
Tableau 4.5: les valeurs de projet.....	72

Tableau 5.1: Coefficient de frottement longitudinal selon les normes de B40.....	74
Tableau 5.2: Les valeurs du temps de perception réaction t en fonction de E, CAT et Vr.	74
Tableau 5.3: Lois de distance d'arrêt.....	76
Tableau 5.4: Valeur de dvd et dmd en fonction de la vitesse.	76
Tableau 6.1: Valeurs du coefficient P.	86
Tableau 6.2: Valeur de K1.....	87
Tableau 6.3: Valeur de K2.....	87
Tableau 6.4: La capacité théorique.....	87
Tableau 6.5: Tableau récapitulatif des résultats.....	90
Tableau 7.1: Les coefficients d'équivalence pour chaque matériau.	98
Tableau 7.2: tableau de différentes couches de corps de chaussée.	101
Tableau 9.1: Cubatures approchée.	110
Tableau 10.1: Les modulations des lignes discontinues.....	122
Tableau 11.1: Devis quantitatif et estimatif.....	131

INTRODUCTION GENERALE.

La wilaya de Batna, située dans l'est de l'Algérie, est une région en plein essor économique et démographique. Son développement repose en grande partie sur l'amélioration des infrastructures de transport, qui facilitent les échanges et stimulent la croissance économique. Dans ce contexte, la réalisation d'une liaison autoroutière reliant la wilaya de Batna à l'autoroute Est-Ouest s'avère cruciale pour renforcer la connectivité de la région avec le reste du pays.

Le projet de fin d'étude vise à analyser les différentes dimensions de la création de cette infrastructure routière. Cette liaison autoroutière joue un rôle stratégique dans le désenclavement de la wilaya de Batna, en permettant une meilleure intégration de la région dans le réseau routier national.

Le projet porte sur un tronçon spécifique de cette liaison, s'étendant du point kilométrique 37+260 au point kilométrique 43+260 m. L'objectif principal de cette étude est d'évaluer les aspects techniques, économiques, et environnementaux de la construction de cette route, afin d'assurer son efficacité et sa durabilité.

Dans le cadre de cette étude, la planification de la route sera basée sur le guide B40, afin de respecter les normes algériennes en matière de construction routière. Cette approche garantit que le projet sera conforme aux réglementations en vigueur et aux meilleures pratiques en matière de conception et de réalisation d'infrastructures routières.

Pour mener à bien ce projet, plusieurs aspects seront abordés, notamment la conception de l'itinéraire, les études de trafic et d'impact environnemental, ainsi que les considérations économiques et financières liées à la réalisation de ce lot. Les résultats de cette étude permettront de formuler des recommandations pour la mise en œuvre optimale de ce projet d'infrastructure.

En conclusion, ce projet de fin d'étude constitue une étape essentielle dans la planification et la réalisation de la liaison autoroutière entre la wilaya de Batna et l'autoroute Est-Ouest. Il contribue à la modernisation des infrastructures de transport dans la région, favorisant ainsi le développement socio-économique de la wilaya et de l'Algérie dans son ensemble.

CHAPITRE 01 : PRESENTATION DU PROJET

1.1 Introduction :

Le premier chapitre de cette étude offre une vue d'ensemble sur la wilaya de Batna, en présentant ses caractéristiques générales et son importance dans le contexte régional. Il présente également le projet en question, en fournissant des détails sur sa localisation et ses objectifs. De plus, ce chapitre énonce les termes essentiels liés au projet, offrant ainsi une base conceptuelle nécessaire à la compréhension approfondie de l'étude.

1.2 Généralité sur la wilaya de Batna.

La wilaya de Batna est située dans l'est de l'Algérie, au cœur des montagnes de l'Aurès. Elle est l'une des wilayas les plus importantes de la région, tant sur le plan historique que géographique. La wilaya s'étend sur une superficie de plus de 12 000 kilomètres carrés et est connue pour sa diversité topographique, comprenant des montagnes, des plaines et des vallées.

Batna est une région riche en patrimoine culturel et historique, abritant de nombreux sites archéologiques, dont les ruines de Timgad et de Lambaesis, qui témoignent de l'époque romaine. La wilaya est également reconnue pour ses traditions et sa culture berbère.

Économiquement, Batna est une région agricole majeure, produisant principalement des céréales, des fruits et des légumes. Elle possède également un potentiel industriel croissant, notamment dans les secteurs de l'agroalimentaire et de la transformation. Grâce à sa position stratégique, Batna joue un rôle clé dans le développement économique de l'est de l'Algérie.

1.3 Situation géographique de la wilaya de Batna.

La wilaya de Batna est située sur la partie Est de l'Algérie, à la jonction de l'Atlas Télienne et de l'Atlas Saharienne. Les wilayas limitrophes sont, Oum El Bouaghi, Mila et Sétif au nord, Khenchla à l'Est, Msila à l'Ouest et Biskra au sud, occupant une position géographique centrale pouvant lui confier un rôle stratégique lors de l'élaboration du schéma national d'aménagement du territoire.

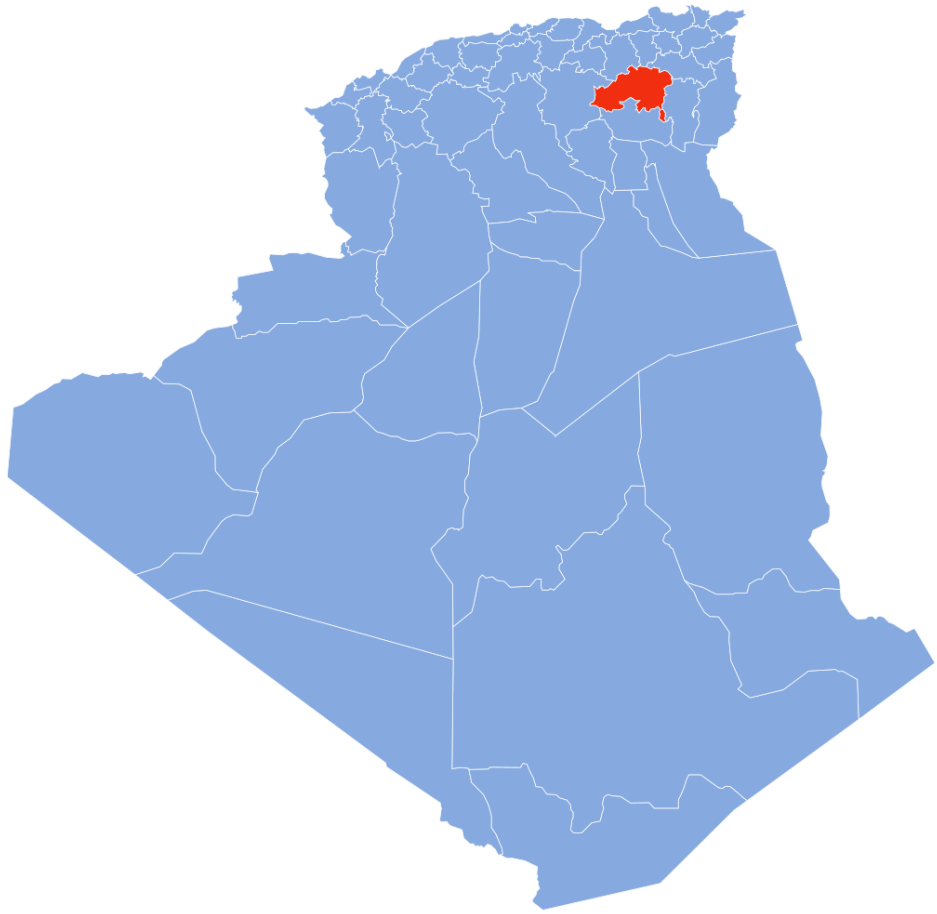


Figure 1.1: Situation géographique de la wilaya de BATNA.



Figure 1.2: Wilayas limitrophes de la wilaya de Batna.

1.4 Aspect administratif.

La wilaya de Batna est composée de 21 daïras (circonscriptions administratives), chacune comprenant plusieurs communes pour un total de 61 communes.

Les daïras sont :

1. Aïn Djasser
2. Aïn Touta
3. Arris
4. Barika
5. Batna
6. Bouzina
7. Chemora
8. Djezzar
9. El Madher
10. Ichmoul
11. Menaâ
12. Merouana
13. N'Gaous
14. Ouled Si Slimane
15. Ras El Aioun
16. Seggana
17. Seriana
18. Tazoult
19. Teniet El Abed
20. Timgad

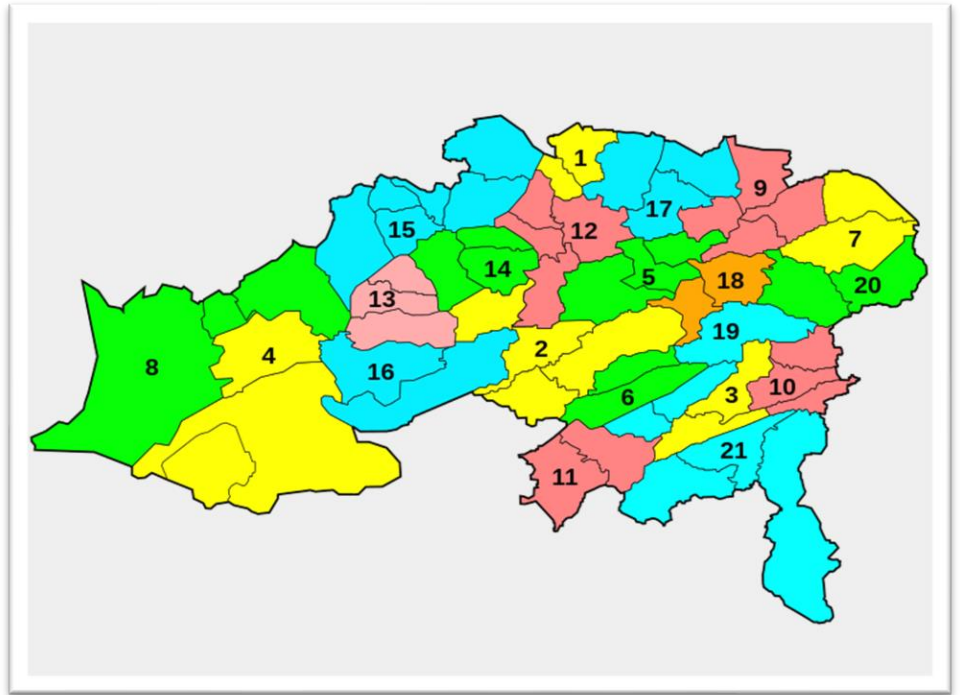


Figure 1.3: Daïras de la wilaya de Batna

1.5 Population.

La wilaya de Batna occupe le 5e rang avec une population de 1 128 030 habitants en 200817. La wilaya, et plus largement la région des Aurès, est principalement peuplée de berbères chaouis, souvent trilingues parlant chaoui, arabe algérien et français.

1.6 Géomorphologie.

La région d'étude se situe à l'Est algérien, sa géomorphologie est liée à la tectonique cassante des phases atlasique, où l'on distingue une zone d'effondrement correspondant à la plaine, et une zone surélevée correspondant au massif, au Sud et Sud -Est de la plaine, avec une altitude de 1744m,

1.7 Le Relief.

La jonction des deux Atlas (Tellien et Saharien) constitue la particularité de la Wilaya et organise en même temps la répartition des différents milieux physiques définis comme suit :

1.7.1 Les hautes plaines telliennes :

Au Nord, nous distinguons le domaine des hautes plaines telliennes qui matérialisent la limite Nord de la Wilaya, particulièrement avec la série des petits “ chotts ” tels que :

Chott Beida, chott Taricht, Sebkh et Ezzemoul ...etc. Dans cette partie de la Wilaya les altitudes varient de 800 à 1000 m et les pentes excèdent rarement 3 %.

1.7.2 Les reliefs montagneux :

L'Atlas Tellien par l'ensemble des monts du Hodna, du Bou Taleb, et les Monts de Belezma, et l'Atlas Saharien par les Aurès le Dj. Metlili et les Monts du Zab, forment.

“ L'ossature physique ” principale de la Wilaya et de ce fait constituent l'ensemble physique le plus important du point de vue superficielle (cet ensemble représente 45 % de la surface totale de la Wilaya).

Les altitudes varient de 700 m (la plus basse altitude localisée dans cet ensemble est située sur le versant Nord des Monts du Zab) à 2 326 m au Dj. Chelia (considéré comme le plus haut point de la Wilaya de Batna et même de l'Algérie du Nord).

1.8 Le climat.

Climat de la ville de Batna est celui d'une région semi -aride. La température moyenne est de 4°C en janvier et de 35°C en juillet. Durant l'hiver la température descend en dessous de zéro la nuit avec souvent des gelées (présence de verglas sur les chaussées). Durant l'été la température peut atteindre les 45°C à l'ombre. La pluviométrie moyenne est de 210 mm par

an, alors que la neige très rare, ces dernières années, ne fait son apparition que pendant quelques jours seulement.

1.9 Le réseau routier de la wilaya de Batna.

Le Réseau routier de la wilaya de Batna à une longueur totale de 3 506,00 Km, répartis comme suit :

- Routes nationales : 804km.
- Chemins de wilaya : 650 km.
- Chemins communaux : 1334km.
- Pistes : 720 km.

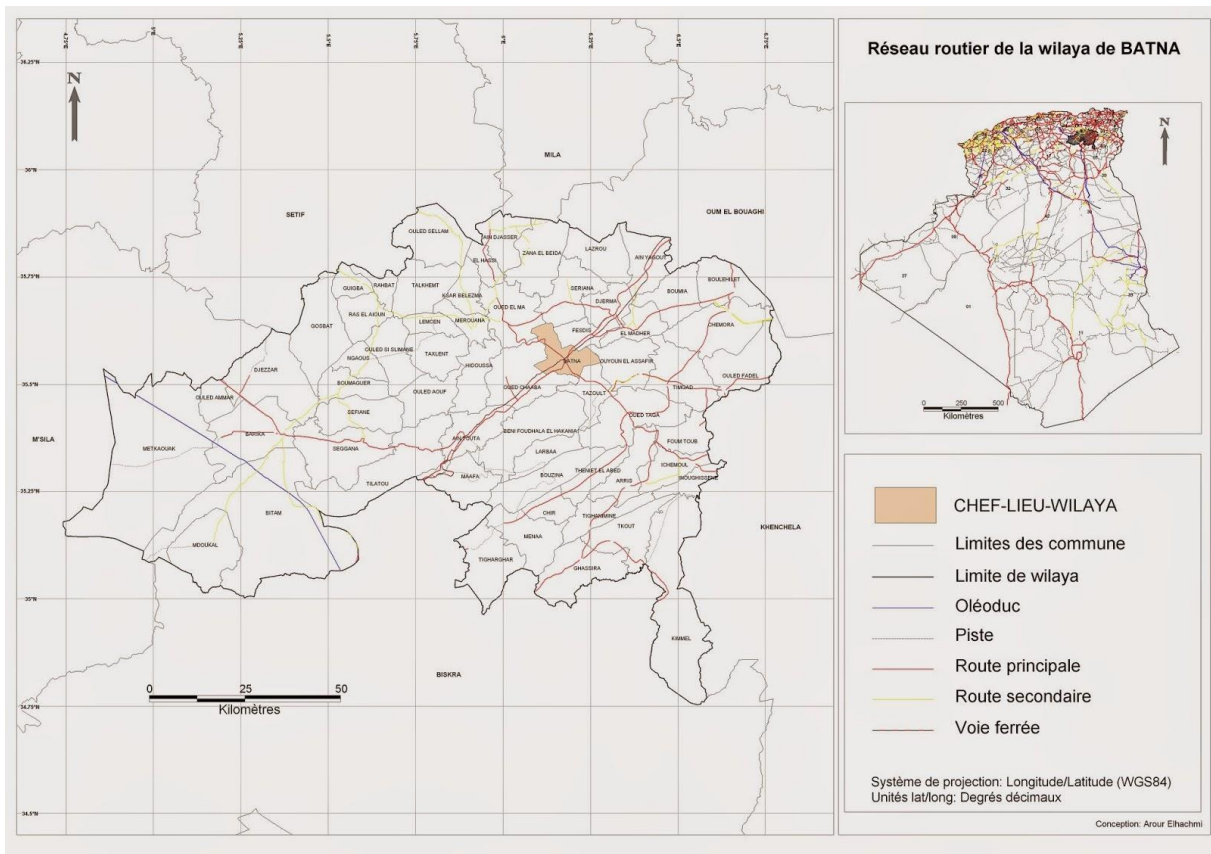


Figure 1.4: Carte du réseau routier de la wilaya de BATNA

1.10 Description du projet.

Le projet commence au niveau de Ain El Ksar wilaya de BATNA, traverse trois wilaya Batna, Oum El Bouaghi puis la wilaya de Mila, en arrivant à l'autoroute Est-Ouest, Le projet est divisé en deux lots, on s'intéresse dans notre étude au lot N°02, qui appartient à la section du PK 37+260 au PK 43+260.

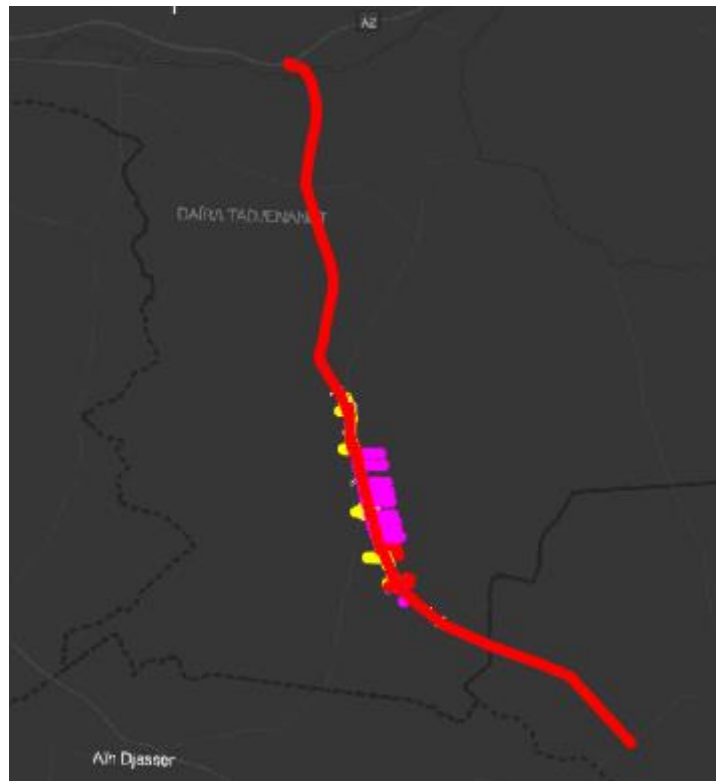


Figure 1.5: schéma du projet sur google earth.

1.11 Localisation et description de notre tronçon.

Notre étude a pour objectif de l'étude d'une pénétrante reliant la ville de Batna à l'autoroute EST- OUEST. Le tronçon concerné par notre étude située du PK 37+260 au PK 43+260 sur une longueur de 06 Km.



Figure 1.6: le tronçon étudié.

1.12 L'objectif du projet.

L'objectif principal de la pénétrante est de créer une liaison entre l'Autoroute Est-Ouest et plusieurs villes passant par la Wilaya de Batna. Cet objectif aura comme conséquences :

- Réduction des frais d'exploitations : une pénétrante diminuera et donnera naissance à une économie de carburant.
- Gains de temps : la réalisation de la pénétrante permet de réduire les temps de transports. Estimation de gain de temps en fonction du motif du déplacement.
- Gains de sécurité : représentés par la diminution du nombre de blessés et de morts combiné avec la valeur monétaire attribuée à la vie humaine (décès, blessés graves ou légers). Garantir une meilleure fluidité de circulation.
- Gains de confort des usagers : moins de tension nerveuse liée à l'uni de la route par exemple.

1.13 Conclusion.

Ce chapitre a présenté de manière succincte la wilaya de Batna ainsi que la localisation de notre projet de liaison autoroutière.

CHAPITRE 02 : NORMES GEOMETRIQUES ET DONNEES DE BASE.

2.1 Introduction.

Ce chapitre se concentre sur la détermination de la catégorie de la route et la vitesse de référence, en se basant sur les normes établies dans le guide B40. Nous utiliserons ces critères pour calculer l'environnement de la route, ce qui nous permettra de concevoir une route adaptée et sécurisée pour notre projet.

2.2 Environnement de la route.

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

- La dénivelée cumulée moyenne ($H/L=DC$) ;
- La sinuosité σ .

2.2.1 La dénivelée cumulée moyenne.

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

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

Avec :

P : pente du terrain

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

2.2.1.1 Calcul de la dénivelée cumulée moyenne.

D'après les données topographiques donner on a pu résumer les informations dans le tableau suivant :

Tableau 2.1: données de base.

Profil	Abscise curviligne (m)	Distance entre profil (m)	Cote Tn (m)	Dh
793	37260	/	922,569	/
794	37280	20	923,227	0,658
795	37300	20	924,077	0,85
796	37320	20	924,769	0,692
797	37340	20	925,182	0,413
798	37360	20	924,779	-0,403
799	37380	20	924,197	-0,582
800	37400	20	923,78	-0,417
801	37420	20	923,734	-0,046
802	37440	20	923,817	0,083
803	37460	20	923,926	0,109
804	37480	20	924,062	0,136
805	37500	20	924,173	0,111
806	37520	20	924,383	0,21
807	37540	20	924,836	0,453
808	37560	20	925,328	0,492
809	37580	20	925,653	0,325
810	37600	20	926,082	0,429
811	37620	20	926,593	0,511
812	37640	20	927,077	0,484
813	37660	20	927,621	0,544
814	37680	20	928,17	0,549
815	37700	20	928,923	0,753
816	37720	20	929,623	0,7
817	37740	20	930,349	0,726
818	37760	20	931,095	0,746
819	37780	20	931,836	0,741
820	37800	20	932,31	0,474
821	37820	20	932,404	0,094
822	37840	20	932,536	0,132
823	37860	20	932,743	0,207
824	37880	20	933,056	0,313
825	37900	20	933,206	0,15
826	37920	20	933,205	-0,001
827	37940	20	933,142	-0,063

828	37960	20	933,01	-0,132
829	37980	20	932,465	-0,545
830	38000	20	931,034	-1,431
831	38020	20	929,205	-1,829
832	38040	20	927,952	-1,253
833	38060	20	926,966	-0,986
834	38063,46	3,46	926,934	-0,032
835	38080	16,54	927,059	0,125
836	38100	20	927,926	0,867
837	38120	20	928,124	0,198
838	38140	20	928,372	0,248
839	38148	8	928,553	0,181
840	38160	12	928,647	0,094
841	38180	20	928,766	0,119
842	38200	20	928,779	0,013
843	38220	20	929,085	0,306
844	38232,074	12,074	929,501	0,416
845	38240	7,926	929,67	0,169
846	38260	20	929,8	0,13
847	38280	20	929,985	0,185
848	38300	20	930,409	0,424
849	38320	20	930,589	0,18
850	38340	20	930,88	0,291
851	38360	20	931,166	0,286
852	38380	20	931,361	0,195
853	38400	20	931,548	0,187
854	38420	20	931,565	0,017
855	38440	20	931,391	-0,174
856	38460	20	931,883	0,492
857	38474,474	14,474	932,037	0,154
858	38480	5,526	932,309	0,272
859	38500	20	932,265	-0,044
860	38520	20	932,437	0,172
861	38540	20	932,559	0,122
862	38560	20	932,718	0,159
863	38580	20	932,844	0,126
864	38600	20	933,01	0,166
865	38620	20	933,434	0,424
866	38640	20	933,911	0,477
867	38660	20	934,213	0,302
868	38680	20	934,4	0,187
869	38700	20	934,609	0,209
870	38720	20	935,012	0,403

871	38740	20	935,844	0,832
872	38760	20	936,712	0,868
873	38780	20	937,216	0,504
874	38800	20	937,718	0,502
875	38820	20	937,857	0,139
876	38840	20	938,125	0,268
877	38842,816	2,816	938,172	0,047
878	38860	17,184	938,413	0,241
879	38880	20	938,646	0,233
880	38900	20	938,918	0,272
881	38920	20	939,19	0,272
882	38940	20	939,492	0,302
883	38960	20	939,789	0,297
884	38980	20	940,1	0,311
885	39000	20	940,535	0,435
886	39020	20	940,95	0,415
887	39040	20	941,531	0,581
888	39060	20	942,039	0,508
889	39080	20	941,776	-0,263
890	39100	20	941,911	0,135
891	39120	20	942,093	0,182
892	39140	20	942,285	0,192
893	39160	20	942,14	-0,145
894	39180	20	941,732	-0,408
895	39200	20	941,612	-0,12
896	39220	20	941,894	0,282
897	39240	20	942,316	0,422
898	39260	20	942,703	0,387
899	39280	20	943,233	0,53
900	39300	20	943,507	0,274
901	39320	20	943,996	0,489
902	39340	20	944,768	0,772
903	39360	20	944,859	0,091
904	39380	20	945,132	0,273
905	39400	20	945,617	0,485
906	39420	20	945,903	0,286
907	39440	20	945,882	-0,021
908	39460	20	945,803	-0,079
909	39480	20	946,422	0,619
910	39500	20	946,948	0,526
911	39520	20	947,496	0,548
912	39540	20	948,042	0,546
913	39560	20	948,593	0,551

914	39580	20	949,142	0,549
915	39600	20	949,579	0,437
916	39620	20	950,005	0,426
917	39640	20	950,295	0,29
918	39660	20	950,542	0,247
919	39680	20	950,776	0,234
920	39700	20	950,995	0,219
921	39720	20	951,356	0,361
922	39740	20	951,737	0,381
923	39760	20	952,033	0,296
924	39780	20	952,262	0,229
925	39800	20	952,64	0,378
926	39820	20	952,554	-0,086
927	39840	20	952,581	0,027
928	39860	20	952,774	0,193
929	39880	20	953,053	0,279
930	39900	20	953,4	0,347
931	39920	20	953,714	0,314
932	39940	20	954,154	0,44
933	39960	20	954,277	0,123
934	39960,242	0,242	954,276	-0,001
935	39980	19,758	954,23	-0,046
936	40000	20	954,172	-0,058
937	40020	20	954,232	0,06
938	40040	20	954,26	0,028
939	40060	20	954,482	0,222
940	40071,353	11,353	954,571	0,089
941	40080	8,647	954,635	0,064
942	40100	20	955,244	0,609
943	40120	20	956,006	0,762
944	40122,863	2,863	956,066	0,06
945	40140	17,137	956,512	0,446
946	40160	20	957,162	0,65
947	40180	20	957,734	0,572
948	40200	20	958,682	0,948
949	40220	20	959,33	0,648
950	40233,974	13,974	959,812	0,482
951	40240	6,026	960,148	0,336
952	40248	8	960,578	0,43
953	40260	12	961,307	0,729
954	40280	20	962,555	1,248
955	40300	20	963,703	1,148
956	40320	20	964,861	1,158

957	40332	12	965,521	0,66
958	40340	8	965,922	0,401
959	40360	20	967,002	1,08
960	40366,279	6,279	967,377	0,375
961	40380	13,721	968,195	0,818
962	40400	20	969,515	1,32
963	40420	20	971,072	1,557
964	40440	20	972,695	1,623
965	40460	20	974,187	1,492
966	40480	20	975,83	1,643
967	40500	20	977,338	1,508
968	40520	20	978,81	1,472
969	40540	20	980,704	1,894
970	40560	20	982,63	1,926
971	40580	20	983,356	0,726
972	40600	20	984,407	1,051
973	40620	20	985,556	1,149
974	40640	20	985,14	-0,416
975	40660	20	983,382	-1,758
976	40680	20	982,147	-1,235
977	40700	20	981,029	-1,118
978	40720	20	980,64	-0,389
979	40740	20	981,082	0,442
980	40740,457	0,457	981,098	0,016
981	40760	19,543	981,664	0,566
982	40780	20	982,388	0,724
983	40800	20	982,735	0,347
984	40820	20	983,682	0,947
985	40840	20	984,588	0,906
986	40851,567	11,567	984,829	0,241
987	40860	8,433	985,098	0,269
988	40880	20	985,85	0,752
989	40900	20	986,548	0,698
990	40920	20	985,377	-1,171
991	40940	20	987,341	1,964
992	40960	20	988,233	0,892
993	40980	20	988,702	0,469
994	41000	20	989,705	1,003
995	41020	20	989,958	0,253
996	41040	20	990,193	0,235
997	41060	20	990,498	0,305
998	41077,726	17,726	991,09	0,592
999	41080	2,274	991,169	0,079

1000	41100	20	991,847	0,678
1001	41120	20	992,14	0,293
1002	41140	20	992,339	0,199
1003	41160	20	992,436	0,097
1004	41180	20	993,124	0,688
1005	41188,837	8,837	993,344	0,22
1006	41200	11,163	993,597	0,253
1007	41220	20	994,343	0,746
1008	41240	20	995,183	0,84
1009	41260	20	995,8	0,617
1010	41280	20	996,372	0,572
1011	41300	20	996,997	0,625
1012	41320	20	997,807	0,81
1013	41340	20	998,31	0,503
1014	41360	20	998,809	0,499
1015	41380	20	999,621	0,812
1016	41400	20	1000,232	0,611
1017	41420	20	1000,801	0,569
1018	41440	20	1001,734	0,933
1019	41460	20	1002,422	0,688
1020	41480	20	1003,324	0,902
1021	41500	20	1004,447	1,123
1022	41520	20	1004,983	0,536
1023	41540	20	1005,178	0,195
1024	41560	20	1005,404	0,226
1025	41580	20	1005,683	0,279
1026	41600	20	1006,011	0,328
1027	41620	20	1006,315	0,304
1028	41640	20	1006,583	0,268
1029	41660	20	1006,839	0,256
1030	41680	20	1007,213	0,374
1031	41700	20	1007,699	0,486
1032	41720	20	1008,448	0,749
1033	41740	20	1009,879	1,431
1034	41760	20	1011,049	1,17
1035	41780	20	1012,154	1,105
1036	41800	20	1013,244	1,09
1037	41820	20	1014,011	0,767
1038	41840	20	1014,614	0,603
1039	41860	20	1015,301	0,687
1040	41880	20	1016,184	0,883
1041	41900	20	1016,874	0,69
1042	41920	20	1017,788	0,914

1043	41940	20	1018,363	0,575
1044	41960	20	1019,243	0,88
1045	41961,006	1,006	1019,278	0,035
1046	41980	18,994	1019,931	0,653
1047	42000	20	1020,318	0,387
1048	42020	20	1020,258	-0,06
1049	42040	20	1020,779	0,521
1050	42060	20	1021,157	0,378
1051	42072,117	12,117	1021,529	0,372
1052	42080	7,883	1021,845	0,316
1053	42100	20	1022,84	0,995
1054	42120	20	1023,691	0,851
1055	42140	20	1024,295	0,604
1056	42160	20	1024,852	0,557
1057	42180	20	1025,197	0,345
1058	42200	20	1025,563	0,366
1059	42220	20	1026,002	0,439
1060	42240	20	1025,956	-0,046
1061	42260	20	1025,299	-0,657
1062	42280	20	1024,181	-1,118
1063	42300	20	1022,908	-1,273
1064	42320	20	1021,586	-1,322
1065	42340	20	1020,279	-1,307
1066	42360	20	1019,134	-1,145
1067	42368	8	1018,745	-0,389
1068	42380	12	1018,232	-0,513
1069	42400	20	1017,646	-0,586
1070	42420	20	1017,243	-0,403
1071	42440	20	1016,976	-0,267
1072	42452	12	1016,867	-0,109
1073	42460	8	1016,758	-0,109
1074	42480	20	1016,256	-0,502
1075	42494,501	14,501	1015,694	-0,562
1076	42500	5,499	1015,365	-0,329
1077	42520	20	1013,924	-1,441
1078	42540	20	1012,542	-1,382
1079	42560	20	1010,787	-1,755
1080	42580	20	1009,445	-1,342
1081	42600	20	1007,783	-1,662
1082	42605,612	5,612	1007,221	-0,562
1083	42620	14,388	1005,796	-1,425
1084	42640	20	1003,886	-1,91
1085	42660	20	1002,072	-1,814

1086	42680	20	1000,122	-1,95
1087	42700	20	998,005	-2,117
1088	42720	20	996,415	-1,59
1089	42740	20	995,276	-1,139
1090	42760	20	993,842	-1,434
1091	42780	20	992,165	-1,677
1092	42800	20	990,95	-1,215
1093	42820	20	986,644	-4,306
1094	42840	20	989,006	2,362
1095	42860	20	986,355	-2,651
1096	42880	20	986,098	-0,257
1097	42900	20	985,351	-0,747
1098	42920	20	983,203	-2,148
1099	42940	20	983,459	0,256
1100	42960	20	985,307	1,848
1101	42980	20	989,124	3,817
1102	43000	20	991,65	2,526
1103	43020	20	991,568	-0,082
1104	43040	20	990,081	-1,487
1105	43060	20	989,348	-0,733
1106	43080	20	986,761	-2,587
1107	43100	20	984,556	-2,205
1108	43120	20	990,172	5,616
1109	43140	20	994,591	4,419
1110	43160	20	998,063	3,472
1111	43180	20	1000,184	2,121
1112	43200	20	1001,916	1,732
1113	43220	20	1003,318	1,402
1114	43240	20	1004,307	0,989
1115	43260	20	1004,371	0,064
/	Σ	6000	/	81.802

Donc : $\frac{H}{L} = \frac{|281.802|}{6000} = 0,0136.$

Et par la suite : $D_c = 1.36\%$

Tableau 2.2: Détermination de la nature des terrains selon B40.

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

- Ce qui conduit à un terrain plat à partir du « tableau 2-2 »

2.2.2 La sinuosité.

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

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

2.2.2.1 Calcul de la sinuosité.

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

Avec :

- Ls : la somme des développées des rayons inférieurs ou égale à 200 m ($R \leq 200m$).
- L : la longueur totale de la route.

Remarque :

- Ls=0 si aucun rayon n'est inférieur à 200 m.

Dans le présent projet il n'existe aucun rayon inférieur à 200 m donc Ls dans notre cas est égal à zéro.

Tableau 2.3: Sinuosité.

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

Dans notre cas :

$L = 6000\text{m}$.

$L_s = 0$.

$\sigma = 0$.  Caractéristique d'une sinuosité faible « tableau 2-3 ».

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

Tableau 2.4: Environnement de la route.

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

Dans notre cas :

- Un terrain plat.
- Une Sinuosité Faible.
- L'environnement de la route E1.

2.3 Catégorie de la route.

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

Les Cinq catégories de la route sont :

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

2.3.1 Choix de la catégorie :

Les autoroutes de liaisons présentent, dans la majeure partie de leur tracé, des caractéristiques géométriques qui permettent d'offrir à l'ensemble des usagers de bonnes conditions de sécurité, compte tenu du comportement général qui est conditionné, en particulier, par la limitation réglementaire de la vitesse.

Les autoroutes de liaison sont classées en deux catégories se distinguent par le niveau de leurs caractéristiques de tracé en plan et de profil en long. Le choix de la catégorie résulte de l'environnement (relief. Occupation du sol...) dans lequel s'inscrit l'autoroute et doit être cohérent avec la perception qu'en aura l'utilisateur.

On distingue :

La catégorie C1, appropriée en région de plaine ou vallonnée ou les contraintes de relief sont modérées ;

La catégorie C2, mieux adaptée aux sites de relief plus difficile, compte tenu des impacts économiques et environnementaux qu'il implique.

Vue que notre projet est affecté par en région de plaine ou les reliefs et les contraintes sont modérées, notre liaison est de catégorie **C1**.

2.4 La vitesse de référence.

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

Tableau 2.5: Vitesse de référence.

Environnement Catégorie	E1	E2	E3
CAT 1	120-100-80	100-80-60	80-60-40
CAT 2	120-100-80	100-80-60	80-60-40
CAT 3	120-100-80	100-80-60	80-60-40
CAT 4	100-80-60	80-60-40	60-40
CAT 5	80-60-40	60-40	40

- Pour notre projet et après analyse des données il s'avère que **Vr = 100 km/h**

2.5 Conclusion.

Cette analyse approfondie servira de base solide pour la suite de notre étude, en nous permettant de prendre des décisions éclairées tout au long du processus de conception de la liaison autoroutière.

CHAPITRE 03 : TRACE EN PLAN.

3.1 Introduction.

Le tracé en plan est une projection de la route sur un plan horizontal de l'axe de la chaussée, il est constitué d'une succession de droites raccordés par arcs de cercle. Il doit permettre d'assurer les bonnes conditions de sécurité et de confort.

L'inconfort de l'utilisateur est d'autant plus important que le rayon des courbes est plus faible, que l'on suppose la courbe parcourue à la vitesse maximale réglementaire ou à la vitesse effectivement adoptée par les usagers (plus faible pour les petits rayons). Cela conduit en fonction de la catégorie de route à fixer des rayons minimaux

Cependant l'utilisation fréquente ou systématique de grands rayons de courbure peut se révéler néfaste en aboutissant à une limitation des possibilités de dépassement sûr, et en encourageant les usagers à pratiquer une vitesse continûment élevée.

D'autre part, dans certaines conditions (liées notamment au tracé situé en amont), les courbes de faible rayon peuvent créer des problèmes de sécurité, ce qui conduit à ne les utiliser qu'en respectant certaines contraintes relatives à l'enchaînement des éléments du tracé en plan.

3.2 Règles à respecter dans le tracé en plan.

Lors de la conception du tracé en plan, il est essentiel de respecter certaines règles afin de garantir un tracé conforme aux normes et économiquement viable. Voici les principales règles à respecter :

- Adapter le tracé au terrain naturel pour minimiser les mouvements de terre importants et réduire les coûts des terrassements.
- Raccorder le tracé au réseau routier existant pour assurer une continuité et une bonne connectivité entre les différentes routes.
- Éviter de traverser des terrains agricoles et des zones forestières pour préserver les activités agricoles et la biodiversité.
- Chercher le tracé optimal qui minimise les passages à travers les propriétés privées, afin de réduire les impacts sur les propriétaires fonciers.

- Éviter autant que possible le franchissement des cours d'eau afin de limiter le nombre d'ouvrages d'art nécessaires. Lorsqu'un franchissement est inévitable, privilégier des ouvrages droits pour des raisons économiques.
- Éviter les sites sujets à des problèmes géologiques tels que la présence de failles ou de matériaux de mauvaise qualité, afin d'assurer la stabilité et la durabilité de la route.
- Appliquer les normes et standards de conception routière, notamment les normes B40, pour garantir la sécurité et la qualité du tracé.

3.3 Les éléments du tracé en plan.

Dans le tracé en plan moderne, nous utilisons trois éléments clés pour définir la géométrie de la route :

- Les droites et alignements.
- Les arcs de cercle.
- Les courbes de raccordement progressives.

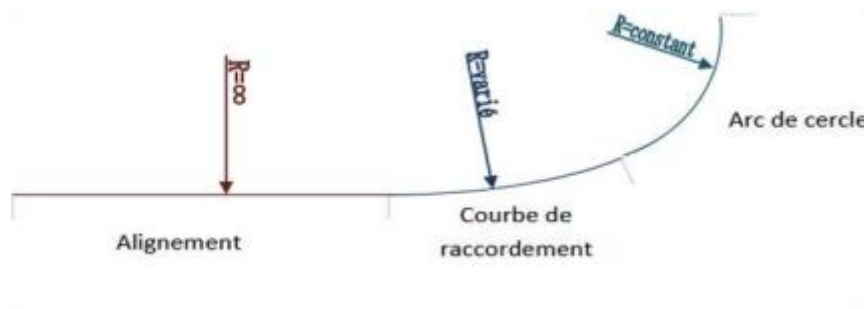


Figure 3.1: Éléments du tracé en plan.

3.4 Les alignements :

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

- Éblouissement causé par les phares : Les phares des véhicules peuvent causer de l'éblouissement lorsqu'ils sont dirigés directement sur de longues sections droites de la route, ce qui peut affecter la visibilité des conducteurs.
- Monotonie de conduite : Les tronçons droits peuvent entraîner une monotonie de conduite, ce qui peut entraîner une baisse de l'attention des conducteurs et potentiellement provoquer des accidents.

- Difficulté d'estimation des distances : Il peut être difficile d'estimer les distances entre les véhicules lorsque ces derniers sont éloignés les uns des autres sur de longues sections droites.
- Mauvaise adaptation de la route au passage : Les alignements droits peuvent ne pas être adaptés aux caractéristiques du terrain ou aux besoins de circulation, ce qui peut entraîner des problèmes de sécurité et de fonctionnalité.

Cependant, il y a des cas où l'utilisation d'alignements droits est justifiée, notamment :

- En plaine où l'utilisation de courbes n'est pas nécessaire.
- Dans des vallées étroites où les contraintes géographiques limitent les possibilités de courbes.
- Le long de constructions existantes où un alignement droit est nécessaire pour s'adapter à la configuration existante.
- Pour permettre des possibilités de dépassement en créant des sections droites appropriées.

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.

$$L_{min} = 5 \times \frac{V_r}{3.6} \quad 3.1$$

$$L_{max} = 60 \times \frac{V_r}{3.6} \quad 3.2$$

Avec :

- V_r : la vitesse de référence.

3.5 Les arcs de cercle.

Trois éléments interviennent pour limiter la courbe :

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

3.5.1 Stabilité en courbe :

Dans un virage de rayon R, les véhicules sont soumis à la force centrifuge qui peut causer une instabilité. Pour contrer cet effet, la chaussée est inclinée transversalement vers l'intérieur du virage, ce qui réduit la force centrifuge et évite le dérapage. Cette inclinaison de la chaussée, appelée dévers, est exprimée en tant que tangente.



Figure 3.2: l'effet de la force centrifuge.

3.5.2 Courbes en plan.

3.5.2.1 Le rayon minimal absolu RHM.

Il est défini comme étant le rayon au devers maximal.

f_t : Coefficient de frottement t transversal

$$RHM = \frac{v_r^2}{127(f_t + a_{\max})} \quad 3.3$$

Avec :

- V_r : vitesse de référence du véhicule (km/h)
- d_{max} : dévers maximal.
- f_t : coefficient de frottement transversale

3.5.2.2 Le rayon minimal normal *RHN*.

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

$$RHN = \frac{(V_r+20)^2}{127(f_t+d_{max}-i)}$$

Avec :

- $i= 0.02$ pour catégorie
- $i= 0.03$ pour catégorie

3.5.2.3 Le rayon minimal déversé (*RHd*).

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

Dévers associé :

$d_{min} = 2.5\%$ en catégorie

$d_{min} = 3\%$ en catégorie

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

3.5.2.4 Le rayon minimal non déversé (*RHnd*).

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

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

- f'' : Coefficient en fonction de la catégorie :

Tableau 3.1: Coefficient f'' en fonction de la catégorie.

Catégorie	1	2	3	4	5
f''	0.06	0.06	0.07	0.75	0.75

Pour notre projet de la pénétrante de Batna, qui se trouve dans un environnement de classe E1 et est classé en catégorie C1 selon le règlement B40, les rayons recommandés sont les suivants :

Tableau 3.2: rayons du tracé en plan selon les normes B40.

Paramètre	Symbol	Valeur (m)
Rayon horizontal minimal absolu	RHm	450
Rayon minimal normal	RHn	650
Rayon minimal déversé	RHd	1600
Rayon minimal non déversé	RHnd	2200

3.5.3 Devers associés.

Le dévers de la route, également appelé "inclinaison transversale" ou "pente transversale", désigne la légère pente latérale ou inclinaison de la chaussée d'une route, généralement vers l'extérieur de la courbe. Cette inclinaison est conçue pour permettre l'écoulement efficace des eaux de pluie hors de la chaussée, réduisant ainsi le risque d'accumulation d'eau et de formation de flaques, ce qui peut entraîner des problèmes de sécurité et d'adhérence pour les véhicules. Le dévers de la route contribue également à améliorer le confort et la sécurité des conducteurs en aidant à maintenir la stabilité des véhicules lorsqu'ils traversent des virages.

3.5.3.1 Dévers en alignement.

Le dévers en alignement est conçu pour permettre une évacuation rapide des eaux de surface de la chaussée. L'épaisseur du film d'eau dépend à la fois des paramètres indépendants de la route, tels que l'intensité et la durée de la pluie, et des paramètres liés à la route, tels que la nature et l'état du revêtement de surface.

3.5.3.2 Dévers vers l'intérieur des courbes.

En courbe, le dévers est destiné à accomplir plusieurs fonctions. Il assure un bon écoulement des eaux de surface, compense une partie de la force centrifuge pour assurer la stabilité dynamique des véhicules, et améliore le guidage optique pour les conducteurs. Le dévers maximal autorisé dans les courbes est principalement déterminé par les conditions de stabilité des véhicules à vitesse réduite ou à l'arrêt, ainsi que par les conditions météorologiques exceptionnelles.

Les valeurs préconisées pour les normes algériennes sont les suivantes :

Tableau 3.3: Valeurs des dévers selon les normes Algériennes.

	Cat1	Cat2	Cat3	Cat4	Cat5
Dmin	-2.50%	-2.50%	-3%	-3%	-4%
Dmax	7%	7%	8%	8%	9%

➤ Coefficient du frottement transversal f_t :

Tableau 3.4: Coefficient du frottement transversal f_t .

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

➤ Dévers associés aux rayons en plan :

1^{er} cas : Le rayon choisi : $R \geq R_{Hnd}$ Le dévers associé « d » est celui de l'alignement droit

2^{ème} cas : Le rayon choisi : $RHd \leq R \leq RHnd$ Le dévers associé est le dévers minimal de l'alignement droit.

3^{ème} cas :

Si $RHn \leq R \leq RHd$, le dévers associé « d » est calculé par interpolation entre le dévers associé à RHn et celui associé à RHd .

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

4^{ème} cas : Si $RHm < R < RHn$, la route est déversée à l'intérieur du virage et « d » est calculé par interpolation linéaire en $1/R$.

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

3.6 Les courbes de raccordement.

Dans un tracé de route moderne, il est essentiel d'avoir une conception rationnelle qui comprend des alignements droits, des arcs de cercle connectés par des transitions de courbure progressive. Ces transitions permettent de passer d'une courbure de 0 (rayon infini) à l'extrémité de l'alignement à une courbure $1/R$ au début du virage circulaire. Cette approche assure une transition fluide entre les tronçons droits et les virages, offrant ainsi une expérience de conduite plus sûre et plus confortable pour les usagers de la route.

3.6.1 Rôle et nécessité des courbes de raccordement.

L'utilisation des courbes de raccordement est justifiée par quatre conditions importantes :

- Stabilité transversale du véhicule : Les courbes de raccordement permettent de maintenir la stabilité du véhicule en réduisant l'effet de la force centrifuge dans les virages, assurant ainsi une conduite sécurisée.

- Confort des passagers : Les courbes de raccordement permettent d'atténuer les secousses et les mouvements brusques lors de la transition entre les tronçons droits et les virages, offrant ainsi un trajet plus confortable pour les passagers du véhicule.
- Transition de la forme de la chaussée : Les courbes de raccordement permettent une transition en douceur entre les parties rectilignes et les virages de la route, évitant ainsi les changements abrupts qui pourraient causer des problèmes de sécurité ou d'inconfort.
- Tracé élégant, souple, fluide, optiquement et esthétiquement satisfaisant : Les courbes de raccordement contribuent à un tracé harmonieux et agréable visuellement, offrant une apparence esthétique à la route et améliorant l'expérience de conduite globale.

3.6.2 Clothoïde.

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

3.6.2.1 Expression mathématique de la Clothoïde.

La Courbure K linéairement proportionnellement à la longueur curviligne.

$$K = C.L$$

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

3.6.2.2 Element de la Clothoïde.

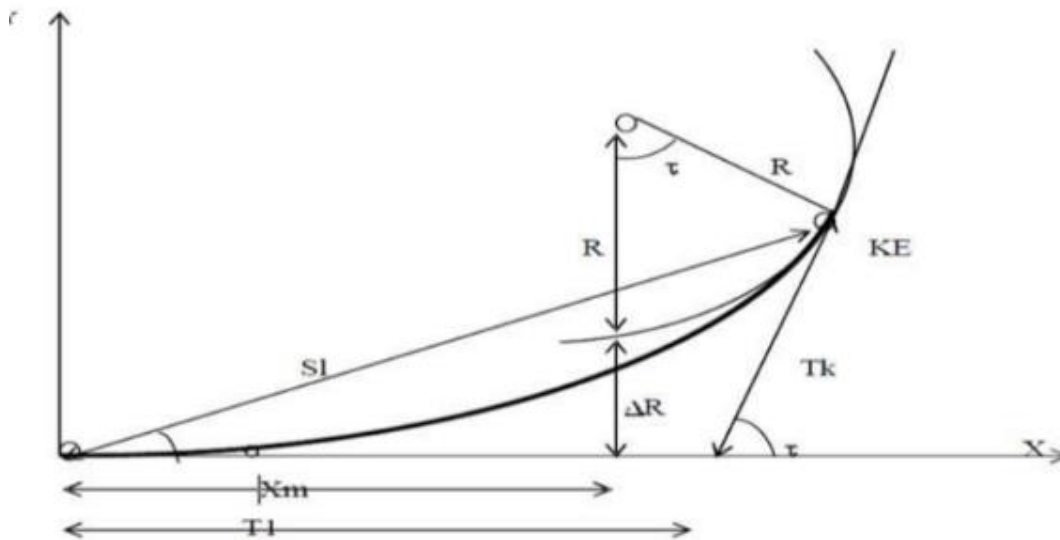


Figure 3.3: La Clothoïde.

Avec :

R : rayon du cercle. KA: origine de la Clothoïde.

KE : extrémité de la Clothoïde.

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

τ : angle des tangentes.

$\tau = L / 2 * R$.

TC : tangente courte.

TL : tangente longue.

σ : angle polaire.

SL : corde KE KA.

M: centre du cercle d abscisse Xm.

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

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

X: abscisse de KE.

Y : ordonnée de KE.

3.6.2.3 Longueur de la Clothoïde.

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

3.6.2.3.1 Condition d'optique.

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

$$\tau \geq 3^a \text{ Soit } \tau \geq \frac{1}{18} \text{ rads}$$

$$\tau = \frac{L}{2R} > \frac{1}{18} \text{ rads} \longrightarrow L > \frac{R}{9}$$

Soit

$$R/3 \leq A \leq R$$

Règle générales (B40)

$$R \leq 1500m \quad \Delta R = 1m \text{ (éventuellement } \mathbf{0.5m})$$

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

$$R \leq 1500m \leq 5000m$$

$$L \geq \frac{R}{9}$$

$$R > 5000m \quad \Delta R = 2.5m.$$

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

3.6.2.3.2 Condition de gauchissement.

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

$$L \geq I \Delta d \times V_B$$

Avec :

L : longueur de raccordement.

I : Largeur de la chaussée.

Δd : Variation de dévers.

3.6.2.3.3 Condition de confort dynamique.

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

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

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

3.6.3 Raccordement circulaire.

Lorsqu'on examine une carte topographique, on peut observer que les voies empruntées, qu'elles soient routières ou ferroviaires ne sont que succession d'alignements droits et raccords. De même, lorsqu'on réalise le tracé d'un Pipeline, on retrouvera des parties droites et des parties courbes.

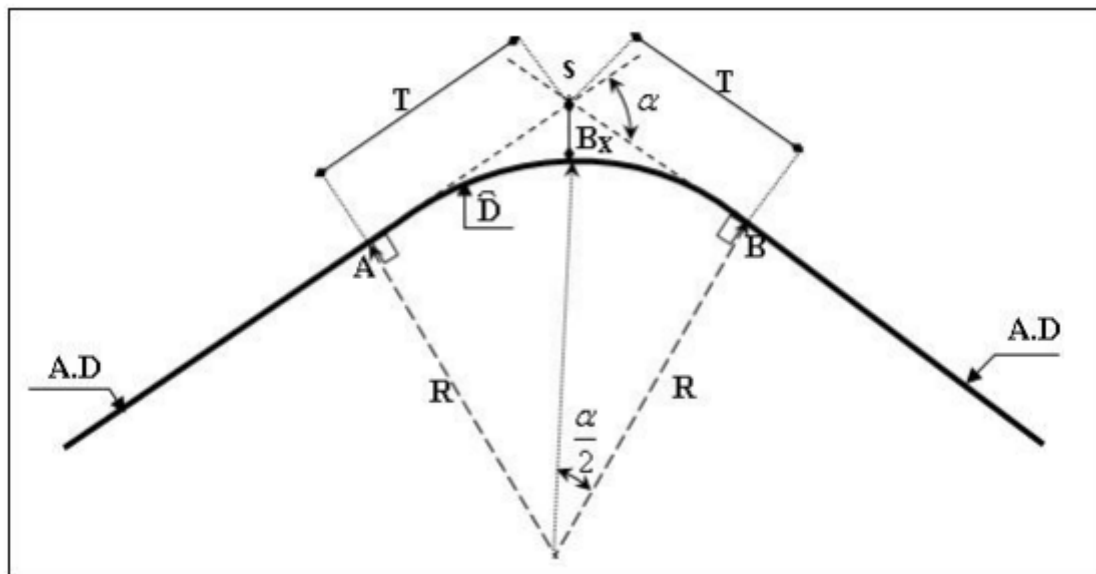


Figure 3.4: Les éléments raccordement circulaire.

- β : Angle au sommet.
- α : Angle au centre.
- F : La flèche.
- D : Développée.
- T : Tangente.

3.7 Application au projet.

Les coordonnées planimétriques de l'axe :

Tableau 3.5: Les coordonnées planimétriques de l'axe.

Points	X	Y
A	239285.9647	3982412.9857
S1	238942.7733	3983768.8933
S2	238641.3599	3985175.6648
S3	238323.964	3985985.115
S4	238275.646	3987311.243
B	237799.2082	3988054.6913

3.7.1 Détermination des rayons en plan.

On a Cat 1, E1 et $V_r = 100$ Km/h.

➤ Rayon horizontal minimal absolu (RHm) :

D'après un tableau des normes B40, on prend : $f_t = 0,11$; $d_{max} = 7\%$.

$$RHm = \frac{V_r^2}{127(f_t + d_{max})} = \frac{100^2}{127(0.11 + 0.07)}$$

$$RHm = 437 \text{ m.}$$

➤ Rayon minimal normal (RHn) :

$$RHn (V_r) = RHm (V_r + 20)$$

D'après un tableau des normes B40, on prend : $f_t = 0,11$; $d_{max} = 5 \%$.

$$RHN = \frac{(V_r + 20)^2}{127(f_t + d_{max})} = \frac{(100 + 20)^2}{127(0.11 + 0.05)}$$

$$RHn = 708 \text{ m.}$$

- Rayon minimal déversé (RHd) :

D'après un tableau des normes B40, on prend : $d_{\min} = 2.5 \%$.

$$RHd = \frac{V_r^2}{127 \times 2 \times d_{\min}} = \frac{100^2}{127 \times 2 \times 0.025}$$

$$RHd = 1574 \text{ m.}$$

- Rayon minimal non déversé (RHnd) :

D'après un tableau des normes B40, on prend : $f'' = 6 \%$ et $d_{\min} = 2.5\%$.

$$RHnd = \frac{V_r^2}{127(f'' - d_{\min})} = \frac{100^2}{127(0.06 - 0.025)}$$

$$RHnd = 2249 \text{ m.}$$

3.7.1.1 Paramètres fondamentaux :

Voici les paramètres fondamentaux définis par le règlement des normes d'aménagements routiers B40 pour un environnement E1, une catégorie C1 et une vitesse de base V_r de 100 km/h :

Tableau 3.6: les paramètres fondamentaux.

Paramètres	Symboles	Valeur calculées (m)	Valeur selon B-40 (m)
Rayon horizontal minimal (m)	RHm	437	450
Rayon horizontal normal (m)	RHN	708	650
Rayon horizontal déversé (m)	RHd	1574	1600
Rayon horizontal non déversé (m)	RHnd	2249	2200

3.7.2 Rayons de courbure choisis pour le tracé en plan de la route.

Le tracé en plan d'une liaison autoroutière doit assurer à l'utilisateur une bonne qualité de service dont le niveau est cependant fonction de la difficulté du site, en conséquence toutes mesures doivent être prises pour soigner l'aspect général du tracé.

Tableau 3.7: Rayons de courbure choisis.

Rayon	La valeur de rayon (m)
R1	10000
R2	1000
R3	1000
R4	1000

3.7.3 Détermination des dévers aux rayons en plan.

- Le rayon $R1 \geq R_{Hnd}$ donc le dévers associé « d » est celui de l'alignement droit -2.5%.
- Les rayons R2, R3 et R4 ont tous une valeur de 1000 mètres. Le dévers "d" est calculé par interpolation entre les dévers associés à R_{Hn} et R_{Hd} , respectant la condition $R_{Hn} \leq R \leq R_{Hd}$ pour assurer une transition fluide du dévers le long de la courbe.

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

$$d_{(R)} = \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{RHd} \right) \times \left(\frac{d_{(RHn)} - d_{(RHd)}}{\frac{1}{RHn} - \frac{1}{RHd}} \right) + d_{(RHd)}$$

A.N : Pour $R2 = R3 = R4 = 1000m$.

$$d_{(R)} = \left(\frac{1}{1000} - \frac{1}{1574} \right) \times \left(\frac{0.05 - 0.025}{\frac{1}{708} - \frac{1}{1574}} \right) + 0.025 = 0.036.$$

$$d_{(R)} = 3.6\%$$

Tableau 3.8: dévers associés des rayons horizontal.

Rayon	Valeur (m)	Devers associés d (R)
R1	10000	-2.5%
R2	1000	3.6%
R3	1000	3.6%
R4	1000	3.6%

3.7.4 Détermination des coordonnées définissant l'axe de la route.

3.7.4.1 Calcul les gisements.

Le gisement d'une direction est l'angle dans le sens topographique (des aiguilles d'une montre) compris entre l'axe des Y et la direction.

Calcul du Gisement de la direction AS1.

$$g_{AS1} = \arctg \left| \frac{\Delta x}{\Delta y} \right| = \arctg \left| \frac{x_{S1} - x_A}{y_{S1} - y_A} \right|$$

Cas exceptionnels pour le calcul de gisement :

- GIS = g si ($\Delta X > 0$ et $\Delta Y > 0$) (avec gis > 0).
- GIS = 200 - g si ($\Delta X > 0$ et $\Delta Y < 0$) (avec gis < 0).
- GIS = 200 + g si ($\Delta X < 0$ et $\Delta Y < 0$) (avec gis > 0).
- GIS = 400 - g si ($\Delta X < 0$ et $\Delta Y > 0$) (avec gis < 0).

A.N :

GIS AS1 :

$$g_{AS1} = \arctg \left| \frac{238942.7733 - 239285.9647}{3983768.8933 - 3982412.9857} \right| = \arctg \left| \frac{-343.1914}{1355.9076} \right|$$

$$g_{AS1} = \arctg(0.2531) = 15.7814 \text{ g.}$$

On a ($\Delta X < 0$ et $\Delta Y > 0$) \Rightarrow GIS = 400 - g = 400 - 15.7814 = 384.2186 g.

GIS S1S2 :

$$g_{S1S2} = \arctg \left| \frac{238641.3599 - 238942.7733}{3985175.6648 - 3983768.8933} \right| = \arctg \left| \frac{-301,4134}{1406,7715} \right|$$

$$g_{AS1} = \arctg(0.2142) = 13.4369 \text{ g.}$$

On a ($\Delta X < 0$ et $\Delta Y > 0$) \Rightarrow GIS = 400 - g = 400-13.4369 = 386.563 g.

GIS S2S3 :

$$g_{S1S2} = \arctg \left| \frac{238323.964 - 238641.3599}{3985985.115 - 3985175.6648} \right| = \arctg \left| \frac{-317.3959}{809.4502} \right|$$

$$g_{AS1} = \arctg(0.3921) = 23.7897 \text{ g.}$$

On a ($\Delta X < 0$ et $\Delta Y > 0$) \Rightarrow GIS = 400 - g = 400-23.7897 = 376.210 g.

GIS S3S4 :

$$g_{S1S2} = \arctg \left| \frac{238275.646 - 238323.964}{3987311.243 - 3985985.115} \right| = \arctg \left| \frac{-48.318}{1326.128} \right|$$

$$g_{AS1} = \arctg(0.0364) = 2.3185 \text{ g.}$$

On a ($\Delta X < 0$ et $\Delta Y > 0$) \Rightarrow GIS = 400 - g = 400-2.3185 = 397.681 g.

GIS S4B :

$$g_{S1S2} = \arctg \left| \frac{237799.2082 - 238275.646}{3988054.6913 - 3987311.243} \right| = \arctg \left| \frac{-476.4378}{743.4483} \right|$$

$$g_{AS1} = \arctg(0.6408) = 36.2819 \text{ g.}$$

On a ($\Delta X < 0$ et $\Delta Y > 0$) \Rightarrow GIS = 400 - g = 400-36.2819 = 363.718 g.

3.7.4.2 Calcul des distances.

La distance AS1 est donnée par la relation :

$$A.S1 = \sqrt{(x_{S1} - x_A)^2 + (y_{S1} - y_A)^2}$$

A.N :

$$A.S1 = \sqrt{(238942.7733 - 239285.9647)^2 + (3983768.8933 - 3982412.9857)^2}$$

$$A.S1 = 1398.655 \text{ m.}$$

De même méthode.

$$S1.S2 = 1438.699 \text{ m.}$$

$$S2.S3 = 869.453 \text{ m.}$$

$$S3.S4 = 1327.007 \text{ m.}$$

$$S4.B = 883.01 \text{ m.}$$

3.7.4.3 L'angle au centre (β) :

D'après le cas de figure, l'angle au centre β est donné par :

$$\beta = \text{GAS1-GS1S2}$$

A.N :

$$\beta_1 = 384.218 - 386.563 = -2.345 \text{ g.}$$

$$\beta_2 = 386.563 - 376.210 = 10.353 \text{ g.}$$

$$\beta_3 = 376.210 - 397.681 = -21.471 \text{ g.}$$

$$\beta_4 = 397.681 - 363.718 = 33.963 \text{ g}$$

Tableau 3.9: récapitulatif.

Direction	ΔX (m)	ΔY (m)	Gisement (g)	Angle au Centre (g)	Distances (m)
A-S1	-343.1914	1355.9076	384.2186		1398.655
S1-S2	-301,4134	1 406,7715	386.563	$\beta_1 = 2.345$	1438.699
S2-S3	-317.3959	809.4502	376.210	$\beta_2 = 10.353$	869.453
S3-S4	-48.318	1326.128	397.681	$\beta_3 = 21.471$	1327.007
S4-B	-476.4378	743.4483	363.718	$\beta_4 = 33.963$	883.01

3.7.4.4 Calculs des éléments des raccordements circulaires.

Dans ce schéma de raccordement, le premier virage est un raccordement circulaire, tandis que les trois virages suivants sont des raccordements progressifs utilisant la clothoïde.

3.7.4.4.1 La tangente :

$$T = T' = R \times tg\left(\frac{\beta}{2}\right)$$

A.N:

$$R_1 = 10000 \text{ m.}$$

$$T_1 = 10000 \times tg\left(\frac{2.345}{2}\right) = 184.196 \text{ m.}$$

3.7.4.4.2 *Bissectrice :*

$$Biss = R \left(\frac{1}{\cos\left(\frac{\beta}{2}\right)} - 1 \right)$$

A.N :

$$Biss = 10000 \left(\frac{1}{\cos\left(\frac{2.345}{2}\right)} - 1 \right) = 1.696 \text{ m.}$$

3.7.4.4.3 *La développée :*

$$D = \frac{\pi \cdot \beta^{Grad} \cdot R}{200}$$

A.N :

$$D_1 = \frac{3.14 \times 2.345 \times 10000}{200} = 368.156 \text{ m}$$

3.7.4.4.4 *La flèche :*

$$F = R \left(1 - \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \right)$$

A.N :

$$F = 10000 \left(1 - \cos\left(\frac{2.345}{2}\right) \right) = 1.695 \text{ m.}$$

Tableau 3.10: les éléments de raccordement circulaire.

Rayon	Valeur	Tangente	Bissectrice	Développé	La flèche
R1	10000 m.	184.196 m.	1.696 m.	368.156 m.	1.695 m.

3.7.4.5 Calculs les éléments de raccordement progressif (clothoïde).

3.7.4.5.1 La longueur de la clothoïde.

➤ **Condition d'optique.**

Pour $R_2 = R_3 = R_4 = 1000\text{m}$. $\Delta R = 0.5$.

$$L_1 \geq \sqrt{24 \times R \times \Delta R} \quad \text{Avec } \Delta R = 0.5.$$

$$L_1 \geq \sqrt{24 \times 1000 \times 0.5} = 109.455\text{m}.$$

➤ **Condition de gauchissement.**

$L_2 \geq L \times \Delta d \times V_r$ Avec $\Delta d = 3.6\% - (-2.5\%) = 6.1\%$. $V_r = 100\text{km/h}$. et $L = 17\text{m}$.

$$L_2 \geq 17 \times 0.061 \times 100 = 103.7\text{m}.$$

➤ **Condition de confort dynamique.**

$$L_3 \geq \frac{V_r^2}{18} \left[\frac{V_r^2}{127 \times R} - \Delta d \right] \longrightarrow L_3 \geq \frac{100^2}{18} \left[\frac{100^2}{127 \times 1000} - 0.061 \right] = 9.855\text{m}.$$

Après avoir obtenu ces résultats, nous décidons d'utiliser une longueur de 111 mètres pour la clothoïde dans les trois virages.

Tableau 3.11: Longueur de la clothoïde.

	Conditions					Lmax (m)	L choisie (m)
	Optique	Gauchissement	Confort dynamique	Non Chevauchement			
N° Virage	L1 (m)	L2 (m)	L3 (m)	τ (gr)	$\beta/2$ (gr)		
2	109.455	103.7	9.855	0.555	5.176	109.455	111
3	109.455	103.7	9.855	0.555	10.735	109.455	111
4	109.455	103.7	9.855	0.555	16.981	109.455	111

3.7.4.5.2 Les paramètres de la clothoïde.

Tableau 3.12: Les paramètres de la clothoïde.

Parameters de Clothoïde		Virage 02	Virage 03	Virage 04
R	Rayon	1000 m	1000 m	1000 m
L	Longueur de Clothilde	111.111 m	111.111 m	111.111 m
A	Paramètre de Clothoïde	333.166	333.166	333.166
β	Angle au centre	10.353	21.471	33.963
$\alpha = 200 - \beta$	Angle au Sommet	189.647	178.529	166.037
$\tau = L / 2 \cdot R$	angle des tangents	0.055	0.055	0.055
$Y = 200 - \alpha - 2\tau$	Angle au centre partie circulaire	10.243	21.361	33.853
$XK_E = L - \frac{L^3}{40 \times R^4}$	Abscisse de l'extrémité de la Clothoïde	110.999	110.999	110.999
$YK_E = \frac{L^2}{6 \times R}$	Ordonnée de l'extrémité de la Clothoïde	2.053	2.053	2.053
$\sigma = \arctg \frac{YK_E}{XK_E}$	Angle Polaire (gr)	1.177	1.177	1.177
$D = \frac{\pi \cdot R \cdot \gamma}{200}$	Développée de cercle	51.510	226.159	422.385
$SL = \sqrt{XK_E^2 + YK_E^2}$	Longueur de la corde KA-KE	111.017	111.017	111.017
$X_0 = XK_E - R \sin \tau$	Abscisse du centre	110.135	110.135	110.135
$Y_0 = YK_E + R \cos \tau$	Abscisse du centre	1002.052	1002.052	1002.052
$KA_{CW0} = \sqrt{X_0^2 + Y_0^2}$	Longueur de la corde	1008.086	1008.086	1008.086
$\Delta R = \frac{L^2}{24R}$	Ripage	0.513	0.513	0.513
$DT=2L+D$	Développée totale	273.732	448.381	644.607
$TK = \frac{YK_E}{\sin(\tau)}$	Tangente courte	2376.328	2376.328	2376.328
$TL = XK_E - \left(\frac{YK_E}{\cos(\tau)} \right)$	Tangente longue	108.945	108.945	108.945

3.7.4.5.3 Longueur totale des « courbes / alignements droits »:

Tableau 3.13: Longueur totale des « courbes / alignements droits ».

Alignement droit (m).		Courbes (m).	
AT1	1214.4739	Dev (R1)	368.342
T1T2	1117.4256	Dev (R2)	273.732
T3T4	506.4827	Dev (R3)	448.381
T4T5	772.1685	Dev (R4)	644.607
T4B	654.0605	Longueur des courbes	1735.062 m.
Longueur total dealignement droit	4264.6112 m.		
Longueur total (d'alignement droit+ courbes)	6000		

✓ Pourcentage des alignements droit et courbe.

Tableau 3.14: Pourcentage des alignements droit et courbe.

Longueur total	Alignement Droit (%)	Courbe (%)
6000 m	71.08%	28.92%

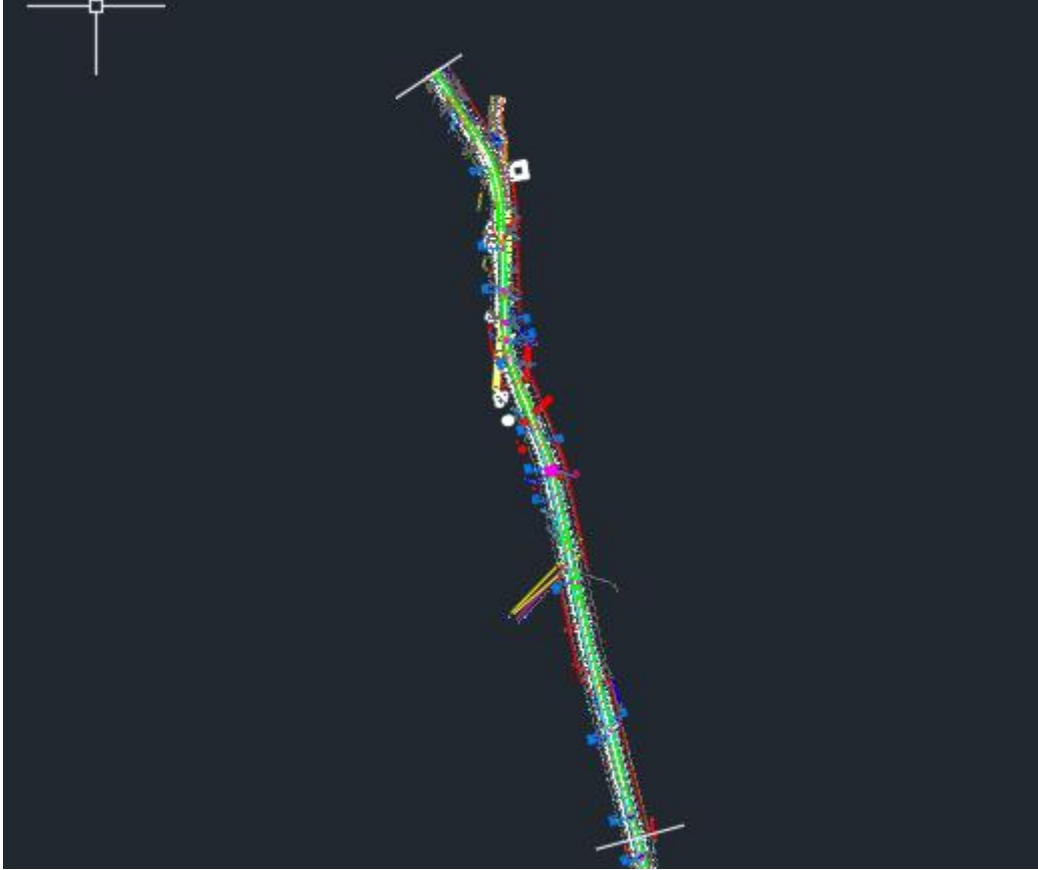


Figure 3.5: levé de bande de notre projet.

CHAPITRE 04 : PROFIL EN LONG.

4.1 Définition.

Le profil en long est une représentation plane de la surface du terrain naturel suivant un plan vertical contenant l'axe du tracé. Il détermine la configuration du terrain au droit de l'axe de la route caractérisé par des droites (pente, rampe), courbe horizontal ou incliné et paliers rigoureusement droits.

Le profil en long est l'un des facteurs principaux qui interviennent dans l'économie de déclivité maximale et autres caractéristiques techniques, il conditionne le degré ainsi que le volume de terrassement aussi bien que le cout de réalisation de la construction. Pratiquement, pour chaque point du profil en long on doit déterminer :

- L'altitude du terrain naturel (ligne noire).
- L'altitude du projet (ligne rouge).

4.2 Règles à respecter dans le tracé du profil en Long.

Parmi les règles à tenir en compte on peut citer :

- Assurer la coordination entre tracé en plan et profil en long.
- Respecter la valeur maximale et minimale des pentes et rampes.
- Assurer l'écoulement et l'évacuation des eaux de ruissellement de la chaussée tout le long du tracé.
- Rechercher un équilibre entre le volume des déblais et remblais.
- Éviter les angles aux rentrant pour raison de stagnation des eaux.
- Éviter les hauteurs excessives de remblai.
- Assurer la visibilité de dépassement.
- Adapter le profil en long aux grandes lignes du paysage.
- Doit suivre autant que possible le terrain naturel en léger remblai.

4.3 Règles à respecter dans le tracé de la ligne rouge.

La ligne rouge a une influence sur le coût de la réalisation du projet, pour cela nous avons essayé de respecter :

- Les rayons préconisés par les règlements actuels.
- Les déclivités (ne pas dépasser la valeur maximale).
- Éviter les angles rentrants en déblais (problèmes de stagnation des eaux).
- Assurer si possible une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.
- Le profil en long nous donne une idée sur la forme du terrain naturel qui nous permet de choisir la ligne du projet de façon à tenir compte du passage impératif en déblai dans les pentes.
- Équilibrer les surfaces remblai et déblai et éviter les grands terrassements.
- Assurer une bonne visibilité ;
- Assurer un confort dynamique pour l'utilisateur ;
- Permettre l'évacuation des eaux en prenant des déclivités supérieures ou égales à 0.5%.

4.4 Éléments 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 :

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

4.5 Coordination entre le tracé en plan et le profil en long.

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

Faire coïncider les courbes horizontales et verticales, puis respecter les conditions :

- $R \text{ vertical} > 6 \times R \text{ horizontal}$, pour éviter un défaut d'inflexion.
- Supprimer les pertes de tracé dans la mesure où une telle disposition n'entraîne pas de coût sensible.

4.6 Déclivité.

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

4.6.1 Déclivité minimum.

Dans un terrain plat 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 chaussée.

On adopte en général les pentes longitudinales minimales suivantes :

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

4.6.2 Déclivité maximum.

Du point de vue technique, la déclivité max dépend de l'adhérence entre pneus et chaussée, ainsi que la réduction des vitesses qu'elle provoque. 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 4.1: Valeur de déclivité maximale [NormesB40].

Vr (Km/h)	40	60	80	100	120	140
Déclivité max (%)	8	7	6	5	4	4

Remarque : l'augmentation excessive des rampes provoque ce qui suit :

- Effort de traction est considérable.
- Consommation excessive de carburant.
- Faibles vitesses.
- Gène des véhicules.

La vitesse de base qu'on a retenue dans notre projet est 100Km/h, donc la déclivité maximale est de 5%.

4.7 Les raccordements en profil en long.

Le changement de déclivité constitue des points particuliers dans le profil en long, ce changement est assuré par l'introduction de raccordement circulaire qui doit satisfaire aux conditions de confort et de visibilité. On distingue deux types raccordements :

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

4.7.1 Les raccordements en angle saillant (convexes).

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. La conception des raccordements convexes doit satisfaire les conditions Suivantes :

- Condition de confort.
- Condition de visibilité.

4.7.1.1 Condition de confort.

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

Pour :

- Cat 1-2 $\longrightarrow g/40 \longrightarrow Rv \min = 0.3 Vr^2$
- Cat 3-4-5 $\longrightarrow g/30 \longrightarrow Rv \min = 0.23Vr^2$
- $Vr^2/Rv < g/40 \longrightarrow g=10m/s$

Avec :

Rv : rayon vertical (m).

Vr : vitesse référence (Km/h).

4.7.1.2 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 suivant :

$$RV = \frac{d_0^2}{2} (h_0 + h_1 + 2\sqrt{h_0 \times h_1})$$

Avec :

D_0 : distance d'arrêt (m).

H_0 : hauteur de l'œil (m).

h_0 : hauteur de l'obstacle (m).

Dans le cas d'une route unidirectionnelle :

$$h_0 = 1,1 \text{ m}, h_1 = 0.15 \text{ m}$$

On trouve : $Rv = a \cdot d_1^2$; $a = 0,24$

Pour Cat 1-2 $Rv = 0,24 d1$

Les rayons assurant ces deux conditions sont donnés par les normes en fonction de la Vitesse de base et la catégorie, pour choix unidirectionnel et pour une vitesse de base

$V_b = 100$ (Km/h) et pour la catégorie 1-2 on a :

Tableau 4.2: Rayons convexes (angle saillant) [B40].

Rayon	Symbole	Valeur
Min-absolu	RVm1	6000
Min-normal	RVN1	12000

4.7.2 Raccordements concaves (angle rentrant).

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

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

Tableau 4.3: Rayons concaves (angle rentrant) [B40].

Rayon	Symbole	Valeur
Min-absolu	R'Vm	3000
Min-normal	R'VN	4200

4.7.2.1 Condition esthétique.

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

Tableau 4.4: tableau récapitulatif.

Catégorie	C1
Environnement	E1
Vitesse	100 km/h
Rayan en angle Saillant Rv	Route bidirectionnel (2x2voies) Rvm1 (minimal absolu) = 6000 m Rvn1 (minimal normal) = 12000 m
Rayan en angle Rentrant Rv'	Route bidirectionnel (2x2voies) R'vm (minimal absolu) = 3000 m R'vn (minimal normal) = 4200 m
Déclivité maximale I_{max}%	05%
Hauteur de l'œil	1,1 m
Hauteur d'Obstacle	0.15m

4.8 Détermination pratique du profil en long.

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

$$x^2 + y^2 - 2RY = 0$$

À l'équation de la parabole

$$x^2 - 2RY = 0 \quad \longrightarrow \quad Y = \frac{x^2}{2R}$$

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

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

4.8.1 Détermination de La position du point de rencontre (S).

On a:

$$z_{D'} = z_A + l \cdot P_2 ; m = z_{A'} - z_A$$

$$z_{A'} = z_D + L \cdot p_1 ; n = z_{D'} - z_D$$

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

$$\frac{m}{n} = \frac{x}{l-x} \quad x = \frac{ml}{m+n}$$

$$x_S = x + x_A$$

$$Z_S = p_1 \cdot x + z_A$$

4.8.2 Calculs de La tangente.

$$T = \frac{R}{200} [P_1 - P_2]$$

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

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

$$E \left\{ \begin{array}{l} X_E = X_S - T \\ Z_E = Z_S - T \cdot P_1 \end{array} \right\}$$

$$F \left\{ \begin{array}{l} X_F = X_S - T \\ Z_F = Z_S - T \cdot P_2 \end{array} \right\}$$

4.8.3 Projection horizontale de la longueur de raccordement.

$$LR = 2T$$

4.8.4 Calcul de la flèche.

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

4.8.5 Calcul de la flèche et de l'altitude d'un point courant M sur la courbe.

$$M \left\{ \begin{array}{l} H_x = \frac{x^2}{2R} \\ Z_M = Z_B + X_{P1} - \frac{X^2}{2R} \end{array} \right\}$$

4.8.6 Calcul des cordonnées du sommet de la courbe (T).

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

$$X_1 = RP_1; X_2 = RP_2J \quad X_J = X_E + RP_1$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X_J = X_S + RP_1 \\ Z_J = Z_E + X_1 \cdot P_1 \frac{X^2_1}{2R} \end{array} \right.$$

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

4.9 Exemple de calcul de profil en long rentrant.

4.9.1 Calcul de la tangente.

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

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

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

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

$$T = \frac{67553.00}{200} |0.747 - 2.033|$$

$$T = 434.365 \text{ m.}$$

La longueur L du raccordement verticale

$$L = 2 \times T$$

$$L = 2 \times 434.365$$

$$L = 868.737 \text{ m}$$

➤ La flèche F

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

$$F = \frac{434.365^2}{2(67553.00)}$$

$$F = 0.006 \text{ m.}$$

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

Tableau 4.5: les valeurs de projet.

Élément Sommet	P1% P2%	Nature du rayon	Sens des pentes	Les rayons (m)	T (m)	L (m)	F (m)
S1	0.747 2.033	Rentrant	Même sens	67553.00	434.365	868.737	0.006
S2	2.033 0.575	Saillant	Même sens	53071.00	386.887	773.7752	0.003
S3	0.575 4.017	Rentrant	Même Sens	16669.00	286.290	572.580	2.458
S4	4.017 2.818	Saillant	Même sens	47815.00	286.650	573.304	0.859
S5	2.818 -3.203	Saillant	Sens contraire	15000.00	451.575	903.150	6.797
S6	-3.203 -4.252	Saillant	Même sens	15000.00	78.675	157.350	0.206

CHAPITRE 05 : PARAMETRE CINEMATIQUE.

5.1 Introduction.

Dans l'étude cinématique on a des paramètres relatifs à la considération du mouvement des véhicules sur la route, ces paramètres déterminent les caractéristiques nécessaires au tracé du projet. Elle a pour but de déterminer les paramètres cinématiques nécessaires à l'évaluation de la visibilité qui conditionne le comportement de l'usager sur la route.

5.2 Distance de freinage.

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

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

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

$$\text{En palier : } d_0 = 0.004 \times \frac{Vr^2}{g \times fl}$$

$$\text{En rampe : } d_0 = 0.004 \times \frac{Vr^2}{g \times (fl + i)}$$

$$\text{En pente : } d_0 = 0.004 \times \frac{Vr^2}{g \times (fl - i)}$$

Avec :

FL : Coefficient de frottement longitudinal qui dépend de la vitesse Vr.

Le coefficient de frottement longitudinal f varie avec l'état des pneus de la chaussée comme il peut varier avec la vitesse du véhicule.

Vr : vitesse de référence en Km/h.

i : déclivité.

Tableau 5.1: Coefficient de frottement longitudinal selon les normes de B40.

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

- Pour notre projet on a fl = 0.36.

5.3 Temps de réaction.

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

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

Dans une attention concentrée :

- $t = 1.2$ s pour un obstacle imprévisible.
- $t = 0.6$ s pour un obstacle prévisible.

On prend $t = 1.8$ s par rapport à la catégorie et la vitesse

Tableau 5.2: Les valeurs du temps de perception réaction t en fonction de E, CAT et Vr.

Cat	Cat 1-2		Cat 3-4-5	
ENV				
Vitesse	>80	<80	>60	<60
E1 et E2	1.8s	2s	1.8s	2s
E3	1.8s			

Donc la distance parcourue pendant le temps de réaction et de perception est $d_1 = v \times t$.

Avec :

v : m/s

t : s

5.4 Distance d'arrêt

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

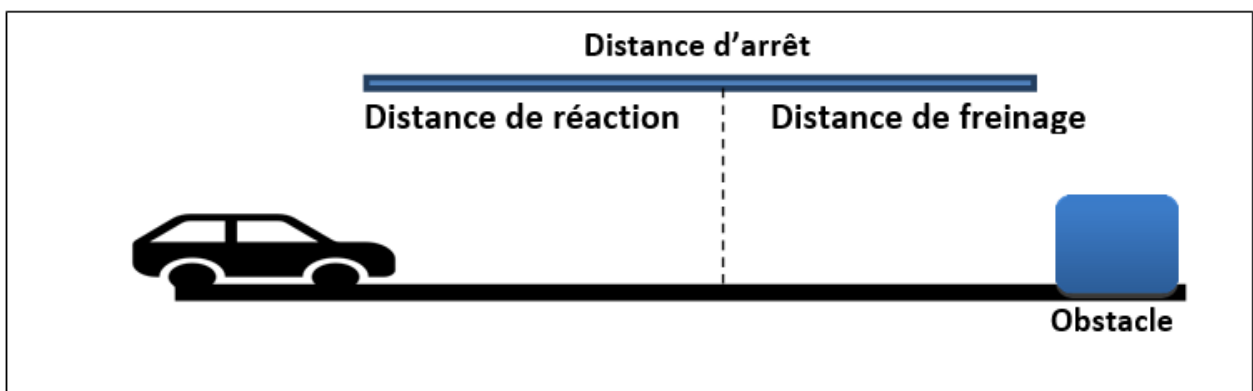


Figure 5.1: La distance d'arrêt.

➤ En alignement droit

Pour $V_r > 80$ Km/h et quand $t = 1.8$ s ➡ $d = d_0 + 0.50v_r$.

Pour $V_r < 80$ Km/h et quand $t = 2$ s ➡ $d = d_0 + 0.55v_r$.

➤ En courbe

On doit majorer la distance de freinage de 25% car le freinage est moins énergétique afin de ne pas perdre le contrôle du véhicule.

Tableau 5.3: Lois de distance d'arrêt.

Nature de route \ T(s)	Alignement droit	Courbe
1.8	$d_1 = d_0 + 0.50v$	$d_1 = 1.25d_0 + 0.50v$
2	$d_1 = d_0 + 0.55v$	$d_1 = 1.25d_0 + 0.55v$

Avec :

d_1 : distance d'arrêt.

d_0 : distance de freinage.

V : vitesse (km/h).

5.5 Manœuvre de dépassement.

dvdm : Distance de visibilité et de manœuvre de dépassement moyenne.

dvdN : Distance de visibilité et de manœuvre de dépassement normale.

dma : Distance de visibilité de manœuvre et de dépassement.

Tableau 5.4: Valeur de dvd et dmd en fonction de la vitesse.

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

- D'après le tableau des normes de la B40, on tire les valeurs de dvd_m, dvd_n et dmd en fonction de la vitesse.

5.6 Espacement entre deux véhicules

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

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

5.7 Application au projet.

5.7.1 Distance de freinage.

Pour notre projet on a fl : 0.36.

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

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

$$d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{100^2}{(0.36)} = 111.111 \text{ m.}$$

- En rampe : $i = 0.052$

$$d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{100^2}{(0.36+0.052)} = 97.087 \text{ m.}$$

- En pente : $i = -0.052$

$$d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{100^2}{(0.36-0.052)} = 129.870 \text{ m.}$$

5.7.2 Distance d'arrêt.

En alignement droit :

On a $V_r = 100 \text{ km/h}$ et $t = 1.8 \text{ s}$ avec

$$d_1 = d_0 + 0.50v$$

- En palier : $= 111.111 + (0.50 \times 100) = 161.111 \text{ m}$
- En rampe : $d = 97.087 + (0.55 \times 80) = 141.087 \text{ m}$

➤ En pente : $d = 129.870 + (0.55 \times 80) = 179.870$ m

En courbe :

$$d_1 = 1.25d_0 + 0.50v$$

➤ En palier : $d_1 = 1.25 \times 111.111 + (0.50 \times 100) = 188.888$ m.

➤ En rampe : $d_1 = 1.25 \times 97.087 + (0.50 \times 100) = 171.358$ m.

➤ En pente : $d_1 = 1.25 \times 129.870 + (0.50 \times 100) = 212.337$ m

• **Dvdm** = 420 m.

• **dvdN** = 620 m.

• **dmd** = 300 m.

5.7.3 Espacement entre véhicules.

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

$$E = 8 + 0.2 \times 100 + 0.003 \times 100^2 = 58 \text{ m.}$$

CHAPITRE 06 : ETUDE DU TRAFIC.

6.1 Introduction.

Une étude de trafic est une phase fondamentale qui doit intervenir à l'amont de toute réflexion relative à un projet routier. Elle permet de déterminer l'intensité du trafic et son agressivité (poids lourds). Le dimensionnement du corps de chaussée nécessite la connaissance du trafic journalier moyen annuel (TJMA) ainsi que sa répartition sur les différentes catégories de véhicules.

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 :

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

6.2 Analyse de trafics.

Pour connaître en un point le volume et la nature du trafic, il faut procéder à un comptage. Ce dernier nécessite une logistique et une organisation appropriée. Les analyses de circulation sur les diverses artères du réseau routier sont nécessaires pour l'élaboration des plans d'aménagement ou de transformation de l'infrastructure, la détermination des dimensions à donner aux routes et à l'appréciation de l'utilité des travaux à engager. Les éléments de ces analyses sont multiples :

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

Lors des études de trafic, on distingue en fonction de l'origine et de la destination des véhicules les catégories suivantes :

- Trafic de Transit : Origine et destination en dehors de la zone étudiée, (ex : déviation).
- Trafic d'échange : Origine et destination sont à l'intérieur de la zone étudiée, l'autre à l'extérieur.
- Trafic Local : Interne qui se déplace à l'intérieur de la zone étudiée.

6.3 Mesure des trafics.

Cette mesure est réalisée par différents procédés complémentaires :

- Les comptages
- Les enquêtes

6.3.1 Les comptages.

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

- Les comptages manuels.
- Les comptages automatiques.

6.3.1.1 Les comptages manuels.

Ils sont réalisés par les agents 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 communs.

Les trafics sont exprimés en moyenne journalière annuelle (T.J.M.A).

6.3.1.2 Les comptages automatiques.

Ils sont effectués à l'aide d'appareil enregistreur comportant une détection pneumatique réalisée par un tube en caoutchouc tendu en travers de la chaussée.

On distingue ceux qui sont permanents et ceux qui sont temporaires :

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.

Les comptages temporaires : s'effectuent une fois par an durant un mois pendant la période où le trafic est intense sur les tronçons des réseaux routiers à l'aide de postes de comptages tournants.

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.

6.3.2 Les enquêtes.

Cette méthode permet en particulier de recenser les flux de trafic inter zonaux, en définissant leur origine et destination. Il existe plusieurs types d'enquêtes.

6.3.2.1 Les Enquêtes Origine Destination.

Il est plus souvent opportun de compléter les informations recueillies à travers des comptages par des données relatives à la nature du trafic et à l'orientation des flux, on peut recourir en fonction du besoin, à 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.

6.3.2.2 Les Enquêtes papillons ou distributions.

Le principe consiste à délimiter le secteur d'enquête et à définir les différentes entrées et sorties, un agent colle un papillon sur le pare-brise de chaque véhicule (ou on distribue une carte automobiliste), sachant que ces papillons et sont différents à chaque entrée un autre agent identifie l'origine des véhicules en repérant les papillons ou en récupérant les cartes.

Les avantages de la méthode : sont la rapidité de l'exploitation et la possibilité de pouvoir se faire de jour comme de nuit.

Les inconvénients de la méthode : c'est que l'enquête ne permet pas de connaître l'origine et la destination exacte des véhicules, mais seulement les points d'entrées et de sortie du secteur étudié.

6.3.2.3 Relevé des plaques minéralogiques.

On relève, par enregistrement sur un magnétophone en différents points (à choisir avec soin) du réseau, les numéros minéralogiques des véhicules ou au moins une (de l'ordre de quatre à chiffres ou lettres) la comparaison de l'ensemble des relevés permet d'avoir une idée des flux.

Cette méthode permet d'avoir des résultats sans aucune gêne de la circulation par contre le relevé des numéros est sujet à un risque d'erreur non négligeable.

6.3.2.4 Interview des conducteurs.

Cette méthode est lourde et onéreuse mais donne des renseignements précis, on arrête (avec l'aide des forces de gendarmerie pour assurer la sécurité) un échantillon de véhicules en différents points du réseau et on questionne (pendant un temps très court qui ne doit pas dépasser quelques minutes sous peines d'irriter l'utilisateur) l'automobiliste pour recueillir les données souhaitées :(origine, motif, fréquence et durée, trajet utilisé).

Ces informations s'ajoutent à celles que l'enquêteur peut relever directement tels que le type de véhicule.

6.3.2.5 Les enquêteurs à domicile – Enquête ménage.

Un échantillon de ménages sélectionné à partir d'un fichier fait l'objet d'une interview à son domicile par une personne qualifiée, le temps n'étant plus limité comme dans le cas des interviews le long des routes, on peut poser un grand nombre de questions et obtenir de nombreux renseignements en général, ce type d'enquête n'est pas limité à l'étude d'un projet particulier mais porte sur l'ensemble des déplacements des ménages dans une agglomération.

6.4 Différents types de trafic.

- A. Trafic normal :** C'est un trafic existant sur l'ancien aménagement sans prendre en considération le trafic du nouveau.
- B. Trafic dévié :** C'est le trafic attiré vers la nouvelle route aménagée. La déviation du trafic n'est qu'un transfert entre les différents moyens d'atteindre la même destination.
- C. Trafic total :** C'est la somme du trafic annuel et du trafic dévié.
- D. Trafic induit :** C'est un trafic qui résulte de nouveau déplacement des personnes vers d'autres déviations.

6.5 Modèles de présentation de trafic.

Dans l'étude des projections des trafics la première opération consiste à définir un certain nombre de flux de trafic qui constitue des ensembles homogènes en matière d'évolution ou d'affectation. Les diverses méthodes utilisées pour estimer le trafic dans le Futur sont :

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

6.5.1 *Prolongation de l'évolution passée.*

La méthode consiste à extrapoler globalement au cours des années à venir l'évolution des trafics observés dans le passé. On établit en général un modèle de croissance du type exponentiel.

Le trafic T_n à l'année n sera :

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

Où :

T_0 : est le trafic à l'arrivée pour origine.

τ : est le taux de croissance.

6.5.2 *Corrélation entre le trafic et des paramètres économiques.*

Elle consiste en la recherche dans le passé d'une corrélation entre le niveau de trafic d'une part et certains indicateurs macro-économiques :

- Produit nationale brute (PNB).
- Produits des carburants, d'autres part, si on pense que

Cette corrélation restera à vérifier dans le taux de croissance du trafic, mais cette méthode nécessite l'utilisation d'un modèle de simulation, ce qui sort de cadre de notre étude.

6.5.3 *Modèle gravitaire.*

Il est nécessaire pour la résolution des problèmes concernant les trafics actuels au futur proche, mais il se prête mal à la projection.

6.5.4 *Modèle de facteurs croissance.*

Ce type de modèle nous permet de projeter une matrice origine-destination.

La méthode la plus utilisée est celle de FRATAR qui prend en considération les facteurs suivants :

- Le taux de motorisation des véhicules légers et utilisation.
- Le nombre d'emploi.
- La population de la zone.

Cette méthode nécessite des statistiques précises et une recherche approfondie de la zone à étudier.

Pour notre cas, nous utiliserons la première méthode, c'est à dire la méthode (prolongation de l'évolution passée) vu sa simplicité et parce qu'elle intègre l'ensemble des variables économiques de la région.

6.6 Calcul de la capacité.

6.6.1 *Définition de la capacité.*

La capacité et le nombre de véhicules qui peuvent raisonnablement passer sur une direction de la route (ou deux directions) avec des caractéristiques géométriques et de circulation qui lui sont propre durant une période bien déterminer, la capacité s'exprime sous forme d'un débit horaire.

- Des distances de sécurité (en milieu urbain ce facteur est favorable, Il est beaucoup moins en rase compagne, ou la densité de véhicules sera beaucoup plus faible).
- Des conditions météorologiques.
- 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).

6.6.2 La procédure de détermination du nombre de voies.

Le choix de nombre de voies résulte de la comparaison entre l'offre et la demande, c'est à dire, 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 la vingtième année d'exploitation.

6.6.2.1 Calcul de TJMA horizon.

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

$$TJMA_{\text{horizon}} = (1 + \tau)^n \times TJMA_{\text{service}}$$

Avec :

TJMA horizon : le trafic à l'année horizon.

$TJMA_{\text{service}}$: Trafic journalier moyen à l'année de mise en service.

τ : taux d'accroissement annuel (%)

N : nombre d'année à partir de l'année de mise en service.

6.6.2.2 Calcul des trafics effectifs.

C'est le trafic traduit en unité de véhicules particulier (u.v.p), en fonction de type de route et de l'environnement Pour cela on utilise des coefficients d'équivalence pour convertir les PL en (u.v.p).

Le trafic effectif est donné par la relation suivante :

$$T_{\text{eff}} = [(1-z) + p.z] TJMA_{\text{horizon}}$$

Avec :

T_{eff} : Trafic effectif à l'année horizon en (u.v.p/j).

Z : Pourcentage de poids lourd.

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

La présence des véhicules poids lourds réduit le débit des routes ainsi l'encombrement des poids lourds est évalué comme P véhicules particulière, P variant et sa valeur est associée à

La nature topographique du terrain et le nombre des voies d'une route. Le tableau ci dessous nous permet de déterminer le coefficient d'équivalence « P » pour poids lourds en fonction de l'environnement et les caractéristiques de notre route.

Tableau 6.1: Valeurs du coefficient P.

Routes	E1 (Plaine)	E2 (Vallonnée)	E3 (Montagneuse)
2 voies	3	6	12
3 voies	2.5	5	10
4 voies	2	4	8

6.6.2.3 Débit de pointe horaire normal

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

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

Avec :

Q : Débit de pointe horaire [uvp/h]

n : Nombre d'heure, (en général n=8 heures) d'après le B40 on prend $(1/n)=0.12$.

T_{eff} : Trafic effectif.

6.6.2.4 Débit horaire admissible.

On détermine le débit horaire admissible :

$$Q_{adm} = K1. K2. Cth$$

C : capacité effective du profil en travers en régime stable par UVP/h.

K1 : coefficient dépendant de l'environnement.

K2 : coefficient réducteur de capacité traduisant la déférence entre caractéristiques réelles et idéales de circulation.

Tableau 6.2: Valeur de K1.

Environnement	E1	E2	E3
K1	0.75	0.85	0.90-0.95

Tableau 6.3: Valeur de K2.

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	0.91	0.95	0.97	0.96	0.96

6.7 La capacité théorique.

La capacité d'une route dépend de la largeur de la voie et l'accotement et elle est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 6.4: La capacité théorique.

	Capacité théorique
Route à 2 voies de 3,5 m	1500 à 2000 u.v.p/h
Route à 3 voies de 3,5 m	2400 à 3200 u.v.p/h
Route à chaussées séparées	1500 à 1800 u.v.p/h

6.8 Calcule nombre de voies

- Cas d'une chaussée bidirectionnel

On compare « d » et « Q » et on choisit le type de la route dont le débit : $Q_{adm} \leq Q$

➤ Cas d'une chaussée unidirectionnelle

Le nombre de voie par chaussée est le nombre le plus proche du rapport : $N = S.d / Q_{adm}$

Avec :

S : coefficient de dissymétrie (généralement égal à 2/3).

d : débit à l'année d'horizon

Q_{adm} : débit admissible par voie

6.9 Application au projet.

D'après les résultats du trafic qui nous ont été fournis :

- Le trafic à l'année de compactage 2017 $TMJA_{2017} = 13019$ uvp/j.
- Le taux d'accroissement annuel du trafic $\tau = 3.33\%$.
- La vitesse de base sur le tracé $V_b = 100$ km /h.
- Le pourcentage moyen de poids lourds $Z = 20\%$
- L'année de mise en service sera en 2025
- Environnement (E1) - Catégorie (CAT1).
- La durée de vie estimée à 20 ans.

6.9.1 Projection future du projet.

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

$$TJMA_{2025} = (1 + 0.033)^8 \times 13019$$

$$TJMA_{2025} = 16881 \text{ v/j}$$

$$TJMA_{2045} = (1 + 0.033)^{20} \times 16881$$

$$TJMA_{2045} = 32316 \text{ v /j}$$

6.9.2 Trafic Effectif.

$$T_{eff} = [(1-z) + p.z] \times TJMA_h$$

- Année de mise en service

$$T_{\text{eff}2025} = [(1-0.2) + 2 \times 0.2] \times 16881$$

$$T_{\text{eff}2025} = 20258 \text{ uvp/j}$$

- Année horizon

$$T_{\text{eff}2045} = [(1-0.2) + 2 \times 0.2] \times 32316$$

$$T_{\text{eff}2045} = 38780 \text{ uvp/j}$$

6.9.3 Débit de point horaire normale.

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

- $Q_{2025} = 0.12 \times 20258$
- $Q_{2025} = 2431 \text{ uvp/h.}$
- $Q_{2045} = 0.12 \times 38780$
- $Q_{2045} = 4654 \text{ uvp/h}$

6.9.4 Debit horaire admissible.

C'est le débit admissible que peut supporter une route :

Le débit que supporte une section donnée :

K1 : coefficient correcteur pris égal à 0.75 pour E1 (d'après le B40)

K2 : coefficient correcteur pris égala 1.00 pour environnement (E1) et catégorie (C2)

(d'après le B40)

Cth : capacité théorique Cth= 2000(d'après le B40 pour E1, C2 et pour une chaussée à

2 voies).

- $Q_{\text{adm}} = 0,75 \times 1 \times 2000$

$$Q_{\text{adm}} = 1500 \text{ uvp/h /sens}$$

6.9.5 Calcul nombre des voies.

Cas d'une chaussée unidirectionnelle $N = S \times Q / Q_{adm}$

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

$$N = (2/3) \times (4654/1500)$$

$$N = 2.06 = \mathbf{2 \text{ voies /sens.}}$$

6.9.6 Calcul de l'année de saturation de 2x2 voies.

- Q saturation = 4 x Qadm
- Q saturation = 4 x 1500 = 6000 uvp/h
- $n = \frac{\ln(\frac{Q_{sat}}{Q})}{\ln(1+\tau)} = \frac{\ln(\frac{6000}{1500})}{\ln(1+0.033)}$
- $n = 43 \text{ans}$

D'où notre route sera saturée dans 43 ans après la mise en service donc l'année de Saturation est 2068.

Tableau 6.5: Tableau récapitulatif des résultats.

$TJMA_{2025}$	16881
$TJMA_{2045}$	32316
$T_{eff2025}$	20258
$T_{eff2045}$	38780
Q_{2025}	2431
Q_{2045}	4654
Q_{adm}	1500
Q_{sat}	6000
N	2 voies/s

Chapitre 07 : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE.

7.1 Généralités.

Le dimensionnement du corps de chaussée est l'étape de conception d'une chaussée qui consiste à déterminer les caractéristiques géométriques et structurelles des différentes couches qui constituent la chaussée. Il s'agit d'une étape cruciale pour s'assurer que la chaussée sera capable de supporter les charges du trafic, les variations climatiques et les conditions environnementales tout en assurant la sécurité des usagers.

Le dimensionnement du corps de chaussée doit prendre en compte plusieurs facteurs tels que la classification de la route, la nature du sol, la qualité des matériaux disponibles sur le site, la fréquence et le type de véhicules qui circuleront sur la chaussée, les conditions climatiques, la topographie et les normes et réglementations en vigueur dans la région où la chaussée sera construite.

Le résultat du dimensionnement du corps de chaussée est une épaisseur et une composition de différentes couches de matériaux, chacune ayant une fonction spécifique pour assurer la sécurité et la durabilité de la chaussée. Une fois la conception réalisée, des études de faisabilité et de coût doivent être effectuées pour choisir les matériaux les plus appropriés pour chaque couche et optimiser les coûts de construction et d'entretien à long terme.

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

7.1.1 De la charge des véhicules.

- La charge maximale autorisée sur un jumelage isolé est de 65 KN (6,5 tonnes) soit un essieu standard de 130 KN (13 T).
- Il arrive également que cette charge maximale dépassée à cause de phénomène de surcharge.

7.1.2 Des intempéries.

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

7.1.3 Des efforts tangentiels.

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

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

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

7.2 La chaussée.

7.2.1 Au sens géométrique.

Au sens géométrique, la chaussée est la surface plane et horizontale de la route destinée à la circulation des véhicules, des piétons et des cyclistes. Elle est généralement délimitée par les bordures de la voie de circulation et est caractérisée par sa largeur, sa pente longitudinale et sa courbure.

La largeur de la chaussée dépend du nombre de voies de circulation, du type de véhicules qui l'empruntent et des contraintes environnementales. Elle est généralement comprise entre 3,5 mètres pour une voie de circulation et jusqu'à 30 mètres pour les autoroutes à plusieurs voies.

La pente longitudinale de la chaussée correspond à la déclivité de la route dans le sens longitudinal. Elle est conçue pour faciliter l'écoulement des eaux de pluie et améliorer la visibilité des usagers de la route. La pente doit être suffisamment faible pour permettre une circulation fluide et éviter les risques d'aquaplaning.

La courbure de la chaussée correspond au rayon de la courbe dans le plan horizontal de la route. Elle est déterminée par les contraintes topographiques et la vitesse de circulation des

véhicules. Une courbure trop prononcée peut causer des risques de dérapage et d'accident, tandis qu'une courbure trop faible peut augmenter la fatigue des conducteurs et des passagers.

7.2.2 *Au sens structurel.*

Au sens structurel, la chaussée est une structure de chaussée qui assure la résistance et la portance de la route. Elle est constituée de plusieurs couches de matériaux, chacune ayant une fonction spécifique. La couche supérieure est la surface de roulement, souvent recouverte d'un revêtement en asphalte ou en béton. Les couches inférieures sont conçues pour assurer la stabilité et la portance de la chaussée, la répartition des charges et le drainage des eaux de pluie.

7.2.2.1 *Couche de surface.*

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

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

7.2.2.2 *Couche de base.*

La couche de base est une des couches qui composent la structure de la chaussée. Elle est située sous les couches de forme et est destinée à assurer la portance de la chaussée en répartissant les charges de manière uniforme sur toute la surface de la route.

La couche de base est généralement constituée de matériaux granulaires, tels que le gravier, le sable ou le concassé, et peut avoir une épaisseur variant de quelques centimètres à plusieurs dizaines de centimètres en fonction des contraintes de la circulation et des caractéristiques du sol.

La couche de base a pour rôle de supporter les charges de circulation, de résister aux déformations de la chaussée et de distribuer les contraintes verticales sur toute la surface de la route. Elle contribue également à améliorer le drainage de la chaussée en permettant l'écoulement des eaux de pluie vers les couches inférieures.

Le choix des matériaux et la qualité de leur mise en œuvre sont des facteurs clés dans la résistance et la durabilité de la couche de base. Des matériaux de qualité inférieure ou une mise en œuvre insuffisante peuvent entraîner une dégradation prématurée de la chaussée, des déformations et des fissures, ainsi qu'une diminution de la sécurité routière.

7.2.2.3 Couche de fondation.

La couche de fondation est une couche de la structure de la chaussée située sous la couche de base et qui assure la répartition des charges de la chaussée sur le sol support.

La couche de fondation est généralement constituée de matériaux de grande dimension (pierres, blocs de béton, etc.) ou de matériaux plus fins et compactables (par exemple des matériaux granulaires comme le sable). Cette couche est destinée à renforcer la résistance de la chaussée et à répartir les charges de circulation sur une surface plus importante.

La couche de fondation est particulièrement importante dans les zones où le sol est instable ou peu porteur. Elle doit être dimensionnée en fonction des caractéristiques du sol, du trafic attendu et des charges de la chaussée. Une mauvaise conception ou une mise en œuvre défectueuse de la couche de fondation peut entraîner des déformations, des affaissements et des fissures dans la chaussée.

La mise en œuvre de la couche de fondation nécessite une grande attention. Les matériaux doivent être compactés avec soin pour garantir une bonne répartition des charges et une résistance optimale de la chaussée. Les matériaux de la couche de fondation doivent également être compatibles avec les autres couches de la chaussée pour garantir une bonne adhérence entre les différentes couches.

En résumé, la couche de fondation est une couche de la structure de la chaussée qui contribue à renforcer la résistance de la chaussée et à répartir les charges de circulation sur une surface plus importante. Elle est donc essentielle pour garantir la durabilité et la sécurité de la chaussée.

7.2.2.4 Couche de forme.

La couche de forme est la couche supérieure du sol naturel sur laquelle est construite la chaussée. Elle sert de base à la construction de la chaussée et permet d'obtenir une surface plane et stable pour la mise en place des autres couches de la structure de la chaussée.

La couche de forme est constituée du sol naturel existant qui est nivelé et compacté pour atteindre les caractéristiques de portance et de planéité nécessaires. Elle peut également être constituée de matériaux d'apport, tels que du sable ou du gravier, si le sol naturel est insuffisamment porteur ou peu stable.

La qualité de la couche de forme est très importante pour la stabilité et la durabilité de la chaussée. Une couche de forme insuffisamment compactée ou non homogène peut entraîner des problèmes tels que des affaissements, des fissures et des ondulations dans la chaussée.

La mise en œuvre de la couche de forme doit être réalisée avec soin pour garantir une surface plane et homogène. Elle doit être compactée à l'aide de matériel approprié, tels que des rouleaux compresseurs, pour atteindre les caractéristiques de portance et de planéité requises.

En résumé, la couche de forme est la couche supérieure du sol naturel sur laquelle est construite la chaussée. Elle est essentielle pour garantir la stabilité et la durabilité de la chaussée, et doit être mise en œuvre avec soin pour garantir une surface plane et homogène

7.3 Les différentes catégories de chaussée.

Il existe deux catégories de chaussées :

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

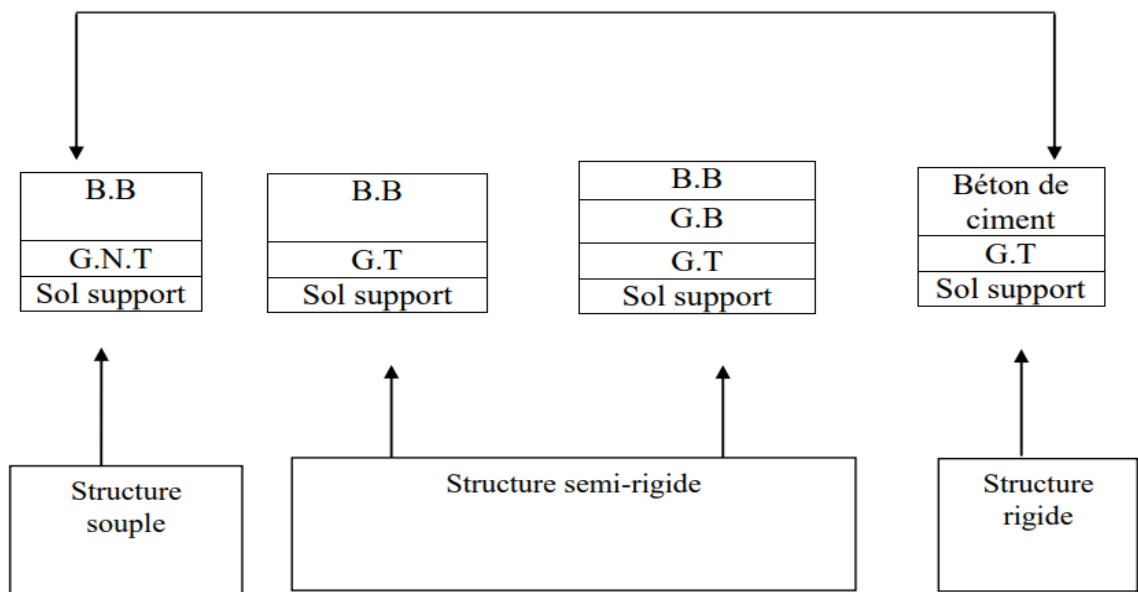


Figure 7.1: Les différentes catégories de chaussée.

Avec :

BB : béton bitumineux.

GB : grave bitume.

GT : grave traité.

G.N.T : grave non trait.

Le dimensionnement des structures constitue une étape importante de l'étude d'un projet routier car la qualité d'un projet routier ne se limite pas à l'obtention d'un bon tracé en plan et d'un bon profil en long, en effet, une fois réalisée, la chaussée devra résister aux agressions des agents extérieurs et à la surcharge d'exploitation : action des essieux des véhicules lourds, effets des gradients thermiques pluie, neige, verglas... Etc. Pour cela il faudra non seulement assurer à la route de bonnes caractéristiques géométriques mais aussi de bonnes caractéristiques mécaniques lui permettant de résister à toutes ces charges pendant sa durée de vie. La qualité de la construction de chaussées joue à ce titre un rôle primordial, celle-ci passe d'abord par une bonne reconnaissance du sol support et un choix judicieux des matériaux à utiliser, il est ensuite indispensable que la mise en œuvre de ces matériaux soit réalisée conformément aux exigences arrêtées. Enfin, on examinera les différentes méthodes de dimensionnements avec une application au projet.

7.4 Les principales méthodes de dimensionnement.

On distingue deux familles des méthodes :

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

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

7.4.1 Method C.B.R (California – Bearing – Ratio).

C'est une méthode semi empirique qui se base sur un essai de poinçonnement sur un échantillon du sol support en compactant les éprouvettes de (90° à 100°) de l'optimum Proctor modifié sur une épaisseur d'eau moins de 15 cm.

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

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

Avec :

e : épaisseur équivalente.

I : indice CBR (sol support).

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

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

Log : logarithme décimal.

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante :

$$e = a_1 e_1 + a_2 e_2 + a_3 e_3 + a_4 e_4$$

Avec :

$a_1 e_1$: Couche de roulement.

$a_2 e_2$: Couche de liaison.

$a_3 e_3$: Couche de base.

$a_4 e_4$: Couche de fondation.

Où :

a1, a2, a3, a4 : coefficients d'équivalence.

e1, e2, e3, e4 : épaisseurs réelles des couches.

Pour le calcul de l'épaisseur réelle de la chaussée on fixe e1, e2,e3 et on calcul e4 tel que :

- e1 : Couche roulement 6 à 8 cm.
- e2 : Couche de liaison 6 à 10 cm.
- e3 : Couche de base 10 à 25 cm.
- e4 : Couche de fondation 15 à 35 cm.

7.4.2 Coefficient d'équivalence.

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

Tableau 7.1: Les coefficients d'équivalence pour chaque matériau.

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

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

$$e = \sum_{i=0}^n a_i \cdot e_i$$

7.4.3 Application au projet.

7.4.3.1 Méthode de l'indice CBR.

Données de l'étude :

- Le trafic à l'année de compactage 2017 $TMJA_{2017} = 13019$ uvp/j.
- Le trafic a l'année de mise en service 2025 $TMJA_{2025} = 16881$ uvp/j.
- Le taux d'accroissement annuel du trafic $\tau = 3.33\%$.
- La vitesse de base sur le tracé $V_b = 100$ km /h.
- Le pourcentage moyen de poids lourds $Z = 20\%$
- L'année de mise en service sera en 2025
- Environnement (E1) - Catégorie (CAT1).
- La durée de vie estimée à 20 ans. .
- $ICBR = 7$.

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

$$N_1 = TMJA_{2025} \times \%PL$$

$$N_1 = 16881 \times 0.2 = 3377 \text{ VPL/J}$$

Calcul du trafic du VPL a l'année horizon :

$$N_n = N_1 (1+\tau)^n$$

$$N_{20} = 3377(1 + 0.033)^{20} = 6465 \text{ VPL/J}$$

Calcul d'épaisseur théorique :

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

$$e = \frac{100 + (\sqrt{6,5})(75 + 50 \log (\frac{6465}{10}))}{7 + 5}$$

$$e = 54.124 \text{ cm}$$

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

7.4.4 Calcul des épaisseurs des différentes couches.

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

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

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

e_i : Épaisseur de chaque couche.

On propose les matériaux suivants de chaque couche :

Couche de roulement en Béton bitumineux a semi grenue 0/14 (BB) :

$$a_1 \times e_1 = 2.00 \times 8 = 16 \text{ cm}$$

Couche de Base en Grave bitume (GB) :

$$a_2 \times e_2 = 1.5 \times 14 = 21 \text{ cm}$$

Couche de fondation en grave non traité (GNT) :

$$a_3 = 1.$$

$$e_3 = \frac{e - [(a_1 \times e_1) + (a_2 \times e_2)]}{a_3}$$

$$e_3 = \frac{54 - [(2 \times 8) + (1.5 \times 14)]}{1}$$

$$e_3 = 17 \text{ cm.}$$

$$a_3 \times e_3 = 1 \times 17 = 17 \text{ cm.}$$

7.4.4.1 Épaisseur équivalente :

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

$$E_{\text{éq}} = e_1 \times a_1 + e_2 \times a_2 + e_3 \times a_3$$

$$E_{\text{éq}} = 8 \times 2 + 14 \times 1.5 + 16 \times 1 = 54 \text{ cm.}$$

Tableau 7.2: tableau de différentes couches de corps de chaussée.

Couche	Épaisseur équivalent en cm	Épaisseur réelle cm
Couche de roulement (BB)	16	8
Couche de base (GB)	21	14
Couche de fondation (GNT)	17	32
Total	54	54

✓ Notre structure comporte : 8 (BB) + 14 (GB) + 32 (GNT).

Chapitre 08 : PROFIL EN TRAVERS.

8.1 Définition.

Le profil en travers d'une chaussée c'est la coupe perpendiculaire à l'axe de la route sur un plan vertical, la largeur de cette chaussée est en fonction de l'importance et de l'hétérogénéité du tracé à écouler.

On comprend par le débit admissible le trafic prévisible à l'année de saturation, autrement dit : la capacité théorique calculée par un horizon voulu qui tient compte de l'évolution du trafic.

La plateforme des routes comprend : Les chaussées, les accotements latéraux est éventuellement un terre-plein central. Le profil en travers doit être tel qu'il puisse assurer à tout moment l'écoulement du trafic actuel et prévisible dans de bonnes conditions de sécurité et de confort, et ainsi l'évacuation rapide des eaux de pluie.

8.2 Les éléments du profil en travers.

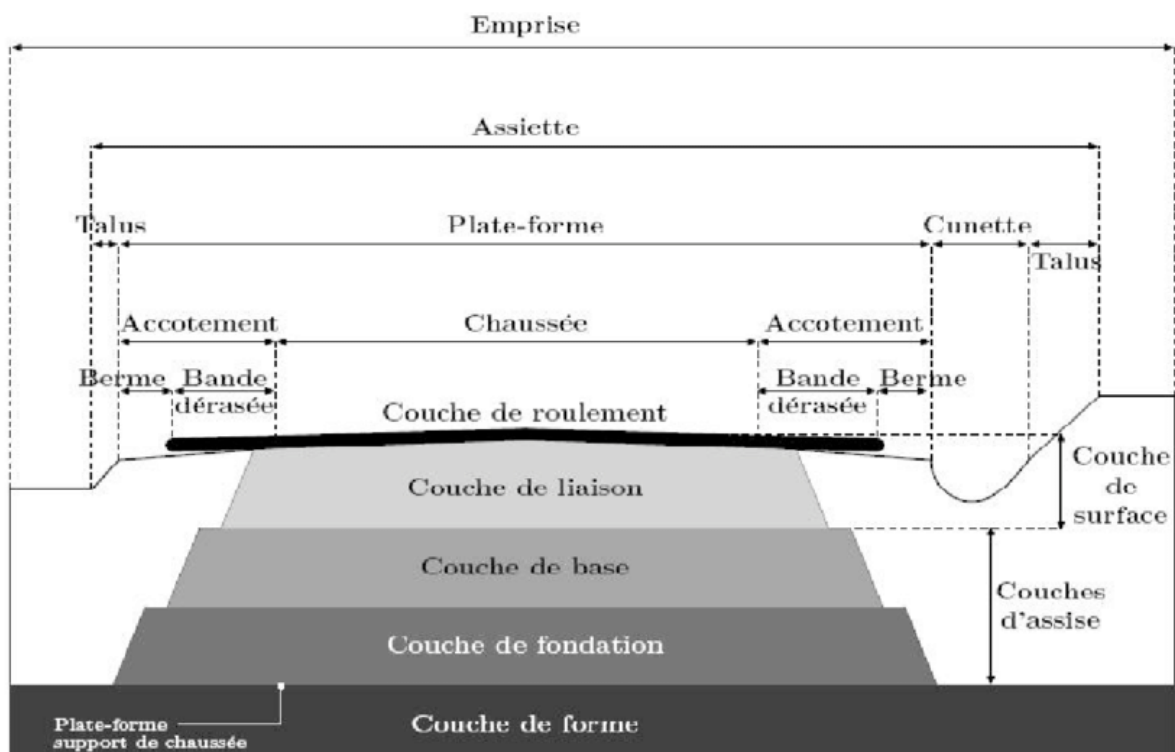


Figure 8.1: Éléments du profil en travers.

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

A. La chaussée :

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

B. Les accotements :

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

C. Plate-forme

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

D. L'assiette

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

E. L'emprise

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

F. Le talus

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

A : la base du talus.

B : hauteur du talus.

G. Le fossé

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

H. Le terre-plein central T.P.C

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

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

I. La largeur roulable

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

8.3 Différents types de profil.

Il existe deux types de profil en travers qui sont :

A. Profil en travers type.

Est une représentation graphique, contenant et détaillant d'une manière précise tous les éléments constituant la route notamment les dimensions de la route, ses dépendances la structure de chaussée, sa composante ainsi que les épaisseurs.

B. Profil en travers courant.

Le profil en travers courant est une pièce de base dessinée dans les projets à distance de chaque 20 m. Il indique cote terrain naturel (TN), cote de projet, devers de la chaussée.

Selon le terrain naturel il existe trois types de profil en travers :

- Profils en déblais,
- Profils en remblais,
- Profils mixtes.

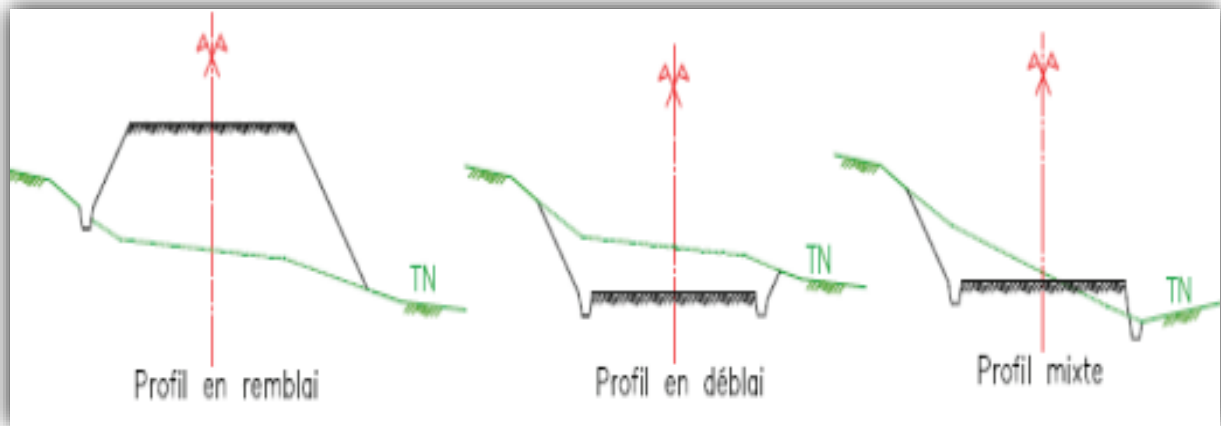


Figure 8.2: Différents types de profil en travers courant.

8.4 Application au projet :

Dans le profil en travers type de notre route, il sera constitué de deux chaussées unidirectionnelles, ce qui signifie qu'il y aura deux voies de circulation dans chaque direction. Les chaussées seront séparées par un séparateur, qui peut prendre la forme d'un terre-plein central.

Les dimensions de chaque élément du profil en travers type pour notre route seront déterminées en fonction des normes et des exigences spécifiques du projet, en prenant en compte les débits de circulation, la sécurité routière et les caractéristiques du terrain. Les éléments inclus dans le profil en travers type sont les suivants :

- ✓ Chaussée : $3.50 \times 4 = 14$ m
- ✓ Accotement : $4 \times 2 = 8$ m
 - La bande d'arrêt d'urgence (BAU) : 2.5 m.
 - La berme : 1.5 m.
- ✓ Terre-plein central (TPC) : 3m.
 - Bande dérasée de gauche (BDG) : 1m.
 - Bande médiane : 0.60m.

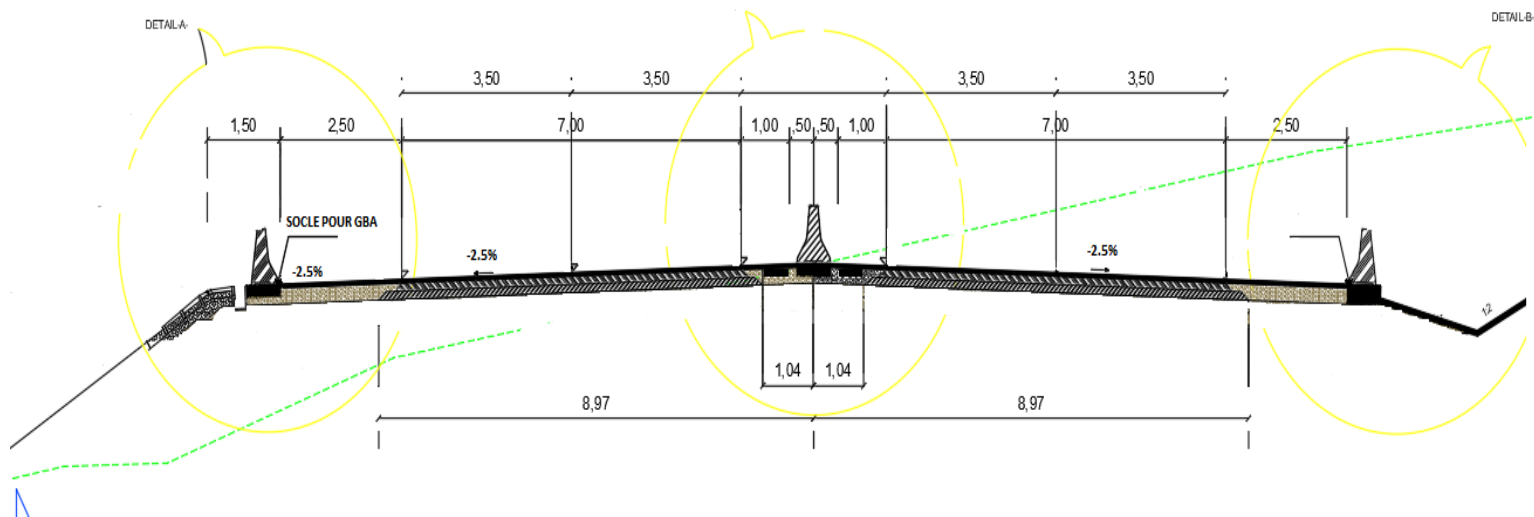


Figure 8.3: Profil en travers type.

Chapitre 09 : LES CUBATURES.

9.1 Généralités.

Les cubatures de terrassement désignent la quantité de terre qui doit être déplacée lors de travaux de terrassement. Il s'agit d'une mesure importante dans le domaine de la construction, de l'urbanisme et des travaux publics car elle permet de déterminer la quantité de matériaux nécessaires pour la réalisation d'un projet.

Les cubatures de terrassement sont souvent exprimées en mètres cubes (m³) et sont calculées en mesurant la différence entre le volume initial de la terre et le volume final après les travaux. Cette mesure permet aux professionnels du terrassement de déterminer la quantité de terre qui doit être déplacée pour réaliser un projet, comme l'excavation de fondations, la construction de routes, de ponts ou de barrages, ou encore la mise en place de canalisations.

9.2 Définition.

Les cubatures de terrassement, c'est l'évolution des cubes de déblais et remblais que comporte le projet à fin d'obtenir une surface uniforme et parallèlement sous adjacente à la ligne projet. Les éléments qui permettent cette évolution sont :

- Les profils en long.
- Les profils en travers.
- Les distances entre les profils.

Les profils en long et les profils en travers doivent comporter un certain nombre de points suffisamment proches pour que les lignes joignent ces points différents le moins possible de la ligne du terrain qu'il représente.

9.3 Méthode de calcul des cubatures.

Les cubatures sont les calculs effectués pour avoir les volumes des terrassements existants dans notre projet. Les cubatures sont fastidieuses, mais il existe plusieurs méthodes de calcul des cubatures qui simplifie le calcul. Le travail consiste à calculé les surfaces SD et SR pour chaque profil en travers, en suite on les soustrait pour trouver la section pour notre

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

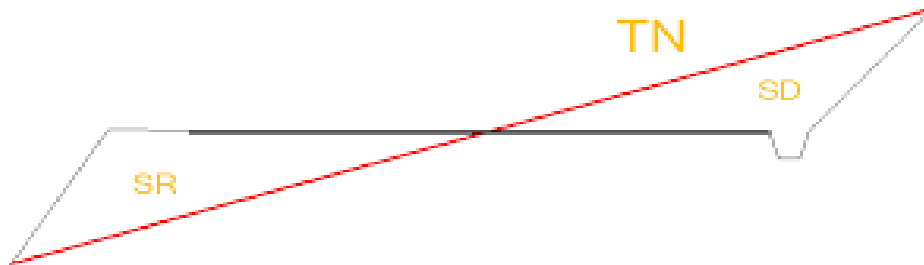


Figure 9.1: Volume remblais, déblais.

Avec :

TN : terrain naturel.

SR : surface remblais.

SD : surface déblais.

9.4 La méthode SARRAUS.

La méthode SARRAUS est une méthode de calcul des cubatures de terrassement qui est utilisée pour estimer la quantité de terre à déplacer lors de la construction de routes, de canaux, de digues, de terrains de sport, etc. Cette méthode est basée sur l'utilisation de prismes droits et elle est adaptée aux terrains présentant des pentes régulières.

La méthode SARRAUS consiste à diviser la section de terrain en plusieurs prismes droits de base trapézoïdale. La largeur de chaque trapèze est égale à la largeur de la section de terrain à cette hauteur, et la longueur de chaque trapèze est égale à la distance entre deux coupes transversales consécutives. La hauteur de chaque prisme est égale à la différence de niveau entre les deux coupes transversales.

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

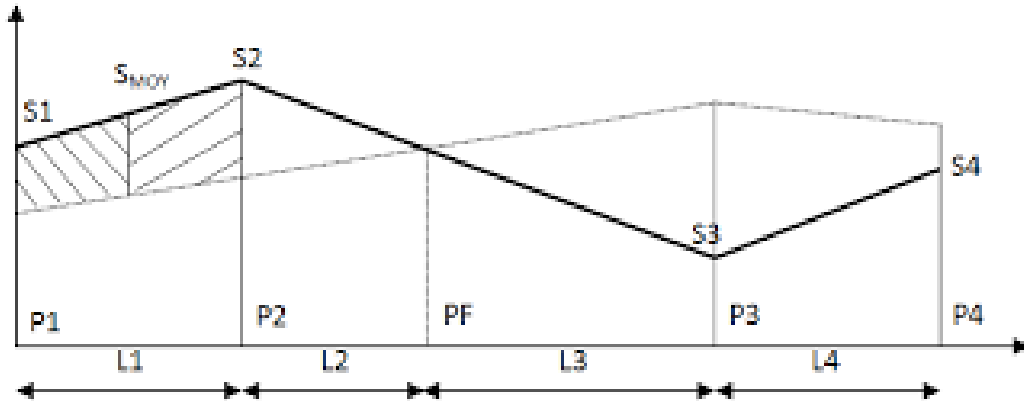


Figure 9.2: Schéma représentant la surface entre profil.

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

Avec :

- **PF** : Profil fictive, surface nulle.
- **S1** : Surface de profil en travers P1.
- **L1** : Distance entre ces deux profils.
- **S_{Moy}**: Surface intermédiaire (surface parallèle et mi-distance L1).

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

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

Donc les volumes seront :

- Entre P1 et P2 : $V_1 = \frac{L_1}{2} \times (S_1 + S_2)$.
- Entre P2 et PF : $V_2 = \frac{L_2}{2} \times (S_2 + 0)$.
- Entre Pf et P3 : $V_3 = \frac{L_3}{2} \times (0 + S_3)$.
- Entre P3 et P4 : $V_4 = \frac{L_4}{2} \times (S_3 + S_4)$.

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

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

9.5 Méthode de GULDEN.

Dans cette méthode les sections et les largeurs des profils sont calculées de façon classique mais la distance du barycentre de chacune des valeurs à l'axe est calculée pour obtenir les volumes et les surfaces. Ces valeurs sont multipliées par le déplacement du barycentre en fonction de la courbure au droit du profil concerné. Cette méthode permet donc de prendre en compte la position des quantités par rapport à la courbure instantanée. Si on utilise la méthode de GULDEN, la quantité (longueur d'application) n'a plus de sens.

9.6 Méthode linéaire.

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

9.7 Application au projet.

Dans notre projet, le calcul est fait par logiciel Covadis. Les résultats détaillés dans le tableau suivant :

Tableau 9.1: Cubatures approchée.

Profil	Abscisse curviligne	Volume remblai (m ³)	Volume déblai (m ³)	Volume décapage (m ³)
793	37260	1456,3	0	314,9
794	37280	1142,4	0	301,9
795	37300	745,8	0	284,9
796	37320	460,6	0	272,3
797	37340	287,6	0	262,6
798	37360	588,9	0	277,3
799	37380	1024	0	297,8
800	37400	1375,3	0	313
801	37420	1524,3	0	320
802	37440	1574,2	0	322,7
803	37460	1596,1	0	323,4
804	37480	1618,9	0	324,9
805	37500	1646,9	0	326,2
806	37520	1597,8	0	323,7

807	37540	1399,7	0	315,3
808	37560	1174,8	0	305,7
809	37580	1058	0	299,6
810	37600	879	0	291
811	37620	656,1	0	280,1
812	37640	466,6	0	270,8
813	37660	241,3	0	258,7
814	37680	62,4	37,3	290,2
815	37700	3,9	308	316,5
816	37720	2,4	663,3	333,6
817	37740	2,4	1058,9	351,8
818	37760	2,4	1451	367,7
819	37780	2,4	1892	385,1
820	37800	2,4	2120,9	393,5
821	37820	2,4	2106,9	394,2
822	37840	2,5	2123,2	396,6
823	37860	2,5	2149	397,2
824	37880	2,4	2235	398,7
825	37900	2,4	2221,9	396,9
826	37920	2,4	2067,1	390,1
827	37940	2,3	1890,6	381,9
828	37960	2,2	1536,1	364
829	37980	2,1	1017,5	337,8
830	38000	10,4	127,6	351,9
831	38020	1025,9	0	356
832	38040	1874,4	0	396,8
833	38060	1605,7	0	255,3
834	38063,46	1397,3	0	219,7
835	38080	2606,8	0	403,6
836	38100	2399	0	425
837	38120	2364,2	0	421,5
838	38140	1643,8	0	294,9
839	38148	1145,3	0	210
840	38160	2102,7	0	379,3
841	38180	2825,9	0	500,5
842	38200	2967,3	0	503,7
843	38220	2250,9	0	384,6
844	38232,074	1150,6	0	210,5
845	38240	1586,6	0	294,1
846	38260	2333,5	0	422,1
847	38280	2303	0	419,1
848	38300	2214	0	415,8
849	38320	2277,2	0	418,1

850	38340	2274	0	418,8
851	38360	2279,1	0	419,8
852	38380	2338,4	0	422,8
853	38400	2451,3	0	430,7
854	38420	2593,5	0	435,5
855	38440	2822,2	0	437,1
856	38460	2492	0	382,7
857	38474,474	1406,1	0	221,5
858	38480	1748,4	0	282,8
859	38500	2979	0	450,7
860	38520	3092,8	0	455,8
861	38540	3246,7	0	461,7
862	38560	3367,8	0	466,4
863	38580	3513,7	0	471,7
864	38600	3654	0	476,5
865	38620	3613,3	0	476,2
866	38640	3566,9	0	476,2
867	38660	3603,9	0	478,1
868	38680	3730	0	482,3
869	38700	3846,5	0	485,9
870	38720	3823,9	0	484,4
871	38740	3507,4	0	474
872	38760	3191,9	0	463,7
873	38780	3021,5	0	454,2
874	38800	2979,3	0	453,8
875	38820	3196,7	0	462,2
876	38840	1875,7	0	266,1
877	38842,816	1652,5	0	233,6
878	38860	3157,2	0	438
879	38880	3503,5	0	474,8
880	38900	3620,4	0	479,5
881	38920	3686	0	481,4
882	38940	3832,8	0	488,6
883	38960	3957,6	0	494,3
884	38980	4025,4	0	496,5
885	39000	4018,1	0	496,9
886	39020	4007	0	496,1
887	39040	3875,5	0	491,5
888	39060	3867,4	0	494,8
889	39080	4647,8	0	575,1
890	39100	4914,5	0	586,2
891	39120	5133,4	0	594
892	39140	5286,1	0	598,7

893	39160	5765,4	0	613,8
894	39180	6409,7	0	635,9
895	39200	6878,8	0	649,7
896	39220	6998,5	0	655
897	39240	0	0	0
898	39260	0	0	0
899	39280	0	0	0
900	39300	0	0	0
901	39320	0	0	0
902	39340	0	0	0
903	39360	0	0	0
904	39380	0	0	0
905	39400	0	0	0
906	39420	0	0	0
907	39440	0	0	0
908	39460	0	0	0
909	39480	6018,7	0	624,1
910	39500	5747,4	0	614,1
911	39520	5383,5	0	602,2
912	39540	5127,4	0	593,5
913	39560	4824,7	0	584,1
914	39580	4444,3	0	571,6
915	39600	3881,4	0	494,7
916	39620	3744,3	0	489,5
917	39640	3609,8	0	482,2
918	39660	3522,9	0	477,8
919	39680	3425,9	0	472,4
920	39700	3328	0	466,9
921	39720	3146,1	0	458,4
922	39740	2946,6	0	449,8
923	39760	2821,4	0	444,3
924	39780	2680,8	0	438,1
925	39800	2554,6	0	433,2
926	39820	2610,7	0	432,9
927	39840	2696,5	0	435
928	39860	2648,1	0	433,1
929	39880	2546	0	428,3
930	39900	2509,9	0	428,1
931	39920	2441,8	0	425,2
932	39940	2318,4	0	420,6
933	39960	1223	0	215,1
934	39960,242	1209,7	0	212,6
935	39980	2632,7	0	432,5

936	40000	2926,1	0	446,7
937	40020	3228,2	0	463,3
938	40040	3506,4	0	474,7
939	40060	2862,4	0	377,1
940	40071,353	1879,3	0	242,8
941	40080	2712,7	0	346,1
942	40100	3655,8	0	479,9
943	40120	1994,6	0	271,9
944	40122,863	1743,2	0	237,6
945	40140	3206,9	0	438,8
946	40160	3319	0	466,8
947	40180	3289,3	0	464,2
948	40200	2989,2	0	452,5
949	40220	2432,4	0	378
950	40233,974	1406,3	0	220,7
951	40240	952,5	0	153,4
952	40248	1289,3	0	215,7
953	40260	2158,2	0	380,8
954	40280	2326,2	0	480,5
955	40300	1874	0	460,1
956	40320	1144,7	0	334,8
957	40332	557,4	0	178,9
958	40340	700,3	0	245
959	40360	569,7	0	222,9
960	40366,279	373	0	166,6
961	40380	434,6	0	269,3
962	40400	285	0	306,7
963	40420	9,2	74,3	386,5
964	40440	3,2	542,2	391,1
965	40460	3,2	869,8	404,9
966	40480	2,9	1391,3	427,1
967	40500	2,8	1889,2	449,1
968	40520	2,9	2432	475,1
969	40540	2,9	3213,5	506,8
970	40560	18,1	4200,9	559
971	40580	20,3	4487,4	619,5
972	40600	2,8	4908,7	639,4
973	40620	2,9	5493,2	656,1
974	40640	3	4070,9	579
975	40660	3,3	2158,4	473,2
976	40680	3,5	787,1	408,6
977	40700	249,3	21	357,6
978	40720	902,6	0	344,3

979	40740	552,2	0	182
980	40740,457	540	0	178
981	40760	1121,8	0	353
982	40780	1060,8	0	351,8
983	40800	1244,9	0	357,6
984	40820	1184,7	0	362,7
985	40840	793,5	0	280,2
986	40851,567	537,7	0	178,2
987	40860	797,8	0	255,7
988	40880	1266	0	584
989	40900	1330,2	0	596
990	40920	1916,6	0	636,1
991	40940	1490,2	0	601,1
992	40960	1306,8	0	590,4
993	40980	1270,6	0	579,4
994	41000	596,6	0	58,9
995	41020	758,5	0	60,2
996	41040	974,4	0	61,8
997	41060	1123,9	0	60,9
998	41077,726	554,9	0	31,9
999	41080	612,9	0	35,5
1000	41100	1059,4	0	63,5
1001	41120	1160,4	0	63,9
1002	41140	1390,7	0	66
1003	41160	1730,7	0	68,6
1004	41180	1310,7	0	50,8
1005	41188,837	883,8	0	33,6
1006	41200	1229,2	0	52,1
1007	41220	1553,8	0	67,3
1008	41240	1431,2	0	67,2
1009	41260	1399	0	66,3
1010	41280	1356,9	0	65,8
1011	41300	1351,6	0	64
1012	41320	1411,6	0	66,2
1013	41340	1228,4	0	65,1
1014	41360	1139,1	0	63,4
1015	41380	1040,3	0	62,6
1016	41400	1001,4	0	61,8
1017	41420	973,7	0	60,5
1018	41440	783,8	0	59,8
1019	41460	713,1	0	59,4
1020	41480	507,1	0	57,6
1021	41500	292,9	5,3	57,1

1022	41520	295,1	1,2	56,2
1023	41540	519,7	0	58,6
1024	41560	670,1	0	60,3
1025	41580	887,5	0	62,2
1026	41600	927,3	0	61,3
1027	41620	1079,3	0	62,8
1028	41640	1268,1	0	64,4
1029	41660	1418,2	0	65,5
1030	41680	1537,8	0	66,4
1031	41700	1585,1	0	66,8
1032	41720	1478,6	0	65,5
1033	41740	1086,9	0	62,9
1034	41760	688,9	0	60,7
1035	41780	264,9	1,6	55,2
1036	41800	75	138,5	61,4
1037	41820	44,8	317,2	63,3
1038	41840	12,5	469,7	64,8
1039	41860	0,1	653,4	61,4
1040	41880	0,1	994,5	69,4
1041	41900	0,1	1237,5	71,3
1042	41920	0,1	1612,5	74,8
1043	41940	0,1	1913,6	77,2
1044	41960	0,1	1228	45,6
1045	41961,006	0,1	1178,1	43,6
1046	41980	0,1	2650,8	87,1
1047	42000	0,1	2858,3	90,2
1048	42020	0,1	2781,4	90,3
1049	42040	0,1	3004,3	92
1050	42060	0,1	2305,6	70,9
1051	42072,117	0,1	1809,1	48,1
1052	42080	0,1	2700,2	68,1
1053	42100	0,1	4678,5	102,1
1054	42120	0,1	5408,6	106
1055	42140	0,1	5740,2	115,3
1056	42160	0,1	6602,7	117,7
1057	42180	0,1	7146,5	121,4
1058	42200	0,4	7561,8	127,5
1059	42220	0,1	8012,1	129
1060	42240	0,1	7877,1	127,6
1061	42260	0,1	7246,5	119,3
1062	42280	0,1	6278,4	115,2
1063	42300	0,1	5052,4	108,3
1064	42320	0,1	3987,7	96,6

1065	42340	0,1	3029,2	85,4
1066	42360	0,1	1599,7	55,6
1067	42368	0,1	1024,5	38,7
1068	42380	0,1	1800,4	71,2
1069	42400	0,1	2123,7	91,7
1070	42420	0,1	2044,8	91,3
1071	42440	0,1	1581,9	68,9
1072	42452	0	848,6	37
1073	42460	0,1	1163,5	51,7
1074	42480	0,1	1383,3	62,7
1075	42494,501	0	734,9	36,1
1076	42500	0,1	884,3	45,6
1077	42520	0,1	762,5	62,4
1078	42540	154,3	351,1	67
1079	42560	651,9	9	59,6
1080	42580	1147,1	0	64,9
1081	42600	1237,7	0	46,2
1082	42605,612	1110	0	37,3
1083	42620	2554,4	0	69
1084	42640	0	0	0
1085	42660	0	0	0
1086	42680	0	0	0
1087	42700	0	0	0
1088	42720	0	0	0
1089	42740	0	0	0
1090	42760	0	0	0
1091	42780	0	0	0
1092	42800	0	0	0
1093	42820	0	0	0
1094	42840	0	0	0
1095	42860	0	0	0
1096	42880	0	0	0
1097	42900	0	0	0
1098	42920	0	0	0
1099	42940	0	0	0
1100	42960	0	0	0
1101	42980	0	0	0
1102	43000	0	0	0
1103	43020	0	0	0
1104	43040	0	0	0
1105	43060	0	0	0
1106	43080	0	0	0
1107	43100	0	0	0

1108	43120	0	0	0
1109	43140	0	680	123,4
1110	43160	0	3239,8	133,8
1111	43180	0	5178,9	149,1
1112	43200	0	7115,6	163,6
1113	43220	0	8876,2	169,1
1114	43240	0	10194,6	172,8
	Σ	441929,4	219626	84270,9

- Volume totale de décapage = 84270.9 m².
- Volume des remblais $V_R = 441929.4 \text{ m}^3$
- Volume des déblais $V_D = 219626 \text{ m}^3$

Différence de volume :

$$V_R - V_D = 441929.4 - 219626 = 419967.4 \text{ m}^3.$$

CHAPITRE 10 : SIGNALISATION ROUTIERE.

10.1 Introduction.

La signalisation routière permet d'assurer le guidage des usagers en leur donnant des informations d'aide à la conduite et au déplacement sur un itinéraire donné, dans le but de faciliter la circulation et de la rendre plus sûre. Elle consiste en deux grands ensembles, à savoir la signalisation routière verticale, qui comprend les panneaux, les balises et les feux tricolores et la signalisation routière horizontale, constituée des marquages au sol.

10.2 Objectifs de signalisation routière.

La signalisation routière a pour rôle :

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

10.3 Critères à respecter pour les signalisations.

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

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

10.4 Types de signalisation.

On distingue deux types de signalisation :

- Signalisation verticale.
- Signalisation horizontale.

10.4.1 *Signalisation verticale.*

Elle se fait à l'aide de panneaux, ces derniers sont des objets qui transmettent un message visuel grâce à leur emplacement, leur type, leur couleur et leur forme. Elles peuvent être classées dans quatre classes :

- A. Signaux de danger : Panneaux de forme triangulaire, ils doivent être placés à 150m en avant de l'obstacle à signaler (signalisation avancée).
- B. Signaux comportant une prescription absolue : Panneaux de forme circulaire, on trouve :
 - L'interdiction.
 - L'obligation.
 - La fin de prescription.
- C. Signaux à simple indication : Panneaux en général de forme rectangulaire, des fois terminées en pointe de flèche :
 - Signaux d'indication.
 - Signaux de direction.
 - Signaux de localisation.
 - Signaux divers.
- D. Signaux de position des dangers : Toujours implantés en pré signalisation, ils sont d'un emploi peu fréquent en milieu urbain.

10.4.2 Signalisation horizontale.

Elle concerne uniquement les marques sur chaussées qui sont employées pour régler la circulation, avertir ou guider les usagers. Le blanc est la couleur utilisée pour les marquages sur chaussées, et pour certains marquages spéciaux, on utilise d'autres couleurs dans les conditions suivantes :

I. Le jaune.

- Les marques interdisant l'arrêt ou le stationnement ;
- Les lignes zigzag indiquant les arrêts d'autobus ;
- Le marquage temporaire.

II. Le bleu.

- Éventuellement pour les limites de stationnement en zone bleue.

III. Le rouge.

- Pour les damiers rouge et blanc matérialisant le début des voies de détresse.

La signalisation horizontale se divise en trois types :

10.4.3 Marquages longitudinaux :

10.4.3.1 Lignes continues :

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

10.4.3.2 Lignes discontinues :

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

- Les lignes axiales ou lignes de délimitation de voies pour lesquelles la longueur des traits est égale au tiers de leurs intervalles.

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

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

Tableau 10.1: Les modulations des lignes discontinues.

Type de modulation	Longueur du Trait (en mètres)	Épaisseur 16-18	Intervalle entre deux traits successifs (mètres)	Rapport plein vide
T1	3.00	18 cm	10.00	Environ 3
T'1	1.50		5.00	
T2	3.00	18 cm	3.50	Environ 3
T'2	0.50		0.50	
T3	3.00	18 cm	1.33	Environ 3
T'3	20.00		6.00	

10.4.3.3 Largeur Des Lignes.

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

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

u = 5 cm sur toutes les autres routes ; u = 3 cm pour les lignes tracées sur les pistes cyclables. La valeur de “ u ” doit être homogène sur tout un itinéraire. En particulier, elle ne doit pas varier au passage d'un département à l'autre.

10.4.4 Marquages transversaux.

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

10.4.5 Autres signalisations.

- Les flèches de rabattement : Ces flèches légèrement incurvées signalent aux usagers qu'ils doivent emprunter la voie située du côté qu'elles indiquent.
 - Les flèches de sélection : Ces flèches situées au milieu d'une voie signalent aux usagers, notamment à proximité des intersections, qu'il doit suivre la direction indiquée.
- ✓ Pour piétons,
 - ✓ Pour cyclistes,
 - ✓ Pour le stationnement,
 - ✓ Pour les ralentisseurs de type dos d'âne.

10.5 Application au projet.

10.5.1 Les signalisations horizontales

I. Flèche de sélection.

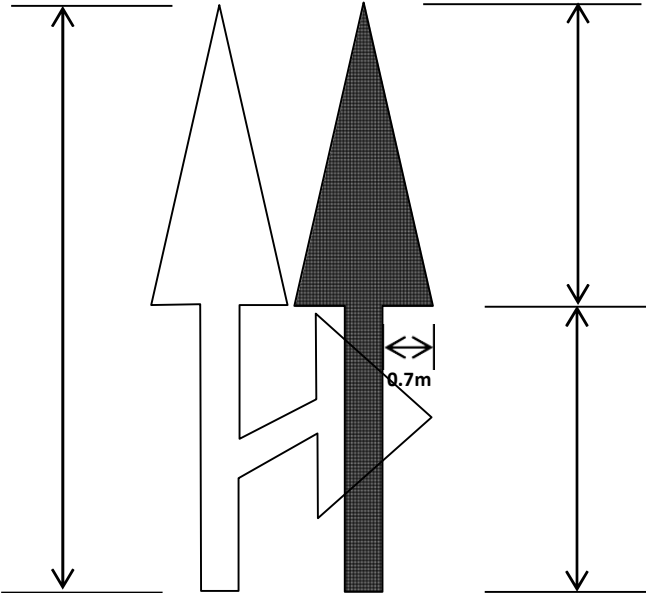


Figure 10.1: Flèche de sélection (1).

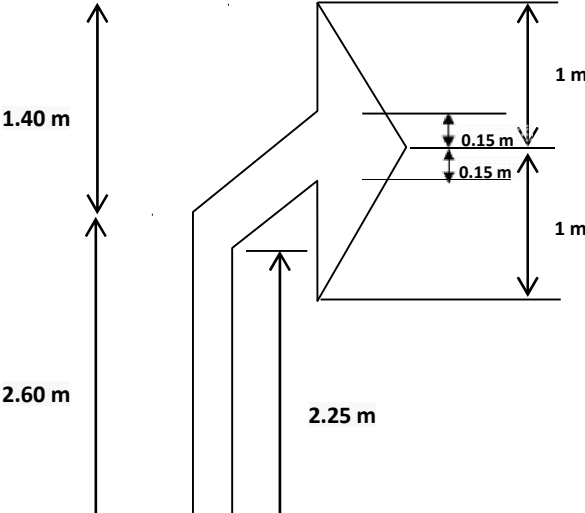


Figure 10.2: Flèche de sélection (2).

II. Marque sur la chaussée.

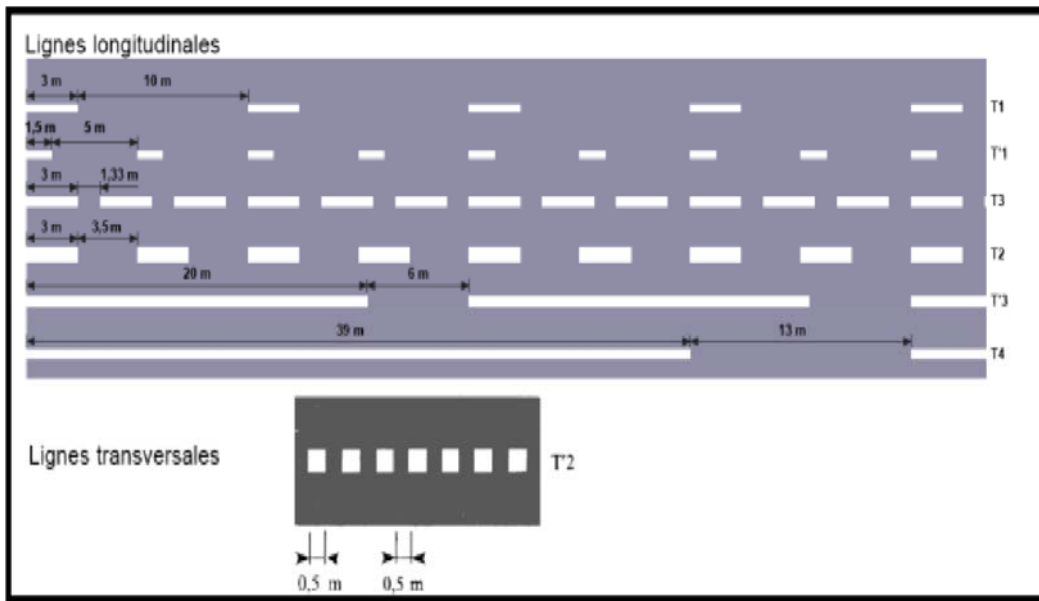


Figure 10.3: Marque sur la chaussée.

10.5.1.1 Flèche de rabattement.

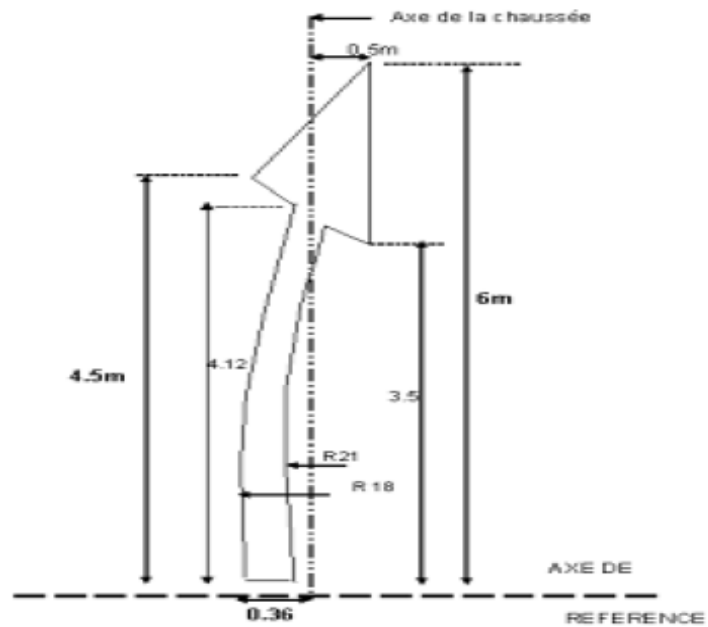


Figure 10.4: Flèche de rabattement.

10.5.1.2 Schéma de signalisation stop sur chaussée.

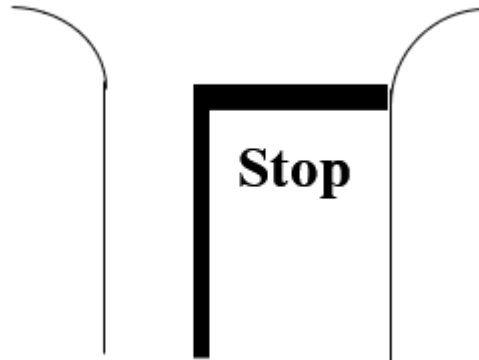


Figure 10.5: Schéma de signalisation stop.

10.5.1.3 Schémas de marquage par hachures (sur le nez d'îlot).

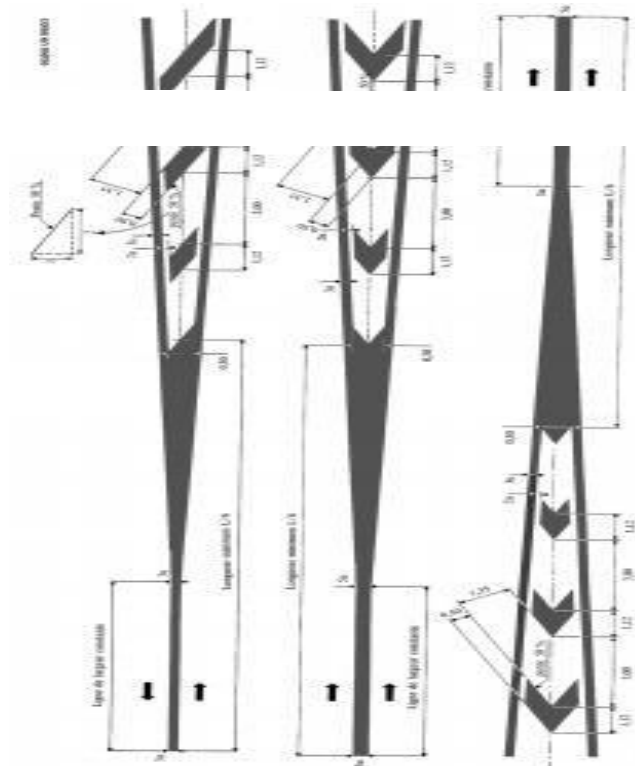
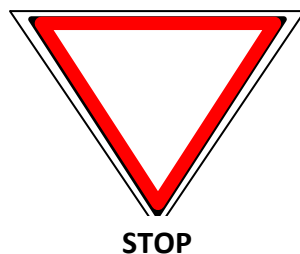


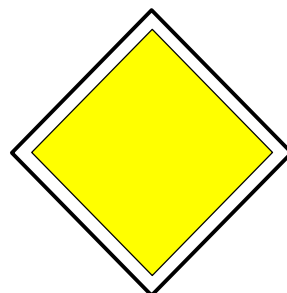
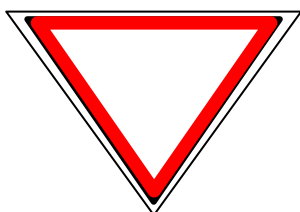
Figure 10.6: Schémas de marquage.

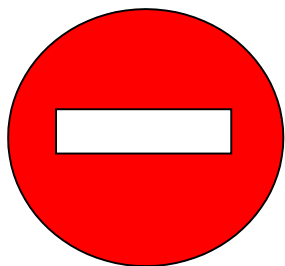
10.5.2 Les signalisations verticales.

- Plaques de signalisation :



- Les signaux d'intersection et de priorité type B.





- Les signaux d'interdiction de type C :



- Les signaux d'obligation de type D.



10.6 Éclairage.

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

10.6.1 Catégorie d'éclairage.

On distingue quatre catégories d'éclairages publics :

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

10.6.2 Paramètres d'implantation des luminaires.

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

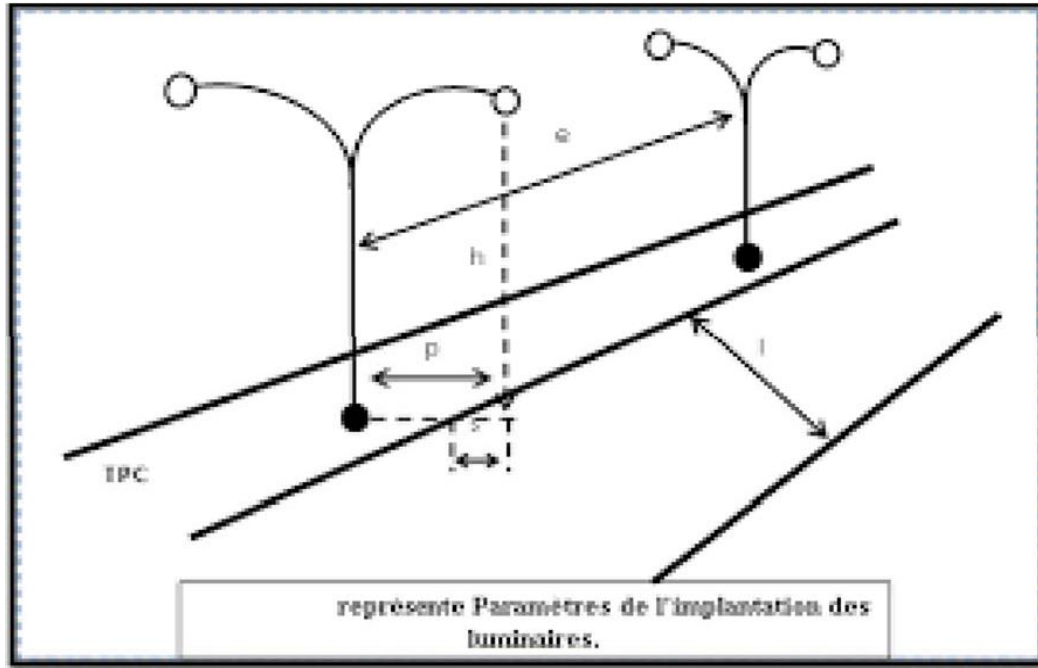


Figure 10.7: Paramètres d'implantation des luminaires.

10.6.3 Éclairage d'un point singulier.

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

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

CHAPITRE 11 : Devis quantitatif et estimatif.

Tableau 11.1: Devis quantitatif et estimatif.

N°	Désignation des travaux	U	QUANTITE	Prix UNITAIRE EN DA	MONTANT
1	Installation et repliement de chantier	F	1	10 000 000.0 0	10 000 000.00
2	Laboratoire de chantier	F	1	5 000 000.00	5 000 000.00
3	Travaux de décapage sur 54 cm d'épaisseur.	M ²	84 300.00	100.00	8 430 000.00
4	Déblais mis en dépôt	M ³	219 700	700.00	153 790 000.00
5	Remblais d'emprunt.	M ³	442 000	800.00	353 600 000.00
6	Couche de fondation en GNT sur une épaisseur de 32 cm.	M ³	21 840	2 600.00	56 784 000.00
7	Couche de d'imprégnation 1.00 kg/m ²	M ²	200	84 000.00	16 800 000.00
8	Couche de base en GB sur une épaisseur de 14 cm.	T	23 200	6 300.00	146 160 000.00
9	Couche d'accrochage en émulsion cationique 65% dosée à 0.3 kg/m ² .	T	200	84 000.00	16 800 000.00
10	Fourniture et mise en œuvre d'une couche de roulement en béton bitumineux ép. De 08 cm.	T	11 600	7 500.00	87 000 000.00
11	Rechargement des accotements en gnt une épaisseur de 20 cm.	M ³	6000	1500.00	9 000 000.00
12	Barrière de sécurité en béton (GBA)	MI	12000	6 500.00	78 000 000.00
13	F/P Fossés trapézoïdaux en béton.	MI	1150	4000.00	4 460 000.00
14	Signalisation horizontal.	MI	90	24 000.00	2 160 000.00
15	Signalisation vertical (Panneaux).	U	30	20 000.00	600 000.00
TOTAL EN HORS TAXES					861 584 000.00
TVA 19%					163 700 960.00
TOTAL EN T.T.C.					1 025 284 960.00

Arrêté le présent détail quantitatif et estimatif en toutes taxes comprises à la somme de :
Un milliard vingt-cinq millions deux cent quatre-vingt-quatre mille neuf cent soixante.

CONCLUSION GENERALE.

Ce projet de fin d'étude a été une occasion pour nous de mettre en application les connaissances théoriques acquises pendant le cycle de notre formation afin de renforcer le réseau routier local et régional.

Cette étude nous a permis de chercher des solutions à la majorité des problèmes techniques qui peuvent se présenter lors d'une étude d'un projet routier dans les agglomérations comme la wilaya de Batna où nous a été confié un tronçon routier.

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. Par ailleurs, le souci primordial ayant guidé notre modeste travail a été dans un premier temps la prise en considération du confort et de la sécurité des usagers de la route et dans un second temps l'économie et l'aspect environnemental lié à l'impact de la réalisation de ce projet.

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

En se basant sur les normes et logiciel (Covadis et Autocad).

Bibliographie.

- B40 Normes Techniques d'Aménagement des Routes.
- Les cours de routes « 3ème année licence et 1ère année master » de l'université d'Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.
- <https://www.cfmrroches.org/sites/default/files/jngg/JNGG%202002%20B%20pp%20Morsly.pdf>.
- <https://clrtafrique.com/routes/communic.doc>, les routes sahariennes stratégie pour une maintenance et un entretien durables.
- <http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/Route%20transsaharienne/fr-fr/>.
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Route_transsaharienne.
https://clrtafrique.com/dossier/stage_tunisie/rts_non_revet/Les_routes_non_revetues_en_algerie.pdf.
- Mémoire de fin d'étude, Etude de la deuxième rocade sud d'Oran section Belgaid-El Kerma Lot 2 du PK 05+000 au PK 09+000 (HALLAL Mohamed & GNAOUI Omar, Promo 2020).
- Projet de fin d'étude, Etude d'un tronçon routier de la RN 51 MENIA - OUARGLA (Du PK 142+000 AU PK 152+000) sur 10 Km (SOUILEM, Promo2019).
- Logiciels: Covadis, AutoCAD 2009 et Google earth.
- <https://fr.slideshare.net/ademLoup/catalogue-de-dimensionnement-des-chaussees-neuvesfascicule3-r>.
- Sites INTERNET: WWW. Google Earth.Com.
- Mémoire de fin d'étude, Etude géométrique et géotechnique BOURI & TIDJEDIT (ING-VOA, Promo 2013).
- Mémoire de fin d'étude, Etude d'un tronçon routier neuf évitement de la RN 17 AB de Sirat (DU PK 23+447 AU PK 26+400), HADDAR Med, promotion 2017.
- <https://iste-editions.fr/products/les-essais-in-situ-en-geotechnique> ; L'auteur Ingénieur et directeur du bureau d'étude géotechnique Gaia Tech, Jacques Monnet a enseigné les essais in situ à Poly Tech' Grenoble.
- Construction en terre focus sur la fabrication et la construction en blocs de terre Compressée.

- Définition d'essai équivalent de sable, Wikipédia.Code de bonne pratique.
- Définition d'essai de carbonate, Wikipédia.
- Figure prise du PDF, Code de bonne pratique, R 81/10, Edité par le Centre de recherches routières, Etablissement reconnu par application de l'Arrêté-loi du 30 janvier 1947, Boulevard de la Woluwe 42 – 1200 Bruxelles.
- Code de bonne pratique, R 81/10, Edité par le Centre de recherches routières, Etablissement reconnu par application de l'Arrêté-loi du 30 janvier 1947, Boulevard de la Woluwe 42 – 1200 Bruxelles.
- Projet de fin d'étude ; étude d'un tronçon autoroutier sur 6 Km avec étude d'un échangeur sur la RN03 Ain Touta-Batna ; Mehdaoui Belkacem et Reguieg Ismail promotion 2012.

