

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE
ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHESCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULoud
MAMMERI DE TIZI-OUZOU

Faculté du Génie de la
Construction Département
de Travaux Public

Mémoire de fin d'études

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER EN TRAVEAUX PUBLIC

Option : Voies et Ouvrages d'Art

THEME



Présenté par :

M. KABICHE Mayes

Dirigé par :

M^{me}. khial nassima

COMPOSITION DES JURY :

M^{me}. GHANEM Fadhila

M^{me}. HELLAL Ourida

PROMOTION 2024/2025



Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

Chapitre I : présentation du projet

I.1 Introduction 1

I.2 Présentation du projet..... 1

I.3 Objectifs du projet..... 2

I.4 Conclusion..... 3

Chapitre II : Etude du trafic 2

II.1 Introduction..... 4

II.2 Analyse du trafic 4

II.3 Différents types de trafic..... 5

II.4 Modèles de présentation du trafic 6

II.5 Paramètres fondamentaux : 7

II.6 Calcul de la capacité de la route 8

 II.6.1 Définition 8

 II.6.2 Trafic à un horizon donné « **TJMAh** » 8

 II.6.3 Trafic effectif 9

 II.6.4 Débit de point horaire normal 9

 II.6.5 Débit horaire admissible 10

 II.6.6 Déterminations du nombre de voies 11

II.7. Application au projet 11

 II.7.1. Données du trafic 11

 II.7.2. Projection future du projet 12

 II.7.3. Calcul du trafic effectif 12

| | |
|--|----|
| II.7.4. Débit de pointe horaire normale | 12 |
| II.7.5. Débit horaire admissible | 12 |
| II.7.6. Nombre de voies | 13 |
| II.7.7. Résultats de calculs | 13 |
| II.8 Conclusion | 13 |
| Chapitre III : L'étude géotechnique | |
| III.1. Introduction | 14 |
| III.2. Objectifs principaux de l'étude géotechnique routière | 14 |
| III.3. Réglementation Algérienne en géotechnique | 14 |
| III.4. Différents essais au laboratoire..... | 15 |
| III.4.1. Essais mécaniques | 15 |
| a) Essai de compactage Proctor | 15 |
| b) Essai CBR ou California Bearing Ratio | 16 |
| c) Essai Los Angeles | 17 |
| d) Essai Micro Deval | 18 |
| e) Essai de perméabilité..... | 18 |
| f) Essai de consolidation..... | 18 |
| III.4.2. Essais d'identification..... | 18 |
| a) Analyse granulométrique..... | 19 |
| b) Limites d'Atterberg | 20 |
| c) Essai au bleu de méthylène (ou à la tâche)..... | 22 |
| d) Equivalent de sable..... | 23 |
| III.4.3. Essais chimiques..... | 23 |
| a) Analyse chimique sommaire | 23 |
| III.5. Application au projet | 24 |
| III.5.1. Contexte géologique du tracé | 24 |
| III.6 Conclusions | 29 |

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée.

| | |
|---|----|
| IV.1 Introduction | 30 |
| IV.2 Facteurs considérés dans le dimensionnement | 30 |
| IV.2.1. Trafic | 31 |
| IV.2.2. Environnement de la route | 31 |
| IV.2.3. Sol support..... | 32 |
| IV.2.4. Matériaux | 33 |
| IV.3. La chaussée..... | 34 |
| IV.3.1. Définition | 34 |
| IV.3.2 Différents types de structure de chaussée..... | 34 |
| IV.3.2.1 Chaussée souple | 34 |
| VI.3.2.2 Chaussée semi-rigide..... | 35 |
| VI.3.2.3 Chaussée rigide | 36 |
| IV.4. Méthodes de dimensionnement des chaussées | 37 |
| IV.4.1. Méthode C.B.R améliorée (California – Bearing – Ratio)..... | 37 |
| IV.4.2. Méthode des catalogues des structures :..... | 40 |
| IV.4.2.1. Détermination de la classe de trafic : | 40 |
| IV.4.2.2. Présentation des classes de portance des sols..... | 42 |
| IV.4.3. Méthode de dimensionnement des chaussées neuves CTPP..... | 44 |
| IV.5. Application au projet..... | 45 |
| IV.5.1. Méthode CBR Améliorée : On a : | 45 |
| IV.5.2. Méthode des catalogues des structures :..... | 47 |
| IV.6. Conclusion..... | 53 |

Chapitre V : Caractéristique géométriques

| | |
|---|----|
| V.1. Introduction | 54 |
| V.2. Présentation brève du logiciel PISTE | 54 |
| V.3. Trace en plan..... | 54 |
| V.3.1. Définition..... | 54 |

| | |
|---|----|
| V.3.2. Règles à respecter dans le tracé en plan..... | 55 |
| V.3.3. Eléments du tracé en plan | 55 |
| V.3.4 Règles pour l'utilisation des rayons en plan | 58 |
| V.3.5 Construction du terrain | 62 |
| V.4 Profil en en long (PEL)..... | 67 |
| 1. définition..... | 67 |
| 1. Coordination du tracé en plan et du profil en long..... | 67 |
| 2. Règles à respecter dans le tracé du profil en long | 68 |
| 4. Eléments de composition du profil en long | 68 |
| 5. Raccordement de profil en long..... | 69 |
| 6. Conception longitudinale..... | 71 |
| V.5 Profil en travers (PET)..... | 73 |
| V.5.1 Définition..... | 73 |
| V.5.1.1 Classification des profils en travers | 73 |
| V.5.2. Eléments constitutifs du profil en travers | 74 |
| V.5.3. Classification du profil en travers | 76 |
| 1. Le profil en travers type..... | 76 |
| 2. Le profil en travers courant | 77 |
| V.5.4. Application au projet..... | 77 |
| V.6 Conclusion | 78 |

Chapitre VI : Cubature

| | |
|--|----|
| VI. Introduction | 79 |
| VI.1. Généralités..... | 79 |
| VI.2. Définition | 79 |
| VI.3. Méthodes de calcul des cubatures | 80 |
| VI.3.1. Formule de Sarraus..... | 80 |
| VI.3.2. Méthode linéaire..... | 80 |
| VI.3.3. Méthode de Gulden | 81 |

| | |
|------------------------------------|----|
| VI.4. Applications au projet | 81 |
| VI.5. Conclusion..... | 82 |

Chapitre VII : Hydraulique et assainissement

| | |
|--|-----|
| VII.1. Introduction..... | 83 |
| VII.2. Objectifs de l’assainissement | 83 |
| VII.3. Assainissement de la chaussée | 84 |
| VII.3.1. Réseaux de collectes longitudinaux | 84 |
| VII.3.2. Liaisons transversales | 84 |
| VII.3.3. Les ouvrages de raccordement..... | 84 |
| VII.3.4. Ouvrages de contenance et de dépollution..... | 85 |
| VII.3.5. Les exutoires | 85 |
| VII.4. Détermination des bassins versants | 86 |
| VII.5. Dimensionnement des ouvrages d’évacuation..... | 86 |
| VII.5.1. Débits d’apports | 87 |
| VII.5.2. Débit de saturation | 89 |
| VII.5.3. Dimensionnement des fossés | 90 |
| VII.5.4. Dimensionnement des dalots | 91 |
| VII.6. Application au projet..... | 92 |
| VII.7. Conclusion | 100 |

Chapitre VIII : Equipement de la route

| | |
|--|-----|
| VIII.1. Introduction | 101 |
| VIII.2. Sécurité | 101 |
| VIII.2.1. Introduction | 101 |
| VIII.2.2. Dispositifs de retenue | 101 |
| VIII.2.3. Application au Projet..... | 103 |
| VIII.3. Signalisation | 104 |
| VIII.3.1. Introduction | 104 |
| VIII.3.2. Types de Signalisation..... | 104 |

| | |
|---|-----|
| VIII.3.3. Application au Projet | 106 |
| VIII.4. Éclairage | 107 |
| VIII.4.1. Introduction | 107 |
| VIII.4.2. Catégories d'Éclairage..... | 107 |
| VIII.4.3. Paramètres d'implantation des luminaires..... | 108 |
| VIII.4.4. Application au Projet | 109 |
| VIII.5. Conclusion | 109 |
| Chapitre IX : Impact sur l'environnement..... | 101 |
| IX.1. Introduction | 110 |
| IX.2. Cadre juridique | 110 |
| IX.3. Définitions | 111 |
| IX.4 Etude d'impact sur l'environnement | 111 |
| IX.4.1 Alternative « sans projet »..... | 112 |
| IX.4.2. Alternative Projet | 112 |
| IX.4.3. Impacts pendant la phase de travaux | 113 |
| XI.4.4 Impacts pendant la phase d'exploitation | 115 |
| XI.4.5. Mesures A Prendre Pour Atténuer Le Bruit | 121 |
| XI.4.6. Mesures liées à la protection des eaux | 121 |
| IX.5. Conclusion..... | 123 |





Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Synoptique de notre tronçon | 1 |
| Figure 2 : Diagramme Proctor simple | 15 |
| Figure 3 : Appareil d'essai CBR | 16 |
| Figure 4 : Courbe d'essai CBR..... | 17 |
| Figure 5 : Analyse granulométrique par tamisage..... | 20 |
| Figure 6 : Analyse granulométrique par sédimentation..... | 20 |
| Figure 7 : Essai au bleu de méthylène | 22 |
| Figure 8 : Types de sols en fonction de VBS | 22 |
| Figure 9 : Essai d'équivalent de sable | 23 |
| Figure 10 : Contexte géologique du tracé..... | 25 |
| Figure 11 : Photos du puits N°01 | 26 |
| Figure 12 : 2eme photo du puits | 26 |
| Figure 13 : Photos du puits N°02 | 27 |
| Figure 14 : 2eme photos du puits N°02 | 27 |
| Figure 15 : Photos du puits N°03 | 28 |
| Figure 16 : Coupe type d'une chaussée souple..... | 35 |
| Figure 17 : Structure d'une chaussée semi-rigide | 36 |
| Figure 18 : Coupe type d'une chaussée rigide..... | 36 |
| Figure 19 : Schéma récapitulatif des catégories de chaussées..... | 37 |
| Figure 20 : Démarche de la méthode du catalogue au dimensionnement du corps de chaussée..... | 45 |
| Figure 21 : Corps de chaussée avec la méthode CBR améliorée | 47 |
| Figure 22 : résultat du logiciel ALIZIE | 52 |
| Figure 23 : Eléments du tracé en plan | 55 |
| Figure 24 : Les éléments de la clothoïde | 60 |
| Figure 25 : Levé topographique de notre projet | 63 |
| Figure 26 : Triangulation du levé topographique. | 63 |
| Figure 27 : Tracé en plan de présent projet. | 65 |
| Figure 28 : Axe en plan de notre tracé..... | 66 |

| | |
|--|-----|
| Figure 29 : Interpolation de l'axe en plan | 67 |
| Figure 30 Profil en long..... | 71 |
| Figure 31 Paraboles du profil en long | 72 |
| Figure 32 Axe du profil en long | 73 |
| Figure 33 : Profil en travers type du présent projet | 77 |
| Figure 34 : Différents ouvrages d'assainissement..... | 86 |
| Figure 35 : Le fossé retenu | 90 |
| Figure 36 : Dimension du fossé..... | 95 |
| Figure 37 : Caractéristiques d'une buse | 96 |
| Figure 38 : Caractéristiques d'un dalot. | 98 |
| Figure 39 : Garde-corps et Barrières de Sécurité | 102 |
| Figure 40 : Exemple de chicane | 103 |
| Figure 41 : Glissière métallique..... | 103 |
| Figure 42 : Exemples de signalisation verticale | 105 |
| Figure 43 : Exemples de signalisation horizontale..... | 105 |
| Figure 44 : Lignes continue et discontinue..... | 106 |
| Figure 45 : Signaux d'avertissement de danger. | 106 |
| Figure 46 : Panneaux de direction. | 107 |
| Figure 47 : Paramètre de l'implantation des lumières..... | 108 |
| Figure 48 : La matrice d'évaluation d'impact | 117 |





Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : classification des environnements [Règlement B40]..... | 8 |
| Tableau 2 : coefficient d'équivalence P (B40)..... | 9 |
| Tableau 3 : Valeur de K1 en fonction de l'environnement (B40)..... | 10 |
| Tableau 4 : Valeur de K2 en fonction de l'environnement et de la catégorie de la route (B40)..... | 10 |
| Tableau 5 : Capacités théoriques du profil en travers en régime stable(B40)..... | 10 |
| Tableau 6 : Valeurs usuelles de l'indice CBR..... | 17 |
| Tableau 7 : Tableau récapitulatif des résultats des différents essais | 29 |
| Tableau 8 : Le classement des matériaux (SETRA)..... | 29 |
| Tableau 9 : Valeurs des coefficients d'équivalence | 39 |
| Tableau 10 : Valeurs du coefficient d'agressivité A | 42 |
| Tableau 11 : Classe du sol avec l'indice C.B.R | 43 |
| Tableau 12 : Sur classement avec couche de forme en matériaux non traités. (Source : fascicule 1, CTTP)..... | 43 |
| Tableau 13 : Pluviométrie selon les zones climatiques. | 44 |
| Tableau 14 : Répartition des épaisseurs des couches de notre chaussée | 46 |
| Tableau 15 : Classification des réseaux principaux..... | 47 |
| Tableau 16 : Classes de TPLi pour RP1. (Source : C.T.T.P). | 48 |
| Tableau 17 : Epaisseurs de la couche de forme. (C.T.T.P). | 48 |
| Tableau 18 : Caractéristique de la couche de forme choisie | 49 |
| Tableau 19 : Structure de chaussée de notre projet d'après le CTTP-fascicule3..... | 49 |
| Tableau 20 : Performances mécaniques des matériaux bitumineux..... | 51 |
| Tableau 21: Valeurs du coefficient de frottement transversal. | 57 |
| Tableau 22 : : valeurs des différents rayons calculés et ce donnés par le B40..... | 59 |
| Tableau 23: Valeurs de déclivité maximale selon B-40. | 69 |
| Tableau 24 : : les valeurs des rayons de raccordement en angle saillants | 70 |
| Tableau 25 : LES RAYONS DES COURBES..... | 71 |
| Tableau 26 : Valeur total déblais et rem remblais | 81 |
| Tableau 27 : Valeurs du coefficient C1 | 88 |
| Tableau 28 : Valeurs du coefficient C2 | 88 |

| | |
|--|-----|
| Tableau 29 : Valeurs du coefficient C3 | 88 |
| Tableau 30 : Valeurs du paramètre de Montana « a » | 89 |
| Tableau 31 : Les valeurs de variable de Gaussien en fonction de la fréquence | 92 |
| Tableau 32 : Dimensions des bassins versants | 94 |
| Tableau 33 : Impacts environnementaux..... | 116 |
| Tableau 34 : phase de réalisation et d'exploitation | 119 |
| Tableau 35 : Sensibilité des milieux avoisinant | 120 |



Remerciements

Avant toute chose, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Dieu, pour Ses innombrables bénédictions, pour m'avoir donné la force, le courage et la persévérance nécessaires tout au long de ce parcours. C'est avec Sa grâce que j'ai pu surmonter les défis et les épreuves qui se sont présentés à moi lors de la réalisation de ce mémoire. Dans Sa guidance, cet accomplissement n'aurait jamais été possible.

Je voudrais également remercier de tout cœur ma famille, qui a été un véritable pilier tout au long de ce cheminement académique. À ma mère, dont l'amour, le soutien et les prières m'ont porté dans les moments les plus difficiles. Ton dévouement et tes encouragements constants ont été une source de motivation inestimable. À mon père, merci pour tes conseils avisés, ta patience et ta sagesse. Ta présence à mes côtés m'a apporté la sérénité dont j'avais tant besoin.

Je ne saurais oublier mon frère et ma sœur, qui ont toujours cru en moi et qui ont été là pour m'apporter leur soutien moral et affectif. Vos mots d'encouragement et votre confiance en mes capacités ont été un moteur essentiel pour mener à bien ce projet. Je remercie aussi ma femme, qui m'a accompagné avec amour et compréhension tout au long de cette aventure. Ta patience, ton soutien constant et ta capacité à m'encourager lorsque le doute s'installait ont été des éléments clés dans la réalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à ma promotrice, pour son encadrement, ses précieux conseils et ses orientations pertinentes tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Grâce à sa rigueur scientifique et à sa bienveillance, j'ai pu évoluer et donner le meilleur de moi-même dans ce projet. Sa disponibilité et son accompagnement ont été d'une grande aide dans la structuration et la mise en œuvre de mon travail.

Je souhaite également adresser mes plus sincères remerciements aux membres du jury, qui ont accepté de prendre le temps d'évaluer mon travail et de m'accorder leur attention. Je vous remercie pour l'intérêt que vous avez porté à mon projet et pour les remarques constructives qui contribueront, sans aucun doute, à enrichir ma réflexion et à améliorer mes futures réalisations.

Enfin, je n'oublie pas l'ensemble de mes enseignants, qui ont contribué à forger mon esprit critique et à m'inculquer les connaissances nécessaires pour mener à bien ce travail. Chacun d'entre vous, par vos cours, vos conseils et votre encadrement, avez joué un rôle dans l'aboutissement de ce projet.

Mayes

Dédicace

Je dédie ce travail à plusieurs personnes qui ont joué un rôle crucial dans ma vie et sans qui ce parcours n'aurait pas été le même.

À ma mère et ma Mami dont l'amour, le soutien inconditionnel et les sacrifices ont été ma source de force et d'inspiration depuis le tout début. À mon père, qui, par sa sagesse et son dévouement, m'a toujours guidé et encouragé à poursuivre mes rêves, en me donnant la confiance nécessaire pour surmonter chaque obstacle. À ma sœur, ma femme et ma tante Amira pour leur affection et leur présence constante. Votre bienveillance et soutien ont été d'une grande importance tout au long de ce voyage. À mon frère, qui a toujours été là pour moi, avec son soutien et sa fraternité. Merci pour ta force et ta complicité.

À mon ami, dont l'amitié va bien au-delà du cadre universitaire. Merci à toi, Karim, mon frère de cœur, pour ton engagement, ta loyauté et ta camaraderie. Ensemble, nous avons traversé tant de défis.

À un autre frère, également nommé Karim, qui a toujours été un compagnon fidèle. Ton soutien et ta présence m'ont toujours été d'une grande aide. Merci pour cette fraternité sincère.

À mon cher cousin amine tu as toujours été là pour moi et pour mon binôme tu es un frère à mes yeux merci

Yanis, qui m'accompagne dans cette aventure en France. Ta présence et ton soutien constant ont rendu ce parcours bien plus agréable. Merci d'être toujours là pour moi.

À Romy, Samira, Melissa mes compagnons d'université, avec qui j'ai partagé tant de moments mémorables. Votre amitié et votre camaraderie m'ont aidé à naviguer à travers ces années d'études.

Je tiens également à dédier ce travail à tous mes camarades de promotion, avec qui j'ai partagé cette expérience enrichissante, ainsi qu'à tous mes professeurs. Merci à chacun d'entre vous pour votre soutien, vos conseils et pour les connaissances que vous m'avez transmises. Vous avez tous contribué à mon développement, à la fois académique et personnel.

À vous tous, je dédie ce mémoire avec tout mon amour, ma gratitude et mon respect.

Mayes

Introduction générale

L'envisagement d'une autoroute reliant la wilaya de Tizi-Ouzou et Bejaïa en Algérie, suscite l'anticipation d'un projet d'infrastructure majeur susceptible de transformer profondément la dynamique régionale.

Cette proposition d'autoroute entre ces deux centres urbains majeurs, s'inscrit dans une perspective de connectivité améliorée, visant à réduire les temps de trajets et à faciliter la mobilité des personnes et des biens. Elle aurait donc, un impact positif sur le commerce, le transport de marchandises et la facilitation des déplacements quotidiens, et ce, en créant une liaison directe, traversant des terrains montagneux, offrant ainsi une alternative plus rapide et efficace. Aussi, elle contribuerait à renforcer les liens entre les habitants de Bejaïa et de Tizi-Ouzou. De plus, elle incarne une vision ambitieuse qui, une fois réalisée, promet d'impulser un développement économique, social et culturel considérables. Son impact pourrait également se faire sentir sur le plan touristique, qui permettrait aux visiteurs de découvrir plus facilement les richesses culturelles et naturelles de ces deux régions. Enfin, en créant une nouvelle voie d'accès, cette infrastructure contribuerait à désengorger les routes existantes, améliorant ainsi la sécurité routière et réduisant les contraintes de circulation.

Ce mémoire porte sur une étude détaillée du projet d'aménagement d'un tronçon de 4Km de la RN12, entre AZAZGA et la limite de BEJAIA, allant du PK0 au PK4.

L'étude de notre projet de fin d'études est scindée en neuf chapitres distincts. Le premier chapitre porte sur la présentation du projet, quant au deuxième, il porte sur l'étude du trafic, qui a abouti à la détermination du profil en travers de notre projet. Pour sa réalisation, une étude géotechnique a été faite, afin de mettre en vigueur les règlements algériens en géotechnique et qui fait l'objet du troisième chapitre. Dans le quatrième chapitre, nous avons abordé le dimensionnement du corps de notre chaussée, en prenant en compte les facteurs et méthodes considérés dans le dimensionnement. Dans le cinquième chapitre, les caractéristiques géométriques sont déterminées par modélisation avec le logiciel Piste, telles que le tracé en plan, le profil en long et en travers. Les cubatures quant à elles, elles sont extraites du logiciel Piste et présentées au sixième chapitre. La partie hydraulique et assainissement est abordée au septième chapitre, en commençant par l'objectif de l'assainissement, suivi de la détermination des caractéristiques des bassins versants, puis du dimensionnement des ouvrages d'évacuation. Pour le huitième chapitre, il porte sur les équipements de la route, de la sécurité routière, de la signalisation routière et de l'éclairage public. Au dernier chapitre, nous parlons sur l'impact de la réalisation de notre projet sur l'environnement, dans le cadre juridique tout

en passant par une étude d'impact sur l'environnement et la méthodologie du choix du type de plantes. En dernier lieu, une conclusion générale est prévue pour le présent mémoire.

Chapitre I

Présentation du projet

I.3 Objectifs du projet

Parmi les objectifs de notre projet, on cite :

1. Facilitation des déplacements

Le projet vise à rendre les déplacements plus efficaces et rapides entre Azazga et la limite de la wilaya de Bejaïa, améliorant ainsi la mobilité des résidents et des entreprises.

2. Stimulation du développement économique

En établissant une connexion autoroutière, le projet vise à créer un environnement propice aux investissements et à favoriser la croissance des activités économiques entre les différentes zones traversées par le projet, contribuant ainsi à la création d'emplois et au développement des entreprises. Une liaison autoroutière efficace encourage les échanges commerciaux en facilitant le transport des marchandises.

3. Connectivité régionale accrue

En unissant Azazga et la limite de la wilaya de Béjaïa par une autoroute, le projet vise à renforcer la connectivité régionale, favorisant la collaboration et les synergies entre les communautés et les activités économiques.

4. Amélioration de la qualité de vie

Une meilleure accessibilité et des déplacements plus fluides peuvent contribuer à améliorer la qualité de vie des habitants en réduisant les temps de trajet et en facilitant l'accès aux services et aux opportunités.

5. Dynamisation des zones environnantes

Le projet peut également avoir des retombées positives sur les zones environnantes en encourageant le développement de l'infrastructure locale, des services et des équipements.

6. Réduction de la congestion routière

En fournissant une alternative autoroutière, le projet a le potentiel de réduire la congestion routière dans la région, améliorant ainsi la fluidité du trafic.

En somme, ce projet s'articule autour de multiples facettes visant à créer un impact positif à la fois sur le plan économique, social et environnemental de la région.

I.4 Conclusion

La réalisation du projet de liaison autoroutière entre Azazga et la limite de la wilaya de Béjaïa émerge comme une étape cruciale pour favoriser le progrès régional. En améliorant la connectivité, facilitant les déplacements, et stimulant le développement économique, ce projet s'inscrit comme un vecteur de croissance et de dynamisme. Il offre des perspectives prometteuses en termes de renforcement des échanges commerciaux, de création d'emplois, et d'amélioration de la qualité de vie. Ce faisant, la liaison autoroutière aspire à façonner un avenir plus prospère et interconnecté pour les communautés qu'elle relie.

Chapitre II

Etude du trafic

II.1 Introduction

L'étude du trafic constitue un pilier fondamental dans la planification et la gestion efficace des réseaux de transport. Cette discipline multidimensionnelle englobe une variété d'aspects liés aux déplacements, des analyses des volumes de circulation aux schémas de déplacement, en passant par l'évaluation des impacts sur l'environnement et la sécurité routière.

En analysant les flux de circulation, les ingénieurs et planificateurs peuvent obtenir des informations précieuses sur la nature des déplacements, les heures de pointe, les itinéraires prédominants, et les zones sujettes à la congestion. Ces données alimentent des modèles de trafic sophistiqués, qui permettent de prévoir les tendances futures, d'anticiper les besoins d'expansion des infrastructures .

L'étude du trafic joue un rôle crucial dans la conception de solutions novatrices visant à atténuer la congestion routière et à optimiser la mobilité urbaine. Cela peut inclure la mise en place de systèmes de signalisation intelligents, l'introduction de transports en commun plus efficaces, ou même la promotion des déplacements actifs tels que la marche et le vélo.

Par ailleurs, l'évaluation des impacts environnementaux et des risques liés à la sécurité routière constitue une composante essentielle de l'étude du trafic. Comprendre comment les flux de circulation affectent l'environnement et la sécurité permet de concevoir des interventions appropriées pour minimiser les impacts négatifs

II.2 Analyse du trafic

L'analyse du trafic constitue une démarche essentielle dans la compréhension des dynamiques de déplacement au sein d'un réseau routier. Cette évaluation détaillée englobe plusieurs aspects cruciaux pour optimiser la gestion des flux de circulation.

1. Volume de Circulation : L'analyse débute par la quantification précise du volume de véhicules circulant sur une route ou à travers un nœud routier. Cette donnée fondamentale permet d'identifier les périodes de pointe, les fluctuations journalières et saisonnières du trafic.

2. Modélisation du Trafic : À l'aide de modèles mathématiques et informatiques, les ingénieurs peuvent simuler les schémas de déplacement, anticiper les congestions potentielles, et évaluer l'impact de différentes interventions sur la fluidité du trafic.

3. Identification des Points Critiques : L'analyse du trafic permet de localiser les points critiques, tels que les intersections congestionnées, les sections de route à haut risque d'accidents, ou les zones nécessitant des améliorations structurelles.

4. Durée de Trajet et Temps de Voyage : En évaluant la durée moyenne des trajets et les temps de voyage entre différents points, on peut cibler les zones nécessitant des améliorations pour réduire les temps de déplacement et améliorer l'efficacité globale du réseau.

5. Utilisation des Transports en Commun : L'analyse peut également inclure l'étude de l'utilisation des transports en commun, identifiant les lignes ou les itinéraires les plus fréquentés, afin d'optimiser les services et d'encourager leur utilisation.

6. Mesures d'Atténuation : En fonction des résultats de l'analyse, des mesures d'atténuation peuvent être proposées. Cela peut inclure l'ajustement des feux de signalisation, l'extension de routes, l'amélioration des transports en commun, ou le déploiement de technologies intelligentes pour gérer le trafic.

En somme, l'analyse du trafic fournit des données cruciales pour prendre des décisions informées dans la planification urbaine et le développement des infrastructures routières, contribuant ainsi à une mobilité plus fluide, efficace et sécurisée.

II.3 Différents types de trafic

On distingue quatre types de trafic :

A) Trafic Normal

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

B) Trafic Induit

C'est un trafic qui résulte de nouveaux déplacements des personnes vers d'autres déviations.

C) 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.

D) Trafic Total

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

NB : Pour le trafic à destination de la zone d'étude, les flux les plus importants sont en provenance de Tizi-Ouzou vers Bejaia, d'Azazga vers Yakouren, CW158 vers Azzefoun et CW08 vers Ait Chafaa

II.4 Modèles de présentation du trafic

Dans une 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 des paramètres économiques.
- Modèle gravitaire
- Modèle de facteur de croissance.

a) 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 sera

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

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

τ : est le taux de croissance.

n : Année horizon.

b) Corrélation entre le trafic et des paramètres économiques :

Elle consiste à rechercher dans l'historique, une corrélation entre le niveau de trafic d'une part, et certains indicateurs macro-économiques :

- Produit national brut (PNB) ;
- Produits des carburants, 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 du cadre de notre étude.

c) 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.

d) Modèle de facteur de croissance :

Ce type de modèle 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 leur 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

II.5 Paramètres fondamentaux :

Les paramètres fondamentaux d'une route sont des éléments clés qui déterminent sa conception, son utilisation et sa classification. Ils sont cruciaux pour la planification et la gestion des infrastructures routières. Les catégories de route, quant à elles, définissent le rôle et la fonction spécifique de chaque segment du réseau routier.

a) Catégorie de la route

L'ensemble des itinéraires de l'Algérie peut être classé en cinq catégories fonctionnelles, correspondant aux finalités économiques et administratives assignées par la politique d'aménagement sur le territoire

Catégorie 1 : Liaison entre les grands centres économiques et les centres d'industrie lourde considérés deux à deux, et liaisons assurant le rabattement des centres d'industries et transformation vers le réseau de base ci-dessus.

Catégorie 2 : Liaisons des pôles d'industries de transformation entre eux. Et liaisons de raccordement des pôles d'industrie de transformation entre eux, et liaisons de raccordement des pôles d'industries légères diversifiées avec le réseau précédent.

Catégorie 3 : Liaisons des chefs-lieux et daïra et des chefs-lieux de wilaya, non desservi par le réseau précédent avec le réseau de catégorie I et 2

Catégorie 4 : Liaisons de tous les centres de vie qui ne sont pas reliés au réseau de catégorie 1-2 et 3

Catégorie 5 : Routes et pistes non comprises dans les catégories précédentes

b) Environnement de la route

Trois classes d'environnement ont été proposées dans le rapport 620 sur les couts d'aménagement et d'entretien

Le tableau ci-dessous représente la classification des environnements selon le 640 et qui est le Croisement des deux paramètres qui sont : la dénivelée moyenne et la sinuosité.

| sinuosité \ Relief | Faible | Moyenne | Forte |
|--------------------|--------|---------|-------|
| Plat | E1 | E2 | |
| Vallonné | E2 | E2 | E3 |
| Montagneux | | E3 | E3 |

Tableau 1 : classification des environnements [Règlement B40]

II.6 Calcul de la capacité de la route

II.6.1 Définition

La capacité d'une route est définie par le nombre maximum de véhicules qui peuvent raisonnablement passer ou circuler sur un segment uniforme (ou dans les deux sens) d'une route avec des caractéristiques géométriques et de trafic spécifié sur une période de temps. La capacité dépend de :

- Conditions de circulation.
- Des conditions météorologiques.
- Types d'usagers habitués ou non au parcours.
- Distances de sécurité
- Caractéristiques géométriques du segment de route considéré

II.6.2 Trafic à un horizon donné « *TJMAh* »

Du fait la croissance annuelle du trafic, le trafic journalier moyen à un horizon donné s'exprime comme suit :

$$TJMAh = TJMA_0(1 + r)^n$$

Tel que :

- ***TJMAh*** : Trafic à l'année horizon.

- **TJMA0** : Trafic journalier moyen à l'année 0 (référence).
- **r** : Taux d'accroissement annuel.
- **n** : Nombre d'année à partir de l'année d'origine.

II.6.3 Trafic effectif

C'est le trafic par unité de véhicules particuliers, il est déterminé en fonction du type de route et de l'environnement.

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

Avec :

- **T_{eff}** : Trafic effectif à l'horizon en (UVP/J).
- **Z** : Pourcentage de poids lourds (%).
- **P** : Coefficient d'équivalence pour les poids lourds, il dépend de la nature de la route (nombre de voies de l'environnement).

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 les poids lourds en fonction de l'environnement et les caractéristiques de la route.

| Environnement | E ₁ | E ₂ | E ₃ |
|---|----------------|----------------|----------------|
| Route à bonne caractéristique | 2-3 | 4-6 | 8-12 |
| Route étroite ou la visibilité réduite. | 3-6 | 6-12 | 16-24 |

Tableau 2 : coefficient d'équivalence P (B40).

II.6.4 Débit de point horaire normal

Le débit de point horaire normal est une fraction du trafic effectif à l'horizon, il est exprimé en (uvp) et donné par formule :

$$Q = \frac{1}{n} \times T_{eff}$$

Avec :

- **Q** : Débit de pointe horaire (uvp/h) ;
- **n** : Nombre d'heure, (en général n= 8heures) ;

- **Teff** : Trafic effectif ;
- 1/n : Coefficient de pointe horaire pris est égale à 0.12 ;

Le débit de pointe horaire « Q » correspond à 12% du trafic futur.

$$Q = 0.12 \times T_{eff}$$

II.6.5 Débit horaire admissible

Le débit horaire admissible est le nombre de véhicules toléré pouvant passer en un point donné pendant une heure, il est déterminé par la formule suivante :

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

K1 : coefficient lié à l'environnement.

| Environnement | E ₁ | E ₂ | E ₃ |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|
| K₁ | 0.75 | 0.85 | 0.90 à 0.95 |

Tableau 3 : Valeur de K1 en fonction de l'environnement (B40)

K2 : coefficient de réduction de capacité.

| Environnement | Catégorie | | | | |
|---------------|-----------|------|------|------|------|
| | 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 |

Tableau 4 : Valeur de K2 en fonction de l'environnement et de la catégorie de la route (B40)

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

| Capacités théoriques (C _{th}) en UVP/h | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|---------|------|------|---------|-------|----------------|---------------|---|
| Dégagement latéral | Largeur de chaussée unique | | | | | | | | Deux chaussées : Autoroute Ou route express (2) |
| | 4m | 2 voies | | | 3 voies | | 4 voies (1) | | |
| | | 5m | 6m | 7m | 9m | 10,5m | 12m | 14m | |
| 1,80 et plus | 1100 | 1300 | 1600 | 2000 | 2600 | 3200 | 300 4500* | 3400 5100* | 1800 5400* |
| 1,20 | 1000 | 1200 | 1500 | 1900 | 2400 | 3000 | 2950 4400* | 3300 5000* | 1750 5300 |
| 0,60 | (x) | 1100 | 1350 | 1700 | 2200 | 2700 | 2900 4300* | 3200 4800* | 1700 5100* |
| 0,00 | (x) | (x) | 1200 | 1500 | 2000 | 2400 | 2650 4000* | 3000 4500* | 1500 4500* |

Tableau 5 : Capacités théoriques du profil en travers en régime stable (B40)

(1) : pour un sens de la circulation sur route à 2x2 voies ;

(2) : capacité pour une seule voie de 3,50m ;

Valeurs avec * : capacité pour les deux sens réunis.

(x) : capacité non applicable.

II.6.6 Déterminations du nombre de voies

Le nombre de voies de circulation est variable selon le volume de circulation projeté à terme et les niveaux de services attendus.

- **Cas d'une chaussée bidirectionnelle**

On compare Q et Q_{adm} et on opte le profil auquel correspond la valeur de Q_{adm} la plus proche à Q :

$$Q \leq Q_{adm}$$

- **Cas d'une chaussée unidirectionnelle**

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

$$N = \frac{s \times Q}{Q_{adm}}$$

Avec :

- **S** : Coefficient de dissymétrie en général égal à **2/3**.
- Q_{adm} : Débit admissible par voie.

II.7. Application au projet

II.7.1. Données du trafic

En se basant sur les résultats des comptages et des prévisions effectuées par le service concerné, pour estimer le trafic à l'horizon, on fait une projection jusqu'à l'an 2037, tout en sachant que la durée de vie de notre aménagement est estimée à 10ans, et sa mise en service est prévue pour l'année 2027

- Le trafic à l'année 2007 est de 14030 v/j
- Le taux d'accroissement annuel du trafic noté est $\tau=4\%$
- Le pourcentage de poids lourds $Z=13\%$
- L'année de mise en service sera en 2027
- La durée de vie estimée de 10ans
- Notre route, selon son utilité publique jugée capitale et vis-à-vis de sa situation géographique, elle est donc classée en **catégorie C1**

- La situation de notre projet comme étant un relief plat de faibles sinuosités, il est donc classifié en un **environnement E1**
- Le coefficient d'équivalence des poids lourds : $P=3$.
- Environnement E1 et catégorie C1, donc : $K1 = 0.75$ et $K2 = 1$

II.7.2. Projection future du projet

L'année de mise en service (2027).

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

$$TJMA_{2027} = 14030 \times (1 + 0.04)^{20} = 30742v/j/2sens$$

Trafic a l'année (2037) pour une durée de vie de 10 ans.

$$TJMA_{2037} = 30742 \times (1 + 0.04)^{10} = 45506v/j$$

$$TJMA_{2037} = 45506v/j$$

II.7.3. Calcul du trafic effectif

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

$$T_{eff} = [(1-0.13) + 3 \times 0.13] \times 45506 = 57338UVP/j$$

II.7.4. Débit de pointe horaire normale

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

$\frac{1}{n}$: Coefficient de pointe pris égale à 0,12 (en général).

$$Q = 0,12 \times 57338 = 6881UVP/h$$

II.7.5. Débit horaire admissible

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

$$Q \leq Q_{adm}$$

$$k_1 \times k_2 \times C_{th} \geq Q$$

$$C_{th} \geq Q/k_1 \times k_2$$

$$C_{th} \geq 6881 / (0.75 \times 1)$$

$$C_{th} \geq 9175UVP/h$$

La capacité théorique trouvée dépasse celle des chaussées uniques, donc il s'agit d'une route unidirectionnelle à chaussées séparées. Par conséquent, la capacité théorique est de $C_{th} = 1800$ uvp/h (d'après la B40 pour une route regroupant deux chaussées).

$$Q \leq Q_{adm} = K_1 \times K_2 \times C_{th} = (0,75 \times 1) \times 1800 = 1350 \text{ UVP/h/ sens}$$

II.7.6. Nombre de voies

Les deux chaussées sont unidirectionnelles ; Le nombre de voie par chaussée est le nombre le plus proche du rapport :

$$n = S \cdot Q / Q_{adm}$$

Avec :

S : coefficient dissymétrie en général = 2/3

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

$$n = \left(\frac{2}{3}\right) \times \frac{6881}{1350} \cong 3 \text{ voies/sens}$$

Donc : Le nombre de voies $n = 3 \text{ voies/sens}$, le profil de notre tronçon est de 2×3 voies de 3.5 m de largeur chacune.

II.7.7. Résultats de calculs

La capacité théorique de notre projet étant de $C_{th} = 1800$ uvp/h. D'après la B40 on opte pour une route :

- Une chaussée unique de 03 voies /sens.
- La largeur utile de la voie est de 3.5 m.
- Le dégagement latéral est de 1,80 m.

II.8 Conclusion

L'étude du trafic routier est bien plus qu'une simple analyse des flux de véhicules. C'est un exercice de compréhension des dynamiques sociales, économiques et environnementales qui façonnent nos villes et nos modes de vie. En adoptant une approche collaborative et innovante, nous pouvons créer des systèmes de transport plus résilients, inclusifs et durables pour les générations à venir.

Chapitre III

L'étude géotechnique

III.1. Introduction

L'étude géotechnique routière est une discipline essentielle dans la conception et la construction des routes. Elle vise à évaluer les caractéristiques du sol et du sous-sol le long d'un tracé routier, afin de déterminer les conditions géotechniques et géologiques. Cette analyse permet de concevoir des infrastructures routières sûres, durables et économiquement viables, en prenant en compte des facteurs tels que la stabilité, la portance et le drainage du sol.

Grâce à une étude géotechnique approfondie, les ingénieurs peuvent anticiper les défis potentiels et proposer des solutions adaptées, contribuant ainsi à la sécurité et à la durabilité des réseaux routiers.

III.2. Objectifs principaux de l'étude géotechnique routière

- Évaluer la capacité portante du sol,
- Déterminer si le sol peut supporter le poids des infrastructures routières, y compris le trafic prévu.
- Identifier les risques géotechniques, repérer les zones présentant des risques de mouvements de terrain, d'affaissements, d'inondations ou d'autres phénomènes géologiques pouvant affecter la stabilité des routes.
- Concevoir des solutions adaptées et proposer des techniques de construction et des matériaux appropriés pour assurer la stabilité et la durabilité des routes, en tenant compte des conditions géologiques locales.
- Optimiser les coûts et les délais et anticiper les problèmes géotechniques potentiels permet de planifier les travaux de construction de manière efficace afin d'éviter les retards et les coûts supplémentaires.
- Assurer la sécurité des usagers et garantir que les routes construites sont sûres et fiables.

III.3. Réglementation Algérienne en géotechnique

En Algérie, la géotechnique routière est régie par plusieurs réglementations et normes techniques. Voici quelques-unes des principales références utilisées dans ce domaine :

- **Règlement de Construction Parasismique (RPA Alger 2024)** : ce règlement définit les normes de construction parasismique en Algérie, notamment en ce qui concerne les fondations des bâtiments et des infrastructures, ce qui inclut les routes et les ponts.
- **Normes algériennes (NA)** : les normes techniques algériennes comprennent des spécifications détaillées pour divers aspects de la géotechnique routière, telles que les

méthodes d'essais des sols, les calculs de capacité portante, les recommandations pour les fondations... etc.

- **Cahier des Prescriptions Techniques (CPT)** : émis par les organismes de contrôle et de régulation, ces documents détaillent les exigences techniques spécifiques pour la conception et la construction des routes, y compris les aspects géotechniques.
- **Règles de dimensionnement des ouvrages d'art (RPOA)**, ces règles fournissent des lignes directrices pour la conception et le dimensionnement des ouvrages d'arts, tels que les ponts et les tunnels, en prenant en compte les conditions géotechniques locales.
- **Cahier des Charges Techniques Communes (CCTC)** : il s'agit d'un ensemble de spécifications techniques standardisées pour divers types de projets de construction en Algérie, y compris les routes, et comprend des dispositions relatives à la géotechnique.

Ces réglementations et normes constituent le cadre juridique et technique qui guide la pratique de la géotechnique routière en Algérie, en veillant à ce que les routes soient conçues et construites selon des normes de qualité et de sécurité élevées.

III.4. Différents essais au laboratoire

On retrouve deux types d'essais

III.4.1. Essais mécaniques

a) Essai de compactage Proctor

Il détermine la densité maximale et l'humidité optimale d'un sol lorsqu'il est compacté (*étudier le comportement du sol sous l'influence du compactage et de la teneur en eau*).

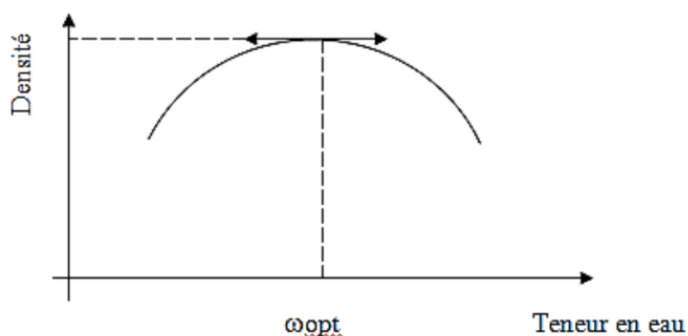


Figure 2 : Diagramme Proctor simple

b) Essai CBR ou California Bearing Ratio

L'essai CBR (California Bearing Ratio) est une méthode standard utilisée en génie civil et en géotechnique pour évaluer la résistance à la pénétration des sols. Cette méthode est souvent utilisée pour évaluer la qualité des sols pour la conception et la construction de chaussées, de pistes d'aéroport, de parkings, et d'autres infrastructures similaires.



Figure 3 : Appareil d'essai CBR

L'indice portant californien CBR est le rapport, exprimé en % de la pression produisant un enfoncement donné au moyen d'un poinçon cylindrique normalisé (de section 19.32 cm²) se déplaçant à une vitesse déterminée (1.27 mm/min) et de la pression nécessaire pour enfoncer le même poinçon dans les mêmes conditions, dans un matériau type.

Cet indice peut être pris à différent état hydrique (soit à différent niveau de compactage) :

- A l'optimum : indice portant à la teneur en eau optimale W_{opm}
- A la teneur en eau naturelle (Indice Portant immédiat) à W_{nat}
- Après saturation : on immerge le moule pendant quatre jours dans l'eau et on enfonce le poinçon à vitesse constante.

L'enfoncement est mesuré en fonction de la charge. Par définition, on note deux CBR :

$$CBR1 = \frac{\text{Effort de pénétration à 2.5 mm dK enfoncement en KN}}{13,35} \times 100$$

$$CBR2 = \frac{\text{Effort de pénétration à 5 mm dK enfoncement en KN}}{20} \times 100$$

L'indice recherché est défini conventionnellement comme étant la plus grande valeur exprimée en %.

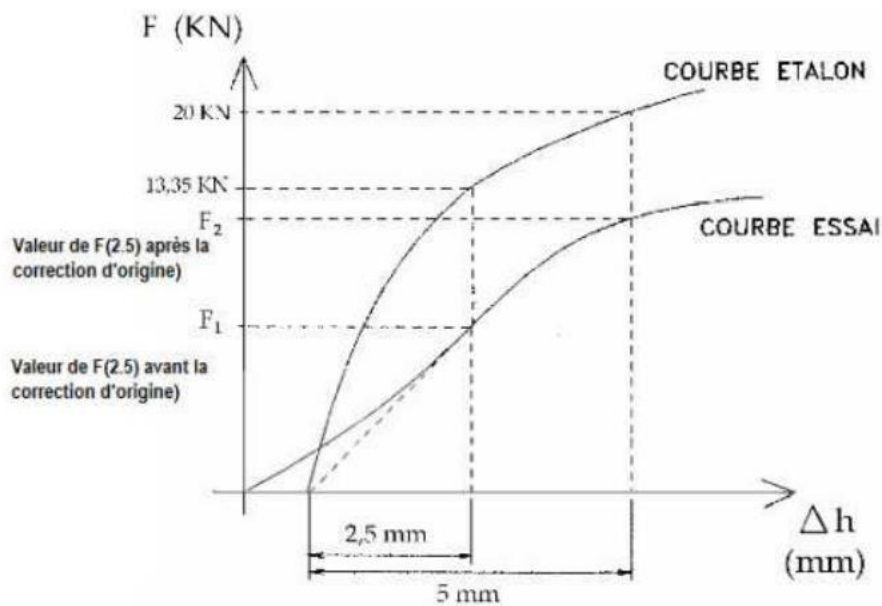


Figure 4 : Courbe d'essai CBR

| | CBR |
|--------------------------|--------|
| Sol mous à très mous | <2 |
| Argiles | 2-10 |
| Limons et argiles raides | 8-40 |
| sables | 8-30 |
| graves | 15-80 |
| Concassé | 80-100 |

Tableau 6 : Valeurs usuelles de l'indice CBR

c) Essai Los Angeles

Cet est un essai très fiable est de très courte durée, il nous permet d'évaluer la qualité du matériau. Il s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle.

L'objet de cet essai est de déterminer la résistance aux chocs. Il consiste à mesurer la quantité

Des éléments fins produits en soumettant le granulat aux chocs de boules normalisés dans une machine dite « Los Angeles » qui est un broyeur de laboratoire.

Tamisée sur chacun des tamis de la classe granulaire choisie, lavée, séchée et pesée (à 1 g

Près), la prise d'essai (5000 +/- 5 g) est placée dans un tambour avec une charge de boulets appropriée. Entraînés durant 500 tours par tablette en acier, ces boulets retombent avec les matériaux qu'ils fragmentent. Ce dernier est ensuite lavé sur un tamis de 1.6 mm, séché et le Passant est pesé (masse m).

$$\frac{LA}{100} = \frac{m}{500}$$

Les seuils retenus diffèrent selon les utilisations des sols. Au-delà de 45, le sol ne peut pas Être utilisé en couche de forme.

d) Essai Micro Deval

Il est en général effectué deux essais, pour avoir deux coefficients (Deval sec) et (Deval Humide). On s'intéresse actuellement au MDE (DEVAL humide) qui est de plus en plus Pratiquée. Cet essai est intéressant pour le choix des matériaux utilisés dans les structures de Chaussée.

L'objectif de cet essai et d'apprécier la résistance à l'usure des granulats ; l'essai est réalisé

En présence d'eau pour se rapprocher des conditions réelles de séjour des granulats dans les

Chaussées. Il consiste à mesurer dans des conditions bien définies l'usure des granulats par

Frottements réciproques dans un cylindre en rotation. L'usure est mesurée par la quantité de fines produites. Cas d'un gravillon compris entre 4 et 14 mm : Lavée, séchée et pesée (à 1 g près), la prise d'essai (500 +/- 2 g) est introduite dans un cylindre normalisé avec une charge de billes d'acier (2000, 4000 ou 5000 g selon la granularité), et 2.5 litres d'eau. Après 12000 rotations (2 heures), le matériau est lavé sur un tamis de 1.6 mm, séché et le refus est pesé

(Masse m')

e) Essai de perméabilité

Il mesure la capacité d'un sol à permettre le passage de l'eau.

f) Essai de consolidation

Il étudie le comportement de déformation d'un sol sous des charges appliquées progressivement pour prédire son tassement.

III.4.2. Essais d'identification

Les essais d'identification en géotechnique routière sont des procédures utilisées pour déterminer les caractéristiques géotechniques des sols et des matériaux de construction utilisés

dans les infrastructures routières. Ces essais permettent de comprendre les propriétés mécaniques, hydrauliques et géologiques des sols, ce qui est essentiel pour la conception et la construction de routes sûres et durables. Parmi les essais d'identification couramment utilisés, on trouve :

a) Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est une méthode utilisée en géotechnique pour déterminer la répartition des tailles de particules dans un échantillon de sol. Cette analyse permet de classer les sols en fonction de leur granulométrie, c'est-à-dire la proportion relative des différents types de particules (sable, limon, argile, etc.). Elle est réalisée en tamisant l'échantillon de sol à travers une série de tamis de tailles progressives, puis en mesurant le poids de particules retenu sur chaque tamis. Les résultats sont souvent présentés sous forme de courbe granulométrique, qui montre la distribution des tailles de particules en fonction de leur pourcentage cumulé. Cette analyse est essentielle pour évaluer les propriétés d'écoulement, de drainage et de compactage des sols, ce qui influence directement la conception et la construction des routes et des infrastructures associées. Il existe plusieurs méthodes d'analyse granulométrique, parmi lesquelles les plus couramment utilisées sont :

- **Méthode par tamisage humide ou à sec : Pour les grains > 80µm.**

Cette méthode consiste à tamiser l'échantillon de sol à travers une série de tamis de différentes mailles pour séparer les particules en fonction de leur taille. Elle peut être réalisée en utilisant de l'eau pour les sols fins ou à sec pour les sols grossiers.

- **Méthode de sédimentation : Pour les particules < 80µm**

Aussi connue sous le nom d'analyse par tamisage hydrométrique, cette méthode utilise la gravité pour séparer les particules en suspension dans l'eau en fonction de leur taille. Les particules plus fines se déposent plus lentement que les particules plus grosses, ce qui permet de mesurer leur distribution granulométrique.

- **Méthode au laser :** Cette méthode utilise un faisceau laser pour mesurer la taille des particules dans un échantillon de sol. Elle est souvent utilisée pour les sols fins et permet une analyse rapide et précise de la distribution granulométrique.
- **Analyse d'images :** Cette méthode consiste à prendre des images microscopiques de l'échantillon de sol et à utiliser un logiciel pour analyser la taille et la forme des particules. Elle permet une analyse détaillée de la distribution granulométrique et de la morphologie des particules.

Ces différentes méthodes peuvent être utilisées en fonction des caractéristiques spécifiques de l'échantillon de sol et des besoins de l'étude géotechnique.



Figure 5 : Analyse granulométrique par tamisage



Figure 6 : Analyse granulométrique par sédimentation

b) Limites d'Atterberg

Les limites d'Atterberg sont des propriétés fondamentales des sols qui définissent leur comportement vis-à-vis de l'eau et de l'activité mécanique. Elles déterminent les paramètres suivants :

1. Limite de liquidité (WL) :

La limite de liquidité est définie comme la teneur en eau exprimée en pourcentage du poids sec du sol, à laquelle un sol commence à passer de l'état plastique à l'état liquide. En d'autres termes, c'est le point où le sol devient suffisamment liquide pour s'écouler sous l'effet de vibrations légères. La détermination de la limite de liquidité se fait généralement à l'aide du test de la coupelle de Casagrande. Dans ce test, une rainure est créée dans une pâte de sol et la

teneur en eau est ajustée jusqu'à ce que la rainure se ferme sur une longueur spécifique lorsqu'elle est frappée par un nombre défini de coups. La valeur de la limite de liquidité est ensuite enregistrée.

$$WL = WN \times \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$$

Avec :

2. Limite de plasticité (WP) :

La limite de plasticité représente la teneur en eau à partir de laquelle un sol devient suffisamment plastique pour être façonné en forme de filament de diamètre spécifique sans se fissurer. C'est le point où le sol perd sa plasticité et commence à se comporter davantage comme un sol cohérent plutôt que comme une pâte. La détermination de la limite de plasticité se fait traditionnellement à l'aide de la méthode du rouleau et de la coupelle de Casagrande. Dans ce test, une masse d'échantillon de sol est travaillée jusqu'à ce qu'elle puisse être roulée en un filament de diamètre de 3 mm sans se fissurer sur une plaque en verre. La teneur en eau correspondante est enregistrée comme la limite de plasticité.

3. limite de retrait WR

Représente la teneur en eau qui sépare l'état solide avec retrait de l'état solide sans retrait.

En résumé, les limites d'Atterberg sont des indicateurs clés du comportement des sols en présence d'eau et de contraintes mécaniques, et elles sont largement utilisées en géotechnique pour évaluer la plasticité, la cohésion et la compressibilité des sols. Comprendre ces limites est crucial pour la conception et la construction de structures sûres et durables, notamment dans le domaine des infrastructures routières.

4. L'indice de plasticité (IP)

Représente la différence entre la limite de liquidité (WL) et la limite de plasticité (WP). Il représente la gamme de teneur en eau dans laquelle le sol présente des propriétés plastiques.

- Un IP élevé indique une grande différence entre la plasticité et la liquidité du sol. Cela peut rendre le sol difficile à travailler car il peut être plastique sur une large plage de teneur en eau.

- Les sols avec un IP élevé peuvent nécessiter des mesures spéciales de traitement ou de stabilisation lors de la construction pour garantir une performance adéquate de l'infrastructure.

c) Essai au bleu de méthylène (ou à la tâche)

L'essai au bleu de méthylène est une méthode utilisée en géotechnique pour évaluer la capacité des sols à retenir l'eau et à résister à l'infiltration. Cet essai est souvent utilisé pour déterminer la perméabilité des sols fins, tels que les argiles et les limons.

Le principe de l'essai consiste à injecter une solution de bleu de méthylène dans un échantillon de sol et à mesurer le temps nécessaire pour que la solution traverse le sol sur une certaine distance. Plus le sol est perméable, plus la solution de bleu de méthylène se déplacera rapidement à travers le sol.

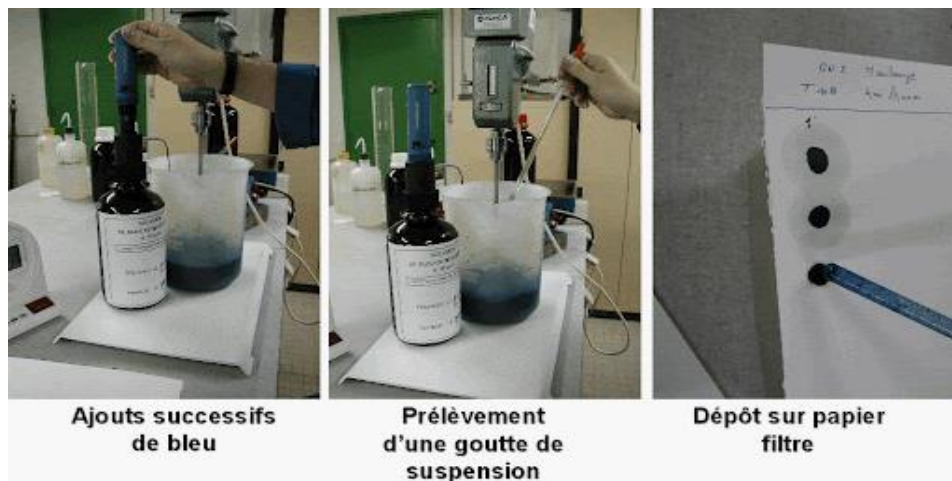


Figure 7 : Essai au bleu de méthylène

La valeur de bleu du sol est donnée par :

$$VBS = \frac{b}{ms} \times C \times 100$$

(Exprimé en gr de bleu pour 100gr de matériau sec)

Avec :

B : masse de bleu introduire (solution à 10g/l).

Ms : masse sèche de la prise d'essai.

C : proportion du 0/5 mm (soumis à l'essai) dans la fraction 0/50 mm du matériau sec.

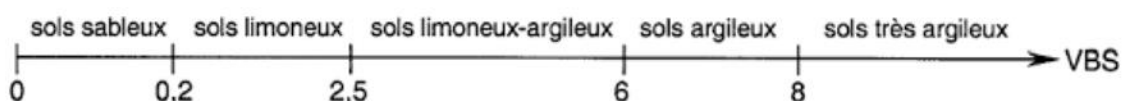


Figure 8 : Types de sols en fonction de VBS

d) Equivalent de sable

L'équivalent de sable, également connu sous le nom de test NA 455, est un essai utilisé en géotechnique pour évaluer la propreté des granulats fins utilisés dans la construction des routes et des infrastructures. Cet essai permet de déterminer la proportion de particules fines et de matières organiques présentes dans les granulats, ce qui peut influencer leurs performances lorsqu'ils sont utilisés dans des mélanges bitumineux ou en béton.

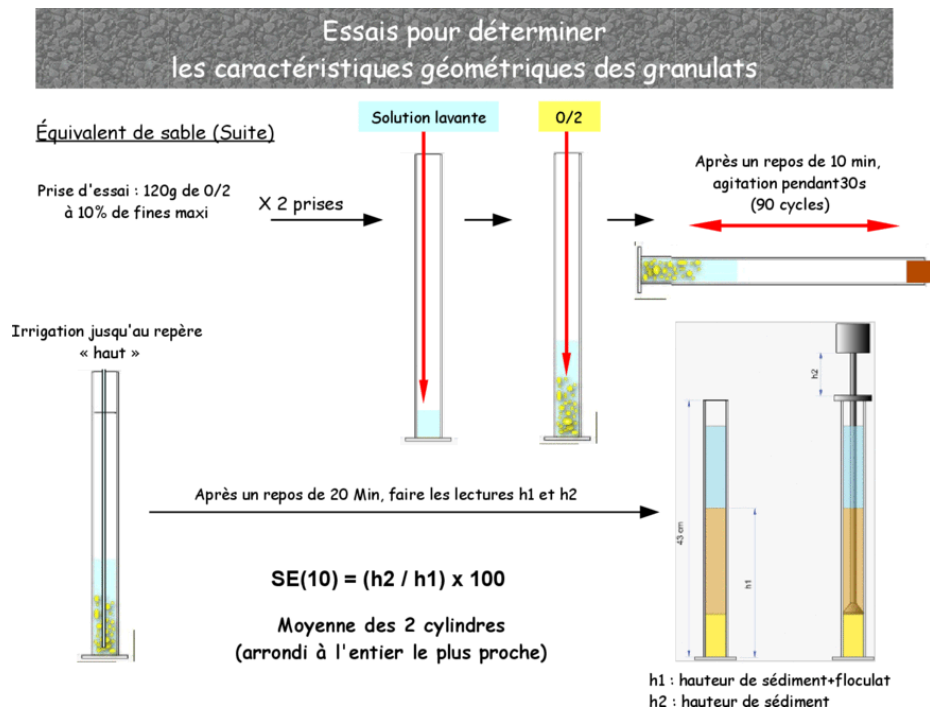


Figure 9 : Essai d'équivalent de sable

III.4.3. Essais chimiques

a) Analyse chimique sommaire

L'analyse chimique sommaire est une méthode utilisée en géotechnique pour évaluer la composition chimique générale des sols. Contrairement à une analyse chimique détaillée, qui examine une large gamme de paramètres chimiques spécifiques, une analyse chimique sommaire se concentre sur quelques éléments clés pour fournir une indication générale de la composition chimique du sol.

Les éléments les plus couramment analysés lors d'une analyse chimique sommaire incluent :

1. La teneur en matières organiques : Cette mesure indique la quantité de matière organique présente dans le sol, ce qui peut influencer sa fertilité, sa structure et ses propriétés d'ingénierie.

2.Le pH : Le pH du sol est une mesure de son acidité ou de sa basicité, ce qui peut avoir un impact sur la disponibilité des nutriments pour les plantes ainsi que sur la solubilité des minéraux dans le sol.

3.Les concentrations en éléments majeurs : Cela peut inclure des éléments tels que le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium, qui sont importants pour la fertilité du sol et peuvent influencer ses propriétés physiques.

4.Les concentrations en éléments traces : Certains éléments traces, tels que le fer, le manganèse, le zinc et le cuivre, peuvent être présents dans le sol à des concentrations faibles mais significatives, et leur présence peut avoir des implications pour la santé des plantes et la qualité de l'eau souterraine.

L'analyse chimique sommaire est souvent réalisée en complément d'autres tests géotechniques pour fournir une image plus complète des propriétés du sol. Les résultats de cette analyse peuvent aider les ingénieurs à évaluer les caractéristiques du sol et à prendre des décisions appropriées en matière de conception et de construction des infrastructures.

III.5. Application au projet

III.5.1. Contexte géologique du tracé

La géologie des sols du couloir traversé par la RN12 appartient à l'oligocène qui est un groupe de terrains tertiaires qui succède à l'éocène. Au fait, il s'agit des sols insaturés qui sont représentés sur tout le long de l'axe par les faciès suivants :

- **Les éboulis :**

Il s'agit d'un complexe d'argile de différentes couleurs et des blocs et pierres de grés centimétriques à décimétriques, d'âge quaternaire ancien.

- **Les grés numidiens aquitaniens**

Il s'agit de roches détritiques cohérentes d'âge numidien, se dit des sédiments d'origine secondaire provenant de désagrégation mécanique de roches primaires.

Au niveau de ce projet, on trouve la carapace de ce faciès dure « siliceuse » et brunâtre sur au moins une face, en quelques endroits et très friable, sous forme d'un tuf calcaire, en d'autres endroits.

Ce type de faciès contient des traces de bancs au niveau des localités suivantes :

- Pk0+00 (azazga) à Tala hadjadj ;

- Tilih n'tahbirt ;
- Tamelit ;
- Col de Tagma.

- **Les argiles sous numidiennes**

Il s'agit d'argile sous numidiennes « oligocène franc » de couleur marron à brunâtre. Ce type de faciès se trouve au pk0+250 après Djellah et au niveau de l'Azib youedfe, contournant les grès numidiens se trouvant avant les éboulis de la localité de yakouren.

- **Des flysch à micro brèches**

Il s'agit de débris de roche entraînés par la glace en mouvement (glacier) plaquettes microbréchiques appartenant à l'étage turono sénonien. Ils sont formés de terres sédimentaires que les avalanches ont abandonnées.



Figure 10 : Contexte géologique du tracé

Légende :



Eboulis Grès numidiens **Argiles sous numidiens** **Flysch à micro brèches**

Remarque : D'après la carte géologique d'azazga, une faille (chevauchement) est observée à la sortie d'Azazga vers Yakouren et une autre plus importante est observée à partir de Tala Hadjadj jusqu'au cimetière Sidi Brahim ;

III.5.2. Reconnaissance géotechnique du sol support du tracé

La reconnaissance du sol du nouveau tracé a été faite à l'aide d'un rétro chargeur le long du tracé. En effet, Huit (08) puits à ciel ouvert ont été creusés à une profondeur allant de 1.00 à 2.50 m, suivant le programme géotechnique donné par le bureau chargé de l'étude.

La description des matériaux obtenus des puits peut être décrite comme suit :

Puits 01 :

Il a été creusé au pk 0+00, du projet d'aménagement de la RN12, à 4 mètres de la rive droite de la RN12 en allant vers la ville de Yakouren. Au fait c'est à 400 mètres du carrefour du contournement de la ville d'Azazga (Carrefour de l'hôpital), comme l'indique la photo ci-dessous. La profondeur du puits obtenue est de 1,20 mètre.



Figure 11 : Photos du puits N°01



Figure 12 : 2eme photo du puits

La nature géologique du sol, prise des parois du puits, nous montre qu'il s'agit des éboulis de matrice argileuse de couleur versicolore. Les cailloux sont anguleux et friables. Ils sont de nature gréseuse, de dimensions centimétriques. La couleur de ces cailloux est marron clair à

beige. Notant qu'une face de ces pierres est de couleur brunâtre à noirâtre. Ceci est témoin d'une oxydation de la roche par la présence d'une humidité relative au niveau de chaque banc

Puits 02 :

Il a été creusé au pk 2+000, au niveau de l'accotement de la rive droite de la RN12 en allant vers la ville de Yakouren, à 60centimètres de la couche de roulement. Notant que cet accotement est exigu, Il est limité par le front de taille gréseux. Le matériau récupéré du puits à ciel ouvert est de même nature géologique que le front de taille. En fait, il s'agit d'une roche gréseuse jaunâtre fracturée avec des fines de couleurs noirâtre issues de la couche végétale et du gré ayant une face noirâtre témoin d'oxydation. La profondeur du puits n'a pas dépassé les 60 centimètres vu la nature rocheuse du sol support.



Figure 13 : Photos du puits N°02



Figure 14 : 2eme photos du puits N°02

Puits 03 :

Il a été creusé au pk 4+000, au niveau de l'accotement de la rive droite de la route RN12 en allant vers Yakouren. L'endroit exact du puits se trouve à 2mètres de la couche de roulement.

La coupe géologique obtenue du puits à ciel ouvert est comme suit :

Terre végétale argileuse à caillouteuse de couleur marron sur 30 cm d'épaisseur ;Matériaux argileux fin de couleur marron à ocre très humide, avec des passées grisâtres d'origine gréseuse. Le squelette est très altéré et friable.



Figure 15 : Photos du puits N°03

III.5.3. Essais au laboratoire

Les matériaux trouvés à l'ouverture des puits à ciel ouvert, sont principalement de formation gréseuse et accessoirement d'éboulis argile et de flysch. Notant que le nouveau tracé de la RN12 aménagée en 2x3 voies, va franchir une zone rocheuse de formation gréseuse allant du pk 0+400 au pk 3+500.

Les différents échantillons des matériaux prélevés des puits de reconnaissance, ont été soumis aux essais d'indentification et mécaniques selon les normes en vigueur, afin de déterminer leurs caractéristiques physiques et mécaniques et pouvoir les classer en catégorie.

- **Essais d'identification**
 - Analyse granulométrique : NF P 94-056
 - Limites d'Atterberg : NF P 94 -051
 - Densité : NF P

- **Essais mécaniques**
 - Essai Proctormodifié : NF P 94-093
 - Essai CBR à 04 jours d'imbibition : NF P : 94-078
 - Essai Los Angeles : NF P 18- 573
 - Essai Micro deval : NF P 18 -572

Les résultats obtenus des essais cités ci-dessus, sont résumés dans le tableau récapitulatif ci-dessous :

| PK | Nature géologique du sol | Teneur en eau % | Granulométrie | | | | | | Limites d'Atterberg | | | Proctor | | Indice CBR à 4j d'imbibition | LA % | MDE % |
|------|--------------------------|-----------------|---------------|-------|--------|--------|--------|--------|---------------------|-------|-------|-----------------|--------------------------------|------------------------------|-------|-------|
| | | | 31.5 mm | 20 mm | 2.0 mm | 0.4 mm | 0.2 mm | 80 u.m | Ip | WL | WP | Teneur en eau % | Densité sèche T/M ³ | | | |
| 0+00 | Eboulis | 19.12 | 86.55 | 86.21 | 70.55 | 46.04 | 34.01 | 26.75 | 24.10 | 56.15 | 52.05 | 16.35 | 1.46 | 1.79 | 29.00 | 33.00 |
| 2+00 | Grés altéré | 6.69 | 80.78 | 64.72 | 39.51 | 35.46 | 20.88 | 15.76 | 14.34 | 50.72 | 16.38 | 14.00 | 1.90 | 11.00 | 93.02 | 90.68 |
| 4+00 | Grés | 3.14 | 95.65 | 94.95 | 91.17 | 77.08 | 50.61 | 34.98 | 7.75 | 16.40 | 8.67 | 8.80 | 1.99 | 10.09 | 99.97 | 99.18 |

Tableau 7 : Tableau récapitulatif des résultats des différents essais

Le classement de ces matériaux selon le guide technique de SETRA, est comme suit :

| Classes | Nature géologique du matériau | Observation | Type du matériau |
|-------------|-------------------------------|---|--------------------------------------|
| C1A1 | Eboulis d'origine gréseuse | D max > 50mm - Tamisât à 80 u. m >12 -La fraction à 0/50 mm > 60 à 80% | Argile à silex, alluvions grissères. |
| B5 | Grés | Dmax < 50 mm - IP ≤12 12 < Tamisât à 80 u.m <35 | Sables et graves très silteux. |

Tableau 8 : Le classement des matériaux (SETRA)

III.6 Conclusions

L'étude géotechnique joue un rôle essentiel dans la réussite des projets des travaux publics, notamment pour garantir la stabilité et la durabilité des ouvrages. Ce chapitre a permis de mettre en évidence l'importance des essais de laboratoire dans la caractérisation des sols. En effet, les différents essais présentés, tels que les essais granulométriques, les limites d'Atterberg, l'essai Proctor ou encore l'essai CBR, permettent d'évaluer les propriétés physiques et mécaniques du sol, essentielles à leur classification et à leur comportement sous contrainte. Ces essais sont indispensables pour s'assurer que le sol répond aux exigences de résistance et de stabilité nécessaires à la construction de notre route.

Chapitre IV

Dimensionnement du corps de chaussée

IV.1 Introduction

Le dimensionnement du corps de chaussée est une phase fondamentale dans la planification, la conception et la construction des infrastructures routières. À la croisée de l'ingénierie civile, de la géotechnique et de la gestion des transports, cette étape vise à créer des routes robustes et durables capables de supporter efficacement le poids et les contraintes du trafic quotidiens.

Lorsqu'on évoque le dimensionnement du corps de chaussée, il est nécessaire de comprendre l'importance vitale de cette composante dans la performance globale d'un réseau routier. En effet, la chaussée constitue l'interface directe entre les véhicules et le sol sous-jacent, et elle doit être conçue pour résister aux forces dynamiques exercées par le trafic, ainsi qu'aux contraintes statiques imposées par les conditions environnementales et géologiques locales.

Cette phase de conception implique une analyse minutieuse de divers facteurs, dont la capacité portante du sol, la classification du trafic, les conditions climatiques et hydrologiques, ainsi que les considérations économiques. Chaque élément de la chaussée, depuis la couche superficielle jusqu'aux matériaux de fondation, est soigneusement étudié et dimensionné pour assurer une performance optimale à long terme.

De plus, le dimensionnement du corps de chaussée ne se limite pas à la simple résistance structurelle, il englobe également des aspects liés à la sécurité routière, à l'accessibilité, à la durabilité environnementale et à la gestion des eaux pluviales. En intégrant ces diverses préoccupations, les ingénieurs peuvent concevoir des chaussées qui répondent aux besoins actuels tout en anticipant les défis futurs liés à l'évolution des conditions de trafic et environnementales.

En somme, le dimensionnement du corps de chaussée représente une étape essentielle dans la création d'infrastructures routières sûres, efficaces et durables. En combinant expertise technique, innovations technologiques et pratiques de conception avancées, les professionnels de l'ingénierie contribuent à façonner des réseaux routiers qui soutiennent le développement socio-économique et améliorent la qualité de vie des populations.

IV.2 Facteurs considérés dans le dimensionnement

Le dimensionnement de la structure de chaussée est une partie importante de la pratique en génie routier. Il s'agit à la fois de sélectionner les matériaux nécessaires aux propriétés souhaitées et de déterminer l'épaisseur des différentes couches de la structure de la chaussée.

Pour assurer de bonnes caractéristiques mécaniques afin qu'il puisse supporter toutes les charges tout au long de son cycle de vie.

Il faut considérer non seulement le trafic existant, mais aussi le trafic futur, ce qui nous amène à définir le taux de croissance du trafic et les types des véhicules empruntant cette route.

Les dimensions de la chaussée sont déterminées selon les paramètres suivants :

- Le trafic.
- Le sol support.
- L'environnement (le climat essentiellement).
- Les matériaux choisis.
- La durée de vie de la chaussée.

IV.2.1. Trafic

Le trafic est l'un des principaux facteurs considérés dans le dimensionnement du corps de chaussée. Il englobe plusieurs aspects essentiels, tels que le volume de véhicules, la composition du trafic (véhicules légers, poids lourds, etc.), la répartition horaire et saisonnière du trafic, ainsi que les prévisions de croissance future.

La quantité et le type de véhicules circulant sur la route ont un impact direct sur les contraintes exercées sur la chaussée. Par exemple, les poids lourds génèrent des charges plus importantes que les véhicules légers et nécessitent donc une conception de chaussée plus robuste pour assurer sa durabilité.

En outre, la répartition du trafic selon les heures de la journée et les saisons influence les exigences de dimensionnement. Les routes subissant des pointes de trafic importantes nécessiteront une conception différente de celles avec un trafic plus uniforme. De même, les routes soumises à des conditions météorologiques extrêmes peuvent nécessiter des matériaux et des techniques de construction spécifiques pour résister à ces contraintes.

Les prévisions de croissance du trafic sont également essentielles pour garantir que la chaussée reste adaptée aux besoins futurs. Les ingénieurs doivent anticiper l'augmentation du volume de circulation et prendre en compte cette croissance dans leurs calculs de dimensionnement afin d'éviter des coûts supplémentaires de rénovation ou de reconstruction à l'avenir.

La prise en compte du trafic dans le dimensionnement du corps de chaussée permet d'assurer une conception adaptée aux conditions réelles et futures de circulation, garantissant ainsi la sécurité et la durabilité des routes.

IV.2.2. Environnement de la route

L'environnement est un facteur crucial dans le dimensionnement du corps de chaussée, car il influence à la fois les matériaux utilisés et les techniques de construction employées. Voici quelques aspects environnementaux pris en compte :

- **Écosystèmes sensibles** : Lorsque des routes traversent des zones écologiquement sensibles, telles que des zones humides ou des habitats d'espèces protégées, des mesures de protection spécifiques sont nécessaires pour minimiser les impacts environnementaux.
- **Gestion des eaux pluviales** : Une conception adéquate de la chaussée doit intégrer des systèmes de drainage efficaces pour minimiser l'accumulation d'eau et réduire les risques d'érosion et de pollution des eaux.
- **Réduction de l'empreinte carbone** : Le choix de matériaux recyclés et de techniques de construction à faible émission de carbone contribue à réduire l'empreinte environnementale des projets routiers.
- **Conservation des ressources naturelles**: Le dimensionnement du corps de chaussée doit prendre en compte la préservation des ressources naturelles telles que l'eau et les matériaux de construction, en favorisant des pratiques de gestion durable.
- **Aménagement paysager** : L'intégration d'aménagements paysagers le long des routes peut contribuer à atténuer les effets visuels et sonores, tout en favorisant la biodiversité locale et en améliorant la qualité de vie des riverains.
- **Adaptation aux changements climatiques** : La conception des chaussées doit tenir compte des prévisions de changement climatique, en intégrant des stratégies d'adaptation telles que la résistance aux températures extrêmes, aux inondations et aux événements météorologiques plus fréquents et intenses.

Une approche environnementale intégrée dans le dimensionnement du corps de chaussée permet de réduire l'impact des infrastructures routières sur les écosystèmes naturels, tout en favorisant la durabilité et la résilience face aux défis environnementaux actuels et futurs.

IV.2.3. Sol support

Le sol support est un élément fondamental dans le dimensionnement du corps de chaussée. Il fait référence à la capacité du sol sous-jacent à supporter les charges exercées par le trafic routier et à transmettre ces charges aux couches de la chaussée sans déformation excessive.

L'analyse du sol support implique l'étude de ses propriétés géotechniques telles que la capacité portante, la perméabilité, la compressibilité et la cohésion. Ces caractéristiques varient en fonction du type de sol présent sur le site du projet, ce qui influence directement les choix de conception et de construction de la chaussée.

Pour déterminer le sol support, des tests de reconnaissance géotechnique sont généralement effectués sur le terrain, tels que les essais de pénétration statique (SPT), les essais

pressiométriques ou les essais de plaque. Ces tests fournissent des données essentielles pour évaluer la capacité du sol à supporter les charges prévues et pour concevoir les couches de la chaussée en conséquence.

En fonction des caractéristiques du sol support, des solutions d'ingénierie adaptées peuvent être mises en œuvre, telles que l'utilisation de matériaux de renforcement ou de techniques de stabilisation du sol. L'objectif est de garantir une répartition uniforme des charges sur toute la surface de la chaussée afin d'éviter les déformations excessives, les affaissements ou les ruptures prématurées, assurant ainsi la durabilité et la sécurité de l'infrastructure routière.

IV.2.4. Matériaux

Les matériaux utilisés dans le dimensionnement du corps de chaussée sont essentiels pour assurer la résistance, la durabilité et la performance de l'infrastructure routière. Voici quelques-uns des matériaux couramment utilisés :

- **Grave** : La grave est un matériau granulaire composé de roches concassées ou de gravier. Elle est souvent utilisée comme couche de base ou de sous-base dans la construction des chaussées en raison de sa résistance aux charges et de sa capacité à drainer l'eau.
- **Enrobé bitumineux** : Aussi appelé asphalte, l'enrobé bitumineux est utilisé comme couche de roulement sur les chaussées. Il offre une surface lisse et résistante qui absorbe les contraintes du trafic et protège les couches inférieures de la chaussée.
- **Béton bitumineux** : Le béton bitumineux est un mélange de granulats minéraux, de sable et de bitume. Il est souvent utilisé pour les chaussées à fort trafic en raison de sa résistance élevée et de sa durabilité.
- **Grave-bitume** : Ce mélange de grave et de bitume est utilisé comme couche de base ou de sous-base dans les chaussées. Il offre une bonne résistance aux charges et une certaine flexibilité pour s'adapter aux mouvements du sol.
- **Sol stabilisé** : Certains sols peuvent être stabilisés à l'aide de liants chimiques ou de ciment pour améliorer leur capacité portante et leur durabilité. Le sol stabilisé est souvent utilisé comme couche de base dans les régions où les matériaux granulaires sont rares.

Géotextiles : Les géotextiles sont des matériaux synthétiques utilisés pour renforcer les sols, contrôler l'érosion et améliorer la stabilité des chaussées. Ils sont souvent utilisés entre les différentes couches de la chaussée pour renforcer la structure et améliorer la performance globale.

En choisissant les bons matériaux et en les combinant de manière appropriée, les ingénieurs peuvent concevoir des chaussées adaptées aux conditions spécifiques du site, assurant ainsi une performance optimale et une durabilité à long terme de l'infrastructure routière.

IV.3. La chaussée

IV.3.1. Définition

Au sens Géométrique : c'est la surface aménagée de la route sur laquelle circule le véhicule.

• **Au sens structurel :** il s'agit de toutes les couches de matériaux empilées de manière à permettre la reprise de charge.

IV.3.2 Différents types de structure de chaussée

Il existe trois types de chaussée :

IV.3.2.1 Chaussée souple

Une chaussée souple est constituée de deux éléments structuraux :

- Sols et matériaux pierreux à granulométrie étalée ou serrée.
- Des liants hydrocarbonés qui assurent la cohésion en créant des liaisons flexibles entre les particules de matériau pierreux.

La chaussée souple se compose généralement de trois couches différentes :

Couche de surface :

Elle est en contact direct avec les pneumatiques des véhicules et les charges extérieures. Elle a pour rôle essentiel d'encaisser les efforts de cisaillement provoqué par la circulation et s'opposer à la pénétration de l'eau. Elle est généralement composée de :

- **Couche de roulement :** qui est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat, son rôle est :

- Assurer la sécurité : la couche doit posséder des propriétés antidérapantes c'est-à-dire Une bonne rugosité.
- Le confort : qui consiste à ne pas ressentir de la vibration excessive ni des secousses brutales ; il est conditionné par la suspension des véhicules et l'uni de la chaussée.
- Imperméabiliser la surface de chaussées ; faire obstacle à la pénétration d'eau.

- **Couche de liaison :** entre les couches d'assise et la couche de roulement, son rôle est d'assurer une transition avec les couches inférieures les plus rigides.

Couche de base :

Pour résister aux déformations permanentes sous l'effet du trafic ainsi lâche du sol, Elle reprend les efforts verticaux et reparti les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes. L'épaisseur de la couche de base varie de 10 à 25 cm.

Couche de fondation

Cette couche assure une bonne capacité portante de la chaussée finie et a également la même fonction que la couche de base.

Couche de forme

Elle est prévue pour répondre à certains objectifs :

Sol rocheux : jouer un rôle de nivellement pour d'aplanir la surface

Sol peu porteur (argileux à teneur en eau élevée) : fournir une portance suffisante pour permettre aux engins de construction de circuler librement

L'épaisseur de la couche de forme est généralement comprise entre 40 et 70 cm

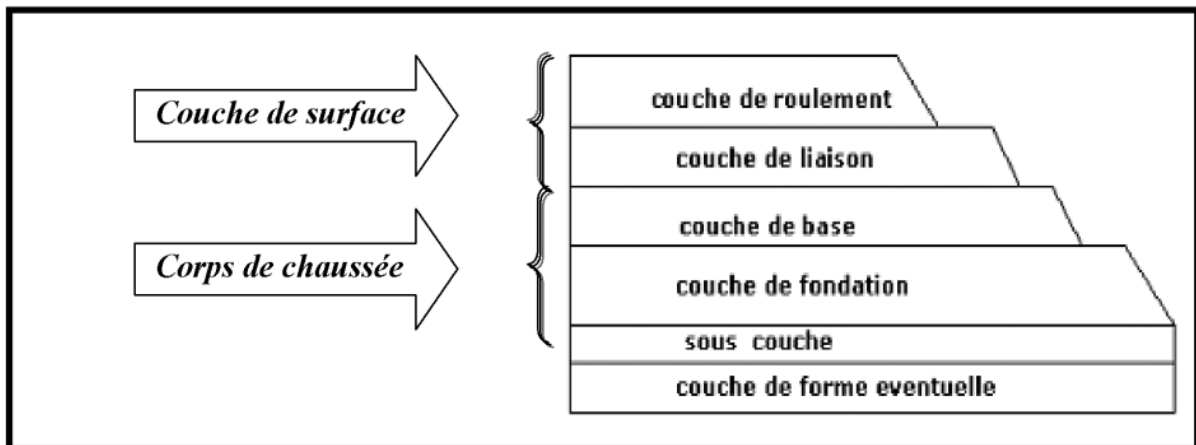


Figure 16 : Coupe type d'une chaussée souple

VI.3.2.2 Chaussée semi-rigide

Nous distinguons :

Les chaussées comportant une couche de base (quelques fois une couche de fondation) est revêtue d'un liant hydraulique (ciment, granulat, etc.). La couche de roulement est enrobée hydrocarbonée, parfois posée à travers d'une couche d'accrochage, elle aussi enrobée et doit être strictement de 15 cm minimums. Ce type de chaussée n'est actuellement qu'en phase expérimentale en Algérie.

Les chaussées comportant une couche de base ou une couche de fondation en sable gypseux.

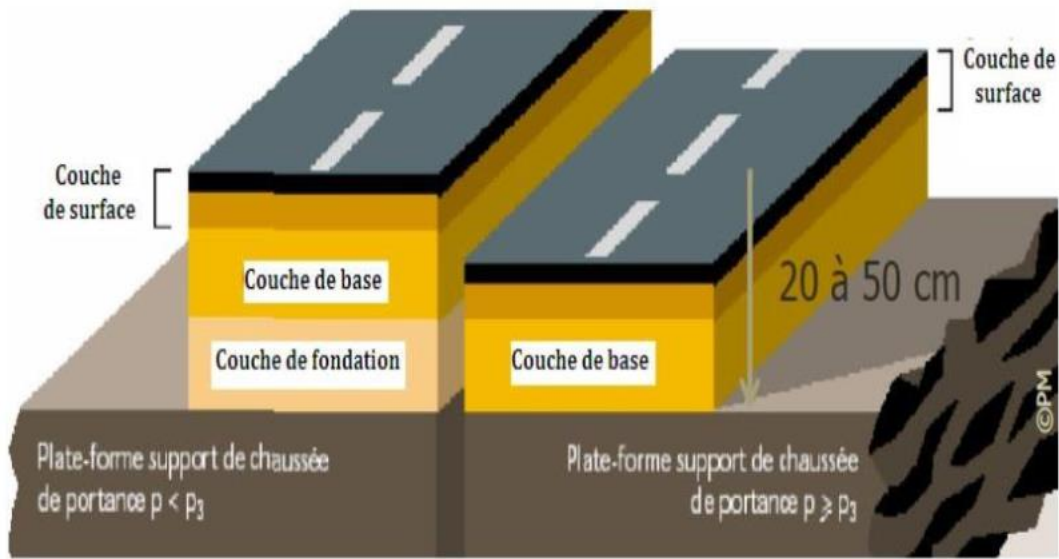


Figure 17 : Structure d'une chaussée semi-rigide

VI.3.2.3 Chaussée rigide

Il se compose d'une dalle de ciment Portland, qui fléchit élastiquement sous la charge, posée sur une fondation mince de sol compacté ou de pierre ou de gravier, ou fixée à une fondation stable.

De telles routes sont quasi inexistantes en Algérie (sauf routes aériennes).

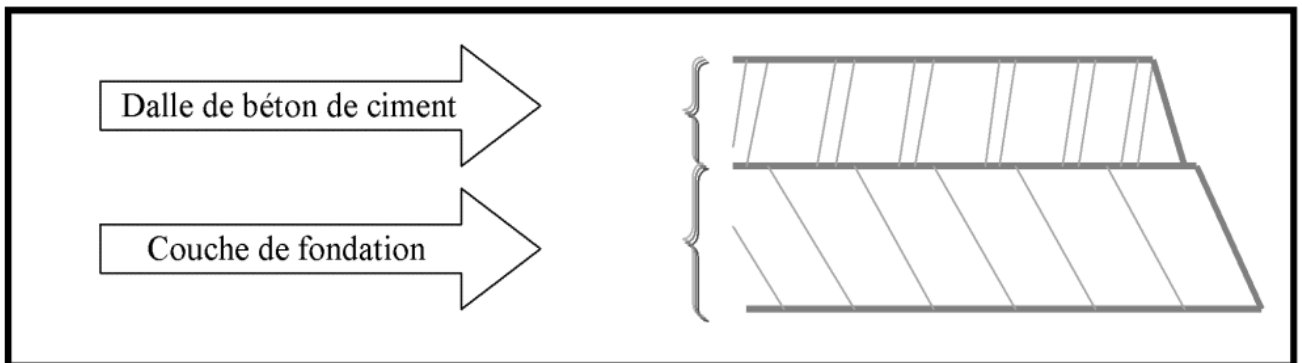


Figure 18 : Coupe type d'une chaussée rigide

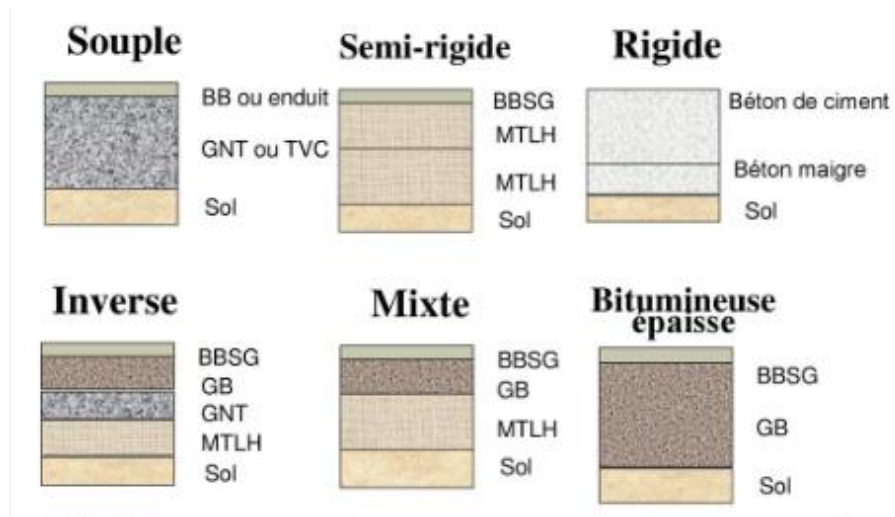


Figure 19 : Schéma récapitulatif des catégories de chaussées

IV.4. Méthodes de dimensionnement des chaussées

Toutes les méthodes existantes de dimensionnement du corps de chaussée s'appuient sur la force portante du sol, le trafic et les caractéristiques mécaniques des matériaux constituant les différentes couches.

Pour le cas de notre projet, nous optons pour l'application de deux méthodes les plus répandues en Algérie, afin d'obtenir le corps de chaussée le plus adéquat à savoir:

- Méthode CBR.
- Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves du CTPP.

IV.4.1. Méthode C.B.R améliorée (California – Bearing – Ratio)

La méthode CBR (California Bearing Ratio) est une approche couramment utilisée pour le dimensionnement des chaussées, en particulier dans le domaine des routes non revêtues. Voici les étapes principales de la méthode CBR :

1. Préparation de l'échantillon du sol : Un échantillon représentatif du sol sur lequel la chaussée sera construite est prélevé et préparé conformément aux normes spécifiques.

2. Essai de laboratoire CBR : L'échantillon de sol est soumis à un essai de laboratoire pour déterminer son indice CBR. Cet essai implique de mesurer la résistance du sol à la pénétration d'un piston standard sous des conditions de chargement et de profondeur spécifiées.

3. Interprétation des résultats : L'indice CBR obtenu à partir de l'essai de laboratoire est utilisé comme indicateur de la capacité portante du sol. Plus l'indice CBR est élevé, meilleure est la capacité portante du sol.

4. Évaluation de la capacité portante : En utilisant l'indice CBR et d'autres paramètres géotechniques, comme l'épaisseur de la chaussée souhaitée et les caractéristiques du trafic prévu, la capacité portante de la chaussée est évaluée.

5. Dimensionnement de la chaussée : En fonction de la capacité portante du sol déterminée par l'indice CBR et d'autres facteurs tels que le trafic et les conditions environnementales, l'épaisseur de la chaussée est calculée à l'aide de méthodes spécifiques ou de graphiques de dimensionnement.

6. Vérification sur le terrain : Dans de nombreux cas, une vérification sur le terrain est effectuée pour confirmer les résultats du dimensionnement et ajuster si nécessaire en fonction des conditions réelles.

L'indice CBR est déterminé en prenant la valeur minimale obtenue à partir de l'immersion de l'échantillon.

Conformément à la théorie de BOUSSINESQ, la stabilité horizontale de la chaussée repose sur la limitation de la répartition verticale des contraintes à une limite proportionnelle à l'indice CBR.

La formule donnée détermine l'épaisseur comme suit :

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{P}}{I_{CBR} + 5}$$

En tenant compte de l'influence du trafic, la formule est la suivante :

$$e = \frac{100 + \sqrt{P} \times (75 + 50 \times \log\left(\frac{N}{10}\right))}{ICBR + 5}$$

I : indice portant C.B.R

N : désigne le nombre moyen de camions pesant plus de 1500 kg à vide.

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

Log : logarithme décimal.

- **Coefficients d'équivalence :**

La notion de l'épaisseur équivalente est introduite pour tenir compte des qualités mécaniques des différentes couches de matériaux par la formule suivants :

$$e = \Sigma a_i e_i$$

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

Tableau 9 : Valeurs des coefficients d'équivalence

L'épaisseur totale à donner à la chaussée est :

$$e = a1. e1 + a2. e2 + a3. e3$$

Tel que :

a1. e1: Couche de roulement ;

a2. e2: Couche de base ;

a3. e3: Couche de fondation.

Où :

a1, a2, a3 : sont des coefficients d'équivalence. ;

e1, e2, e3 : épaisseurs réelles des couches.

Remarque :

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

e1 :couche de roulement (5-8cm) ;

e2 :couche de base (10-25cm) ;

e3 :couche de fondation (15-35cm).

IV.4.2. Méthode des catalogues des structures :

La méthode des catalogues des structures, également connue sous le nom de méthode des guides de conception ou de méthode des catalogues de chaussées, est une approche utilisée pour dimensionner les chaussées en fonction de diverses conditions de trafic, de sol et environnementales. Voici comment elle fonctionne généralement :

1. Collecte des données : Les données sur le trafic, les caractéristiques du sol, les conditions climatiques et d'autres facteurs pertinents sont recueillies pour la zone où la chaussée sera construite.

2. Sélection des structures types : Des catalogues ou guides de conception contiennent une gamme de structures types préétablies, comprenant différents types de matériaux de chaussée, d'épaisseurs et de renforcements. Ces structures types sont sélectionnées en fonction des données recueillies et des recommandations des normes techniques.

3. Application des facteurs de correction : Des facteurs de correction sont appliqués en fonction des caractéristiques spécifiques du site, tels que la catégorie de trafic, la classe de sol, les conditions climatiques, etc. Ces facteurs ajustent les caractéristiques des structures types pour répondre aux exigences spécifiques du projet.

4. Dimensionnement et évaluation : Une fois les structures types sélectionnées et les facteurs de correction appliqués, le dimensionnement et l'évaluation des chaussées sont effectués pour garantir qu'elles répondent aux exigences de performance, de sécurité et de durabilité.

5. Vérification sur le terrain : Après la conception initiale, une vérification sur le terrain peut être effectuée pour confirmer que les structures types et les paramètres de dimensionnement sont appropriés pour les conditions réelles du site.

Cette méthode offre une approche systématique et standardisée pour la conception des chaussées, ce qui facilite la comparaison entre différents projets et la sélection des solutions les plus appropriées en fonction des besoins spécifiques. Elle est largement utilisée dans de nombreux pays pour garantir des normes de qualité et de sécurité élevées dans la construction des routes et autoroutes.

IV.4.2.1. Détermination de la classe de trafic :

La détermination de la classe de trafic est une étape cruciale dans la conception des chaussées, car elle permet de comprendre les caractéristiques et les exigences du trafic qui seront rencontrées sur la route. Voici quelques étapes générales pour déterminer la classe de trafic :

1. Collecte des données de trafic : Recueillir des données sur le volume de trafic, la composition du trafic (types de véhicules), la vitesse moyenne du trafic, les fluctuations saisonnières, les heures de pointe, etc.

2. Analyse du trafic : Analyser les données recueillies pour comprendre les tendances et les caractéristiques du trafic. Cela peut inclure des analyses de distribution des volumes de trafic, des analyses de tendances temporelles et des études de composition du trafic.

3. Classification du trafic : Classer le trafic en différentes catégories en fonction de divers paramètres tels que le volume, la composition, la vitesse, etc. Les classifications typiques incluent le trafic léger, le trafic moyen, le trafic lourd, etc.

4. Détermination de la catégorie de route : En fonction de la classification du trafic, déterminer la catégorie de route correspondante. Par exemple, une route à faible trafic pourrait être classée comme une route locale ou une route de desserte, tandis qu'une autoroute à fort trafic serait classée comme une route principale ou une autoroute.

5. Évaluation des exigences de conception : Une fois la classe de trafic déterminée, évaluer les exigences de conception associées, telles que l'épaisseur de la chaussée, les matériaux de construction, les pentes, les virages, les passages à niveau, etc.

6. Prévion de la croissance du trafic : Prendre en compte les projections de croissance du trafic à long terme pour s'assurer que la conception de la chaussée est adaptée à l'évolution des besoins de circulation.

En utilisant cette approche, les ingénieurs peuvent concevoir des chaussées qui répondent aux exigences spécifiques du trafic prévu, assurant ainsi des routes sûres, durables et efficaces. La détermination précise de la classe de trafic est donc essentielle pour une conception de chaussée réussie.

Et le trafic cumulé est donné par la formule :

$$\mathbf{T_c = T_{pl} = \left[1 + \frac{(1 + r)^{n+1} - 1}{r} \right] 365}$$

T_{pl}: Trafic des poids lourds à l'année de mise en service ;

r : Taux d'accroissement annuel ;

n : durée de vie (n = 10 ans).

- **Calcul du trafic cumulé équivalent TCEi**

Le TCEi correspond au nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes (6.5) sur la durée de vie considérée.

$$TCEi = TCi \times A = TPLi ((1+\tau)^n - 1) \times A$$

Avec :

A : Coefficient d'agressivité des PL par rapport à l'essieu de référence de 13 tonne (6.5).

| | Types de matériaux et structures | Valeurs de A |
|-------------------|--|---------------------|
| RP1 | Chaussées à matériaux traités au bitume : GB/GB, GB/TUF, GB/SG... | 0.6 |
| | Chaussées à matériaux traités aux liants Hydrauliques : GL/GL, Bcg/GC | 1 |
| RP2 | Chaussées à matériaux non traités : GNT/GNT, TUF/TUF, SG/SG, AG/AG | 0.6 |
| | Chaussées à matériaux traits au bitume : SB/SG | 0.4 |
| RP1 et RP2 | Sol support | 0.6 |

Tableau 10 : Valeurs du coefficient d'agressivité A

Avec :

GB : grave bitume, **GL** : grave laitier, **BCG** : béton de ciment goujonné, **SB** : sable bitume, **GNT** : grave non traité, **SG** : sable gypseux, **AG** : arène granitique, **TUF** : encroutement calcaire.

IV.4.2.2. Présentation des classes de portance des sols

Le classement des sols se fait en fonction de l'indice CBR mesuré sur éprouvette compactée à la teneur en eau optimale de Proctor modifié et à la densité maximale correspondante. Après immersion de quatre jours, le classement sera fait d'après le tableau suivant :

| <i>Classe du sol</i> | <i>Indice C.B.R</i> |
|----------------------|---------------------|
| S ₁ | 25 - 40 |
| S ₂ | 10 - 25 |
| S ₃ | 5 - 10 |
| S ₄ | < 5 |

Tableau 11 : Classe du sol avec l'indice C.B.R

Amélioration de la portance du sol support :

Pour améliorer la portance d'un sol (< S₄ en RP2, <S₄ et S₃ en RP1), on a recours aux couches de formes.

Le (CTTP) a fait des recherches sur la variation du CBR selon les différentes épaisseurs de couche de forme, le mode de sa mise en place (nombre de couches) et la nature du matériau utilisé (les plus répandus en Algérie) pour la réalisation de la couche de forme.

Les résultats de ces recherches sont résumés dans tableau suivant :

| Classe portance du sol terrassé (S _i) | Matériaux de couche de forme | Épaisseur de couche de forme | Classe portance du sol support visée (S _j) |
|---|------------------------------|------------------------------|--|
| < S ₄ | Matériau N.T | 50 cm (en 2c) | S ₃ |
| S ₄ | Matériau N.T | 35 cm | S ₃ |
| S ₄ | Matériau N.T | 60 cm (en 2c) | S ₂ |
| S ₃ | Matériau N.T | 40cm (en 2c) | S ₂ |
| S ₃ | Matériau N.T | 70cm (en 2c) | S ₂ |

Tableau 12 : Sur classement avec couche de forme en matériaux non traités. (Source : fascicule 1, CTTP)

- **Détermination de la zone climatique**

Le dimensionnement de corps de chaussée est effectivement réalisé en prenant en compte la température consistance ou température équivalente θ_{eq} . Cette température est calculée en tenant compte des variations de température annuelles pour s'assurer que le corps de chaussée

est dimensionné pour résister aux contraintes thermiques. Le tableau ci-dessous présente la zone climatique et la température équivalente :

| Zone climatique | Température équivalente E _{eq} (C°) | Pluviométrie (mm/an) | Climat | Région |
|-----------------|--|----------------------|--------------------|----------------------|
| Zone I | 20 | > 600 | Très humide | Nord |
| Zone II | 20 | 350 à 600 | Humide | Nord, hauts-plateaux |
| Zone III | 25 | 100 à 350 | Semi-aride | Hauts-plateaux |
| Zone IV | 30 | < 100 | Aride | Sud |

Tableau 13 : Pluviométrie selon les zones climatiques.

IV.4.3. Méthode de dimensionnement des chaussées neuves CTTTP

La méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP) est une approche utilisée pour concevoir et dimensionner les chaussées routières en fonction de divers paramètres tels que le trafic, le sol et le climat. Elle repose sur l'utilisation de catalogues contenant des modèles de chaussées préétablis, ce qui simplifie le processus de conception en fournissant des solutions préconfigurées adaptées aux besoins spécifiques du projet.

La Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves est une méthode rationnelle qui se base sur deux approches :

- Approche théorique.
- Approche empirique.

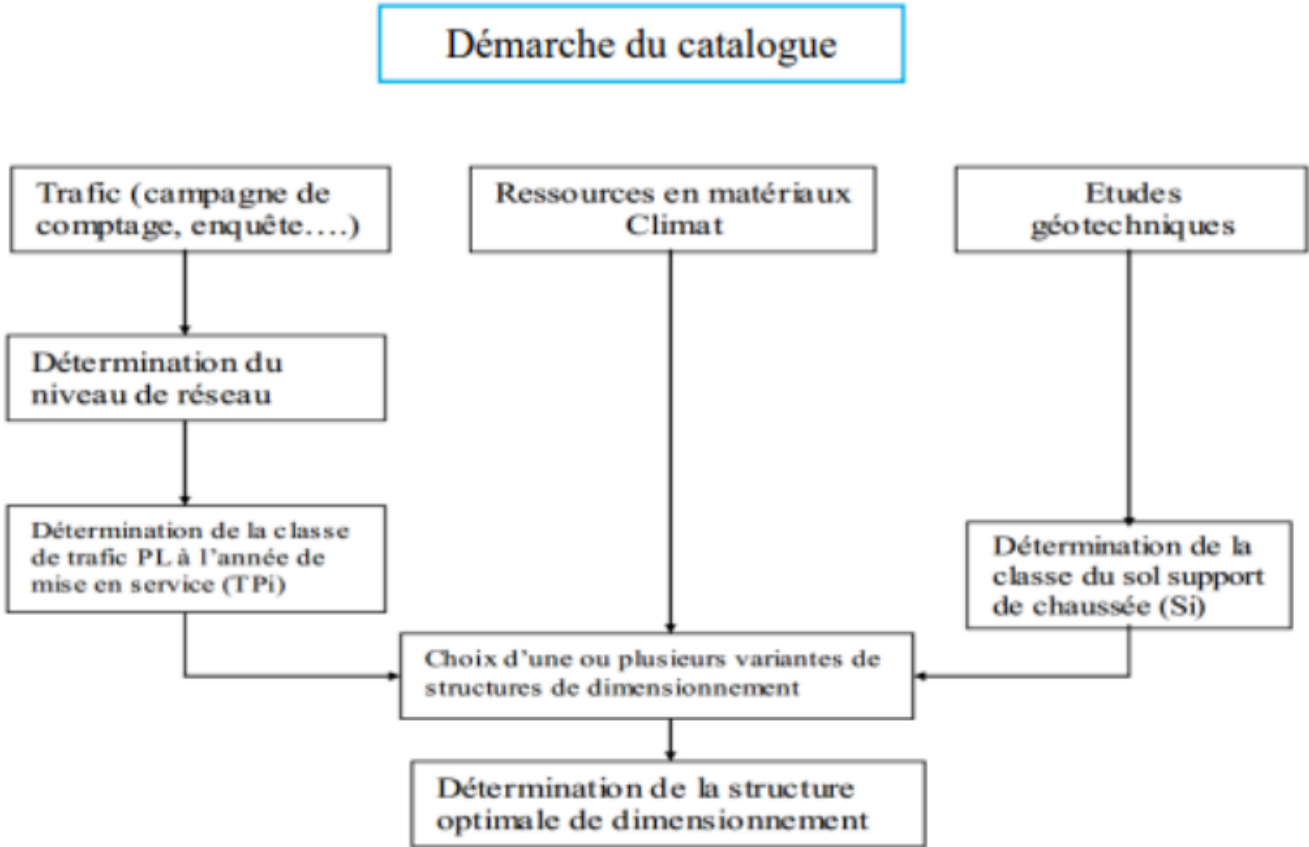


Figure 20 : Démarche de la méthode du catalogue au dimensionnement du corps de chaussée

Cette méthode est proposée par l'organisme Algérien de Contrôle Technique des Travaux Publics CTTTP.

IV.5. Application au projet

IV.5.1. Méthode CBR Améliorée :

On a :

Taux d'accroissement $\tau=4\%$

Le pourcentage de poids lourds $Z=13\%$

$I_{CBR}= 1.79$

$TJMA_{2027}= 30742$ véhicules /jour

$TJMA_{2037}= 45506$ véhicules /jour

$NPL(2027) = 0.5 \times 30742 \times 0.13 = 1999$ PL/j/sens

$NPL(2037) = 1999 \times (1 + 0.04)^{10} = 2959$ PL/j/sens

Nous avons 22297.78camions de plus de 1.5t par jour par sens à l'année horizon.

$$e = \frac{100 + \sqrt{P} \times (75 + 50 \times \log\left(\frac{N}{10}\right))}{\text{ICBR} + 5} = \frac{100 + \sqrt{6.5} \times (75 + 50 \times \log\left(\frac{2959}{10}\right))}{1.79 + 5}$$

$$e \approx 90\text{cm}$$

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

$$e_{\text{éq}} = 2 \times e_1 + 1.5 \times e_2 + 1 \times e_3 = 90\text{cm}$$

On prend :

Couche de roulement en béton bitumineux ($a_1=2$, $e_1=8$)

Couche de base en grave bitume ($a_2= 1.5$, $e_2=20$)

Couche de fondation en grave concassé ($a_3=1$, $e_3= ?$)

$$e_{\text{éq}} = 2 \times 8 + 1.5 \times 20 + 1 \times e_3$$

$$e_3 = 44\text{cm}$$

Donc la structure proposée : 8BB+20GB+42GC

| Couches | Coefficient d'équivalence (cm) | Épaisseur réelle (ci) | Épaisseur finale |
|-----------|--------------------------------|-----------------------|------------------|
| BB | 2 | 8 | 16 |
| GB | 1.5 | 20 | 30 |
| GC | 1 | 42 | 42 |

Tableau 14 : Répartition des épaisseurs des couches de notre chaussée

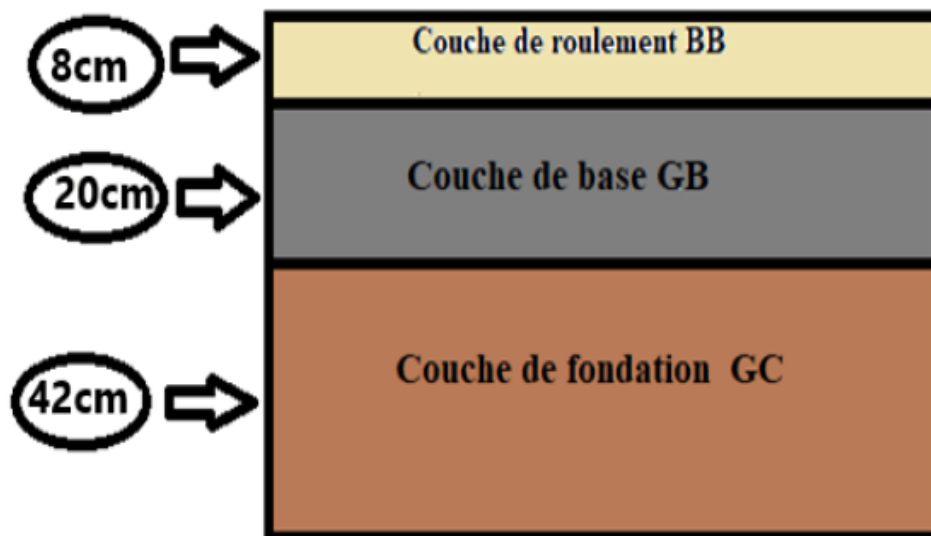


Figure 21 : Corps de chaussée avec la méthode CBR améliorée

IV.5.2. Méthode des catalogues des structures :

Choix du réseau principal :

| Réseau principal | Trafic (véhicule/jour/sens) |
|------------------|-----------------------------|
| RP1 | >1500 |
| RP2 | <1500 |

Tableau 15 : Classification des réseaux principaux.

Dans notre cas, on a :

$TJMA_{2027} = 30742 \text{ v/j} > 1500 \text{ v/j}$; Donc : le réseau principal est **RP1**.

Détermination de la classe du trafic (TPLi) :

$TJMA_{2027} = 30742 \text{ v/j}$.

$TJMA_{2027} = 0.5 \times 30742 = 10371 \text{ v/j/sens}$.

$TPL_{2027} = 0.13 \times 10371 = 1349 \text{ PL/J/sens}$.

Nous avons une Chaussée unidirectionnelle à 3 voies. D'après le catalogue du dimensionnement, la répartition du poids lourds est de 80% sur la voie lente de droite.

Donc :

$$T_{PL2027} = 0.8 \times 6874.7 = 1080 \text{ PL/J/senssur la VPC.}$$

| Classe de Trafic R _{Pi} | | TPL0 | TPL1 | TPL2 | TPL3 | TPL4 | TPL5 | TPL6 | TPL7 |
|----------------------------------|--------------|-----------|----------------|-----------------|-----------------|------|-----------------|-----------------|------------------|
| | | PI/J/sens | RP1 | | | | 150 à 300 | 300 à 600 | 600 à 1600 |
| RP2 | 0 à 50 | | 50 à 100 | 100 à 150 | 150 à 300 | | | | |

Tableau 16 : Classes de TPL_i pour RP1. (Source : C.T.T.P).

D'après les résultats trouvés, notre trafic est classé en **TPL5**.

- **Détermination de la portance du sol-support de la chaussée**

La classe du sol dépend de l'indice CBR, c'est à partir de sa valeur qu'on détermine la classe de notre sol.

Dans notre projet, on a :

ICBR=1.79, donc c'est un sol de classe S4.

Pour notre cas, on a une mauvaise portance, donc le sol support doit être amélioré

- **Sur classement des sols support de chaussée**

| Portance de sol | Matériau de CF | Epaisseur de CF | Portance visée |
|-----------------|-------------------|------------------------|----------------|
| <S4 | Non Traité | 50cm (2 couches) | S3 |
| S4 | Non traité | 35 cm | S3 |
| S4 | Non traité | 60cm (2couches) | S2 |
| S3 | Non traité | 40 cm (2 couches) | S2 |
| S3 | Non traité | 70 cm (2 couches) | S2 |

Tableau 17 : Epaisseurs de la couche de forme. (C.T.T.P).

Selon le tableau ci-dessus, est proposée une couche de forme d'épaisseur de 60 cm

La classe de portance de notre sol-support est **S4** :

La portance du sol support doit être au moins de **50 MPA**, la classe de portance visée est **S2(CBR 10-25)**, le passage de **S4** à **S2** nécessite la mise en place d'une couche de forme en TVO ou en TUF de 60 cm (en deux couches).

Donc nous optons pour une couche de forme de 60 cm d'épaisseur en 2 couches de TUF, ce qui nous permet de passer à une portance du sol de classe S2.

$$E = 5 \times \text{ICBR} = 5 \times 10 = 50 \text{MPa.}$$

| Classe de portance de sol terrassé | Matériaux de couche de forme | Epaisseur des matériaux de couche de forme | Classe de portance de sol-support visée |
|------------------------------------|------------------------------|--|---|
| S4 | Matériaux non traités. | 60 cm en (2 couches) | S2 |

Tableau 18 : Caractéristique de la couche de forme choisie

Le catalogue Algérien (fascicule 3) nous propose la structure suivante :

| TPLi PL/j/sens | Si | S2 | S1 | S0 |
|-------------------|----|--------|---------|---------|
| | | 50 MPa | 125 MPa | 200 MPa |
| 6000 TPL7 | | | | |
| 3000 TPL6 | | | | |
| 1500 TPL5 | | | | |
| 600 TPL4 | | | | |
| 300 TPL3 | | | | |

Tableau 19 : Structure de chaussée de notre projet d'après le CTPP-fascicule3

Les résultats déduits de la méthode de dimensionnement des chaussées neuves, sont comme suit :

- Couche de roulement en béton bitumineux : BB = 6 cm ;

- Couche de base en grave bitume : GB = 20 cm ;

- Couche de fondation en grave non traité : GNT = 30 cm ;

- Couche de forme en Tuf de 60cm d'épaisseur (en 2 couches).

$$6BB + 20GB + 30GNT + 60 TUF$$

ϵ_t : étant la déformation de traction par flexion à la base des matériaux traités au bitume.

ϵ_z : (sol) étant la déformation verticale sur le sol support.

Calcul du trafic cumulé équivalent TCEi :

Le TCi est le trafic cumulé de PL sur la période considérée pour le dimensionnement (durée de vie). Il est donné par la formule suivante :

$$TCEi = A \times TPLi \times 365 \times \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

A : Coefficient d'agressivité des PL par rapport à l'essieu de référence de 13 tonnes.

n : durée de vie de la route 10 ans.

r : Taux de croissance du trafic $r = 4\%$.

D'après le tableau 11 du fascicule 2 qui donne les valeurs du coefficient d'agressivité A, comme on a un réseau principal RP1 et une chaussée à matériaux traités au bitume GB/GC, GB/TUF, GB/GC, notre coefficient d'agressivité A = 0.6.

$$TCEi = A \times TPLi \times 365 \times \frac{(1 + r)^n - 1}{r} = 0.6 \times 1080 \times 365 \times \frac{(1 + 0.04)^{10} - 1}{0.04}$$

$$TCEi = 2.83 \times 10^6 \text{ PL/J/sens sur VPC (essieux 13t)}$$

Calcul de la déformation admissible (ϵ_z , **adm**) sur le sol support :

La valeur admissible est donnée par la relation empirique déduite à partir d'une étude statique de comportement des chaussées algériennes :

$$\epsilon_z, adm = 22 \times 10^{-3} \times TCEi^{-0.235}$$

$$\epsilon_z, adm = 22 \times 10^{-3} \times (2.83 \times 10^6)^{-0.235}$$

$$\epsilon_z, adm = 670 \times 10^{-6}$$

Calcul des déformations admissibles (ϵ_t , adm) :

$$\epsilon_t, adm = \epsilon_6 (10^\circ C, 25Hz) \times Kne \times K\theta \times Kr \times Kc$$

- $\epsilon_6 10^{-6} (10^\circ C, 25Hz)$: Déformation limitée à 106 cycles
- Kne : Facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents supporté par la chaussée
- $K\theta$: Facteur lié à la température ;
- Kr : Facteur lié au risque et aux dispersions ;
- Kc : Facteur lié au

Calage=1.3. On a :

$$Kne = \left(\frac{TCEi}{10^6}\right)^b; \quad Kr = 10^{-tb\delta} \delta = \sqrt{(Sn)^2 + \left(\frac{C}{b}Sh\right)^2}; \quad K\theta = \sqrt{\frac{E(10^\circ C)}{E(\theta_{eq})}};$$

b : pente de la droite de fatigue ($b < 0$) égale à -0.146.

E (10°c) : module complexe du matériau bitumineux à 10°C.

E (θ_{eq}) : module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente qui est fonction de la zone climatique considérée.

SN : dispersion sur la loi de fatigue.

Sh : dispersion sur les épaisseurs.

C : coefficient égale à 0.02.

D'où :

$$\epsilon_t, adm = \epsilon_6 (10^\circ C, 25Hz) \times \left(\frac{TCEi}{10^6}\right)^b \times \sqrt{\frac{E(10^\circ C)}{E(\theta_{eq})}} \times 10^{-tb\delta} \times Kc$$

Caractéristiques mécaniques des matériaux :

Les performances mécaniques sont données dans le tableau 13 (fascicule 2) :

| Matériaux | E (30°, 10HZ) (MPa) | E (25°, 10HZ) (MPa) | E (20°, 10HZ) (MPa) | E (10°, 10HZ) (MPa) | $\epsilon_6 (10^\circ, 25HZ) 10^{-6}$ | -1/b | SN | SH | v | Kc |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------|------|------|-----|------|-----|
| BB | 2500 | 3500 | 4000 | - | - | - | - | - | 0.35 | - |
| GB | 3500 | 5500 | 7000 | 12500 | 100 | 6.84 | 0.45 | 3 | 0.35 | 1.3 |
| SB | 1500 | - | - | 3000 | 245 | 7.63 | 0.68 | 2.5 | 0.45 | 1.3 |

Tableau 20 : Performances mécaniques des matériaux bitumineux

$$\varepsilon_6 (10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) = 100$$

$$E(10^\circ\text{C}) = 12500 ; E(\theta_{eq}) = E(20^\circ, 10\text{Hz}) (\text{MPa}) = 7000$$

$$\frac{-1}{b} = 6.84 \quad b = -0.14$$

$$\text{SN} = 0.45 \quad ; \quad \text{SH} = 3$$

Résume les différents paramètres de performances mécaniques des matériaux bitumineux

| Matériaux | E (20°, 10HZ) (MPa) | E (10°, 10HZ) (MPa) | $\varepsilon_6 (10^\circ, 25\text{Hz}) 10^{-6}$ | b | SN | SH | C | v | T | Kc |
|-----------|---------------------|---------------------|---|-------|------|----|------|------|-------|-----|
| GB | 7000 | 12500 | 100 | -0.14 | 0.45 | 3 | 0.02 | 0.35 | 1,282 | 1.3 |

$$K_{ne} = \left(\frac{TCEi}{10^6}\right)^b = \left(\frac{2,83 \times 10^6}{10^6}\right)^{-0,14} = 0.86 ; K_\theta = \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta_{eq})}} = \sqrt{\frac{12500}{7000}} = 1.78$$

$$K_r = 10^{-tb\delta} = 10^{-(1.282 \times -0.14 \times 0.62)} = 1.67$$

$$\delta = \sqrt{(Sn)^2 + \left(\frac{C}{b} Sh\right)^2} = \sqrt{(0.45)^2 + \left(\frac{0.02}{-0.14} \times 3\right)^2} = 0.62$$

$$\varepsilon_{t,adm} = 100 \times 10^{-6} \times 0.86 \times 1.78 \times 1.67 \times 1.3$$

$$\varepsilon_{t,adm} = 332 \times 10^{-6}$$

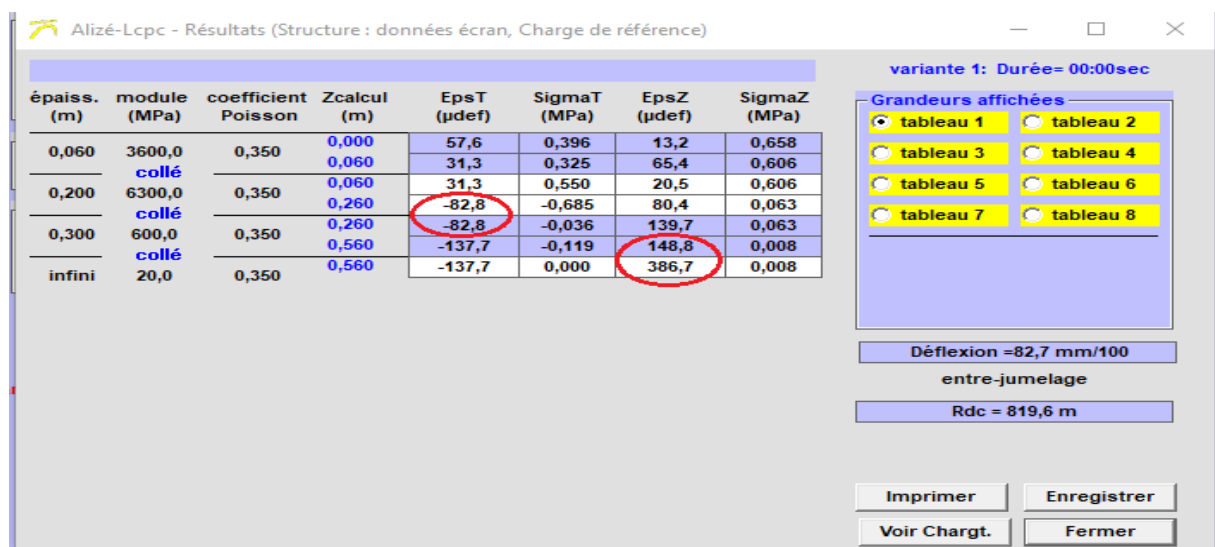


Figure 22 : résultat du logiciel ALIZIE

- Résultat de logiciel ALIZIE

$\begin{cases} \varepsilon_z = 386.7 \times 10^{-6} < \varepsilon_{z, adm} = 670 \times 10^{-6} \\ \varepsilon_t = -82.8 \times 10^{-6} < \varepsilon_{t, adm} = 332 \times 10^{-6} \end{cases}$ Condition vérifiée \longrightarrow **Donc notre structure est vérifiée.**

IV.6. Conclusion

Les méthodes CBR et CTPP nous fournissent les résultats suivants :

- Méthode CBR Améliorée : 8BB+20GB+42GNT
- Méthode CTPP : 6cm BB+20cm GB+ 30cm GNT + 60cm TUF

La méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves est une méthode qui s'appuie sur des lois de comportement de la structure et qui prend en considération les paramètres du trafic, le climat et des matériaux ainsi que les normes de vigueur en Algérie, donc nous avons décidé d'adopter le corps de chaussée avec les épaisseurs données par cette

6BB + 20 GB + 30 GB + 60 TUF

méthode, et après vérification des déformations et comparaison avec les valeurs admissibles, la structure retenue est :

Chapitre V

Caractéristique géométriques

V.1. Introduction

Les caractéristiques géométriques des infrastructures routières sont des éléments essentiels dans la conception, la construction et la gestion des routes. Elles désignent l'ensemble des paramètres techniques qui définissent la forme, les dimensions et la structure d'une route, influençant directement la sécurité des usagers, la fluidité de la circulation, ainsi que le confort des conducteurs et des passagers. Ces caractéristiques incluent le tracé en plan (courbes, tangentes), le profil en long (pentes, rampes), les rayons de courbure, la largeur de la chaussée, la super élévation dans les courbes, et la visibilité.

La conception géométrique d'une route doit respecter des normes strictes, adaptées aux types de véhicules qui emprunteront l'infrastructure, à la vitesse de circulation prévue, ainsi qu'à l'environnement naturel et aux contraintes topographiques. Ces critères sont déterminants pour assurer la sécurité routière, car ils permettent d'éviter des configurations potentiellement dangereuses telles que des courbes trop serrées, des pentes trop abruptes ou une visibilité insuffisante, qui pourraient augmenter le risque d'accidents.

V.2. Présentation brève du logiciel PISTE

Parmi les logiciels existants dans le domaine des travaux publics adapté à la conception des ouvrages linéaires tel que les tracés routiers, on trouve le logiciel PISTE

C'est un outil de base pour les bureaux d'études devant concevoir des projets linéaires de génie civil, depuis le simple chemin de remembrement jusqu'au projet autoroutier, en passant par les projets de renforcement de chaussées existantes. Sa souplesse lui permet en outre, de pouvoir traiter toutes les études modélisables par profils en travers (canaux, digues, barrages, voies ferrées, travaux aéroportuaires, tranchées...).

V.3. Trace en plan

V.3.1. Définition

La définition du tracé en plan est une étape clé dans la conception d'une route ou d'une infrastructure linéaire. Elle consiste à définir la géométrie horizontale de la voie, c'est-à-dire son itinéraire vu du dessus, sur un plan. Cela inclut les courbes, les tangentes, et les raccordements nécessaires pour respecter à la fois les contraintes du terrain et les normes de sécurité. Un bon tracé en plan assure à la fois le confort des usagers, la sécurité routière, et la réduction des coûts de construction (en limitant par exemple les volumes de déblais/remblais).

V.3.2. Règles à respecter dans le tracé en plan

Pour une bonne conception de tracé en plan, il est recommandé de s'aligner les courbes de niveau au maximum utiliser des grands rayons si l'état du terrain le permet de respecter la longueur minimale des alignements droits si c'est possible.

Se raccorder sur les réseaux existants.

Eviter de passer sur les terrains agricoles si possibles et surtout les arboricoles.

Eviter le franchissement des oueds afin d'éviter la construction des ouvrages d'art sinon on essaie de les franchir perpendiculairement pour minimiser les couts.

V.3.3. Eléments du tracé en plan

Les éléments du tracé en plan sont les suivants :

- ✓ Des droites (alignements).
- ✓ Des arcs de cercle.
- ✓ Courbes de raccordement de courbures progressives (clothoïdes).

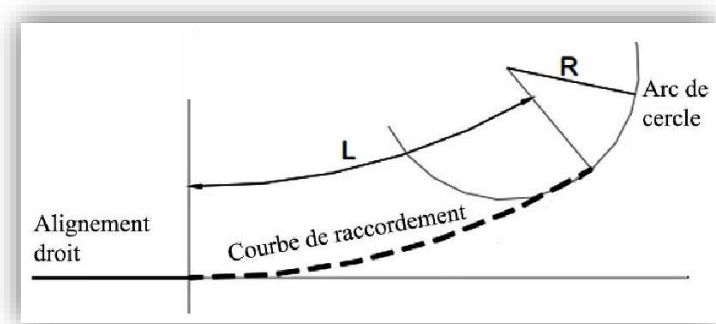


Figure 23 : Eléments du tracé en plan

V.3.3.1 Alignements (droites)

La longueur des alignements dépend de la vitesse de base (V_b).

- **La longueur minimale L_{min}** : est celle qui sépare deux courbes circulaires de même sens, elle correspond à un chemin parcouru durant un temps de 5 secondes à la vitesse maximale permise par le plus grand rayon de deux arcs de cercles.

$$L_{min} = T \times \frac{V_b}{3.6}$$

V_b : vitesse de base = 100km/h.

T : temps égal à 5 secondes.

$$L_{min} = 5 \times \frac{100}{3.6} = 139m$$

- **La longueur maximale L_{max}** : prise égale à la distance parcourue pendant 60 secondes.

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

$$L_{max} = 60 \times \frac{100}{3.6} = 1667m$$

V.3.3.2 Arcs de cercle

Trois éléments interviennent pour limiter la courbe tels que ; stabilités des véhicules en courbe ; visibilité en courbe et inscription des véhicules longs dans les rayons faibles.

Le dimensionnement du rayon du tracé en plan et des dévers correspondant est lié à :

- La dynamique des véhicules.
- Conditions de contact pneu/chaussée (stabilité).
- Confort de l'utilisateur.

V.3.3.2.1 Stabilité des véhicules en courbe

Dans une courbe de rayon **R**, de dévers **d**, un véhicule de masse **m** circulant à la vitesse **v**, est sollicité par une **force centrifuge** donnée par la formule ci-dessous :

$$F_c = \frac{mv^2}{R}$$

Afin de réduire l'effet de cette force (éviter le phénomène de dérapage), la chaussée est inclinée transversalement (dévers) vers l'intérieur du virage (exprimé par sa tangente).

d: dévers, selon la B-40 :

F : force centrifuge.

P : poids de véhicule.

f_t: coefficient de frottement transversale :

| Vitesse de base V_b (km/h) | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|
| f_t | 0.20 | 0.16 | 0.13 | 0.11 | 0.10 |

Tableau 21: Valeurs du coefficient de frottement transversal.

$d_{max} = 7\%$ pour les catégories (1– 2).

$d_{max} = 8\%$ pour les catégories (3– 4).

$d_{max} = 9\%$ pour la catégorie 5.

a. Rayon minimal admissible

$$R = \frac{V_b^2}{127(d + f_t)}$$

b. Rayon minimum absolu (R_{Hm}):

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

$$R_{Hm} = \frac{100^2}{127 \times (0.07 + 0.11)} = 437,44m$$

c. Rayon minimal normal (R_{HN}) :

$$R_{HN} = R_{Hm}(v_b + 20)$$

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

$$R_{HN} = \frac{(100 + 20)^2}{127 \times (0,07 + 0,11)} = 630m$$

d. Rayon au dévers minimum (R_{Hd}) :

On ale dévers associé

$d_{min} = 2.5\%$ en catégorie 1-2

$d_{min} = 3\%$ en catégorie 3-4

$$R_{Hd} = \frac{v_b^2}{127(2 \times d_{min})}$$

$$R_{Hd} = \frac{100^2}{127(2 \times 0,025)} = 1575m$$

e. Rayon non déversé (R_{Hnd}) :

Si le rayon est très grand, la route conserve son profil en toi et le divers est négatif pour l'un des sens de circulation, le rayon minimal qui permet cette disposition est le rayon minimal non déversé (R_{Hnd}).

Pour les catégories 1 et 2 on a

$$R_{Hnd} = \frac{v_b^2}{127(0,035)}$$

Pour les catégories 3 et 4 et 5 on a

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

Nous c'est la catégorie c1 donc

$$R_{Hnd} = \frac{100^2}{127(0,035)} = 2250m$$

V.3.4 Règles pour l'utilisation des rayons en plan

1. On essaye de choisir le plus grand rayon possible en évitant de descendre en dessous du rayon minimum préconisé.
2. Il n'y a aucun rayon inférieur à R_{Hm} . On utilise autant que possible des valeurs de rayons $\geq R_{HN}$.
3. Les rayons compris entre R_{Hm} et R_{Hd} sont déversés avec un dévers interpolé linéairement en $1/R$ et arrondi à 0,5 % près
 - Entre d_{max} et d (R_{HN}) si $R_{Hm} < R < R_{HN}$.

$$d = d_{max} + \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_{Hm}} \right) \frac{d_{max} - d_{RHN}}{\frac{1}{R_{Hm}} - \frac{1}{R_{HN}}}$$

- Entre d (R_{HN}) et d_{min} si $R_{HN} < R < R_{Hd}$.

$$d = d_{mim} + \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{RHd} \right) \frac{d_{min} - d_{RHN}}{\frac{1}{RHd} - \frac{1}{RHN}}$$

Tout arc de tracé de longueur supérieure à 400 m présentant simultanément $RH > 1.400$ m et $RV > 10.000$ m (angle saillant) est assimilé à un grand alignement. Aux extrémités d'un tel arc les véhicules rapides peuvent atteindre $Vb + 40$ (limitée à 140 Km/h). Aux extrémités d'un grand alignement droit, on prévoira des arcs de rayons en plan au moins égaux à $RHm (Vb + 40)$ sans dépasser RHm .

Pour notre cas, notre projet se situe dans un environnement E1 et classé en catégorie 1 (C1) avec une vitesse de base $Vb=100$ km/h, le règlement (B40) préconise les rayons suivants pour

- Une vitesse de base de 80km/h :

| Paramètres | Symboles | Valeurs b40 | Valeurs calculés |
|---------------------------------|------------|-------------|------------------|
| Vitesse (Km /h) | Vb | 100 | 100 |
| Rayon horizontal min (m) | RHm (7%) | 450 | 437,44 |
| Rayon horizontal normal (m) | RHn (5%) | 650 | 630 |
| Rayon horizontal déversé (m) | RHd (2.5%) | 1600 | 1575 |
| Rayon horizontal non déversé(m) | RHd (2.5%) | 2200 | 2250 |

Tableau 22 : : valeurs des différents rayons calculés et ce donnés par le B40

V.3.3.2.2 Visibilité en courbe

Pour avoir une bonne visibilité dans les courbes, on essaie de choisir des rayons les plus grands que possibles afin d'éviter de descendre en dessous du rayon minimum.

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

La surlargeur est calculée par la formule ci-après :

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

L : la longueur du véhicule (valeur standard de 10 m).

V.3.3.3 Courbes de raccordement progressives (clothoïdes)

Le passage de l'alignement droit au cercle ne peut se faire brutalement, mais progressivement (courbe dont la courbure croît linéairement de R qui tend vers l'infini jusqu'à R= constant), pour assurer :

- La stabilité transversale de véhicule.
 - Le confort des passagers de véhicule.
 - La transition de la chaussée.
 - Le tracé élégant, souple, fluide, optiquement et esthétiquement satisfaisant.
- a. Expression de la clothoïde** : Une clothoïde est une courbe plane dont la courbure en un point est proportionnelle à l'abscisse curviligne du point. Elle est définie par :

$$A = \sqrt{RL}$$

C'est-à-dire que pour le paramètre A choisi, le produit de la longueur L et du rayon R, est constant.

b. Éléments de la clothoïde :

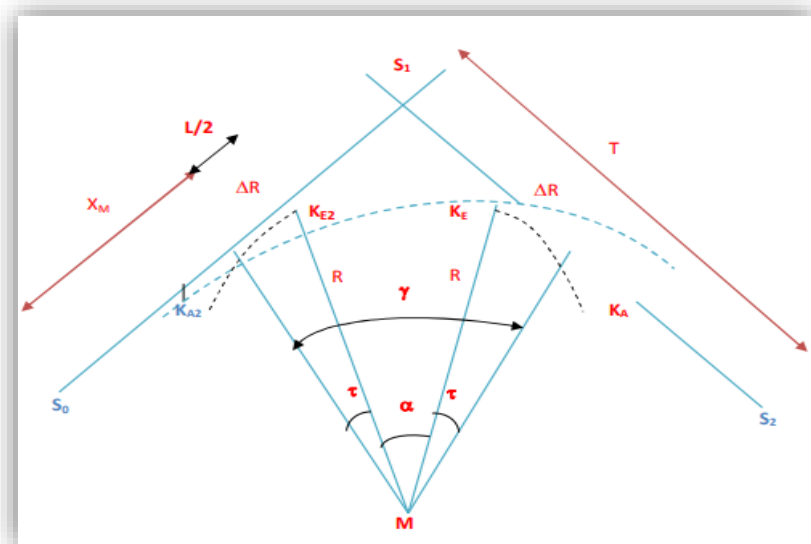


Figure 24 : Les éléments de la clothoïde

- **A** : paramètre de la clothoïde.
- **M** : centre de cercle.
- **R** : rayon de cercle.
- **KA** : origine de clothoïde.

- K_E : extrémité de la clothoïde.
- L : longueur de la branche de la clothoïde.
- ΔR : mesure de décalage entre l'élément droit de l'arc du cercle (le ripage).
- X_m : abscisse du centre du cercle.
- τ : angle des tangentes.
- X : abscisse de K_E .
- Y : origine de K_E .
- T_K : tangente courte.
- T_L : tangente longue.
- S_L : corde (K_A-K_E).
- σ : angle polaire (angle de corde avec la tangente).

c. Conditions de raccordement :

Le choix du paramètre A de la clothoïde doit respecter les trois conditions, qui nous permet de fixer la longueur minimale de raccordement, qui sont :

C'est une condition qui permet d'assurer à l'utilisateur une vue satisfaisante de la route et de ses obstacles éventuels. L'orientation de la tangente doit être supérieure à 3° pour être perceptible à l'œil.

On a :

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

$$\tau = L/2R > 1/18 \text{ rad} \quad L \geq R/9 \quad \text{soit} \quad A \geq R/3 \quad R/3 \leq A \leq R$$

Règles générale B40

- Pour $R < 1500 \Rightarrow \Delta R = 1\text{m}$ (éventuellement 0.5m) d'où $L = (24 R \Delta R)^{1/2}$
- Pour $1500 < R < 5000 \text{ m}$ $\tau = 3^\circ$ c'est-à-dire $L = R/9$
- Pour $R > 5000 \Rightarrow \Delta R$ limité à 2.5m soit $L = 7.75(R)^{1/2}$

d. Condition de confort dynamique

Cette condition consiste à limiter le temps de parcours d'un raccordement et la variation par unité de temps de l'accélération transversale d'un véhicule, La variation de l'accélération transversale est :

$$V_b^2 / (R - g \cdot \Delta d)$$

Ce dernier est limité à une fraction de l'accélération de pesanteur :

$$Kg = 1/0.2V_b$$

Avec :

V_b : vitesse de base (Km/h)

R : rayon en mètre (m)

Δd: la variation de divers ($\Delta d = d_{\text{final}} - d_{\text{init}}$) (%)

D'où :

$$L(m) \geq (V_b^2 / 18) ((V_b^2 / 127R) - \Delta d)$$

Condition de gauchissement

La demi- chaussée extérieure au virage de C.R est une surface gauche qui imprime un mouvement de balancement au véhicule le raccordement doit assurer un aspect satisfaisant dans les zones de variation de dévers. A cet effet on limite la pente relative de profil en long du bord de la chaussée déversé et de son axe de tel sorte $\Delta p < 0.5/V_b$.

Nous avons :

$$L = l. \Delta d. V_b$$

- **L** : longueur de raccordement.
- **V_r** : vitesse de référence (vitesse de base) en (km/h).
- **l** : largeur de la chaussée.
- **Δd**: variation de dévers.

V.3.5 Construction du terrain

1. Fond de plan (TEP)

- **Le nuage des points du terrain**

- ✓ Ouvrir le logiciel piste5 ⇒ fichier ⇒ nouveau ⇒ fond de plan (TPL) ⇒ ok ⇒ nommé le fichier ⇒ ok.
- ✓ Fichier ⇒ lire ⇒ levé topo ⇒ ok.

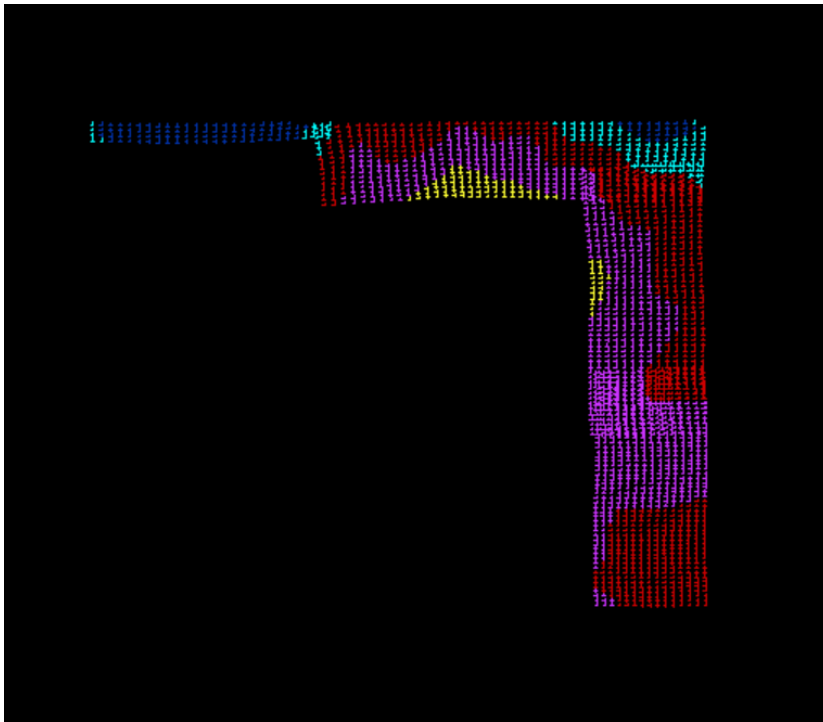


Figure 25 : Levé topographique de notre projet

- **Triangulation du terrain**

✓ Calcul ⇒triangler ⇒ok ⇒ok.



Figure 26 : Triangulation du levé topographique.

- **Courbe de niveau**

✓ Calcul \Rightarrow courbe de niveau \Rightarrow ok \Rightarrow ok.

- **Point haut et bas**

✓ Calcul \Rightarrow point haut et bas \Rightarrow ok.

2. Axe en plan

✓ Fichier \Rightarrow nouveau \Rightarrow conception plane \Rightarrow ouvrir \Rightarrow ok.

✓ Fichier \Rightarrow fond de plan \Rightarrow ouvrir \Rightarrow bouton droit \Rightarrow zoom tout.

- **Points**

✓ Elément \Rightarrow points \Rightarrow nom d'élément : écrire **POI P1** (en bas de la page de terrain) \Rightarrow graphiquement, on sélectionne le premier point sur le graphique exécuté.

✓ Elément \Rightarrow point \Rightarrow nom d'élément : en bas de la page de terrain \Rightarrow **POI P2** \Rightarrow graphiquement, on sélectionne le 2^{ème} point sur le graphe exécuté.

Ainsi de suite pour les autres points jusqu'à la fin de tracé.

- **Droites (liaison entre deux points)**

✓ Elément \Rightarrow droite \Rightarrow nom d'élément : on donne un nom pour la droite en bas de graphe **DRO D1 P1 P2** \Rightarrow entrer.

Même étapes pour les autres droites.

- **Cercles (deux droites et un rayon) :**

On détermine d'abord le rayon.

- **Rayon**

✓ Elément \Rightarrow distance en bas du graphe : **DIS R1** \Rightarrow entrer.

On détermine un autre rayon s'il existe en tenant compte le signe.

Et on passe aux cercles.

✓ Elément \Rightarrow cercle : on écrit en bas du graphe **CER C1 D1 D2 R1** \Rightarrow exécuter.

Même étapes pour les autres cercles.

- **Liaison**

- ✓ On introduit d'abord les valeurs de clothoïde de chaque rayon en bas de graphe
DIS A1 R1/3.

Puis :

- ✓ Élément ⇒ liaison ⇒ nom de d'élément : en donne un nom en bas de graphe
L1 D1 D2 PARA A1 R1.

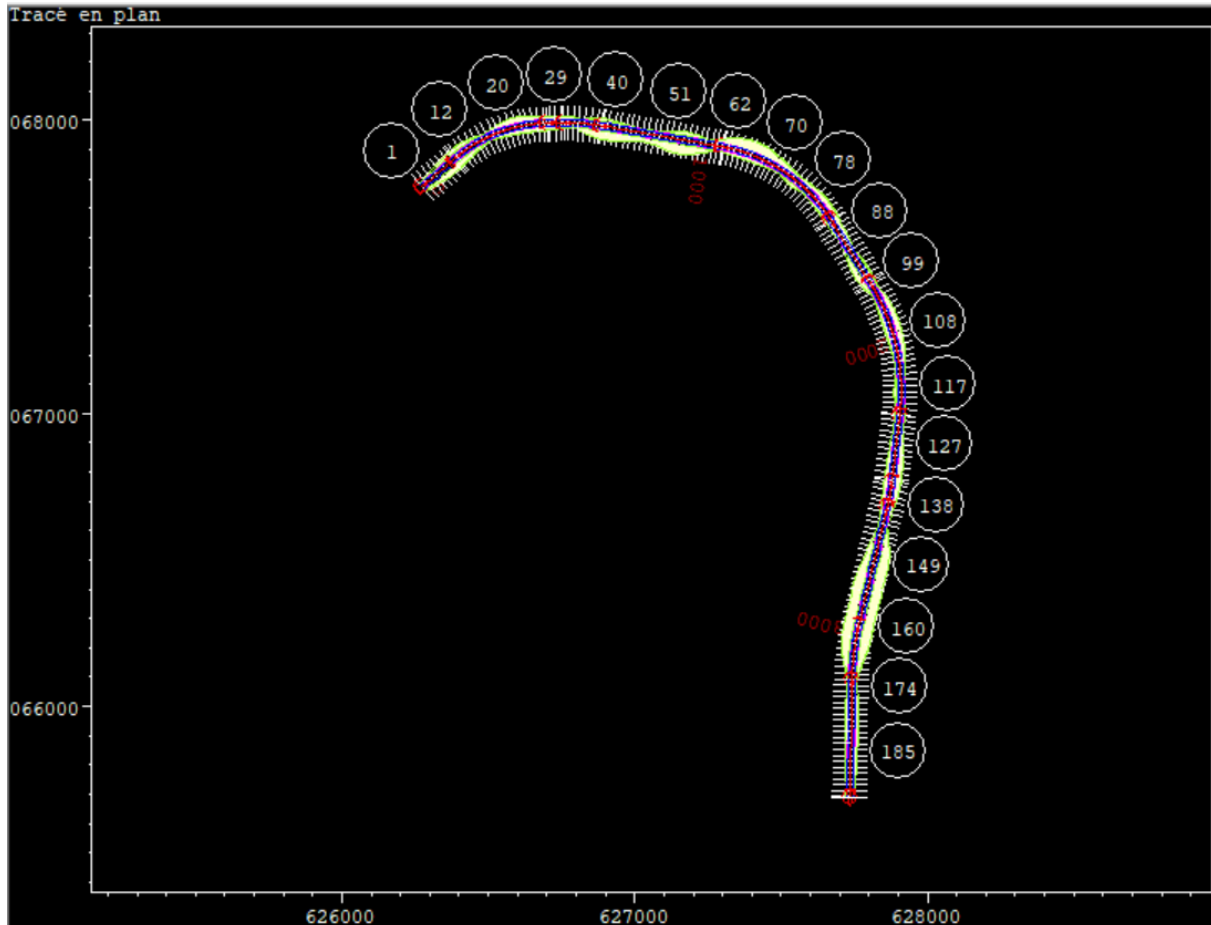


Figure 27 : Tracé en plan de présent projet.

- **Construction de l'axe**

- ✓ Élément ⇒ axe ⇒ nom d'élément **AXE1** ⇒ point : on clique sur le point **P1** ⇒ fin auto ⇒ exécuter : on aura notre axe rouge.

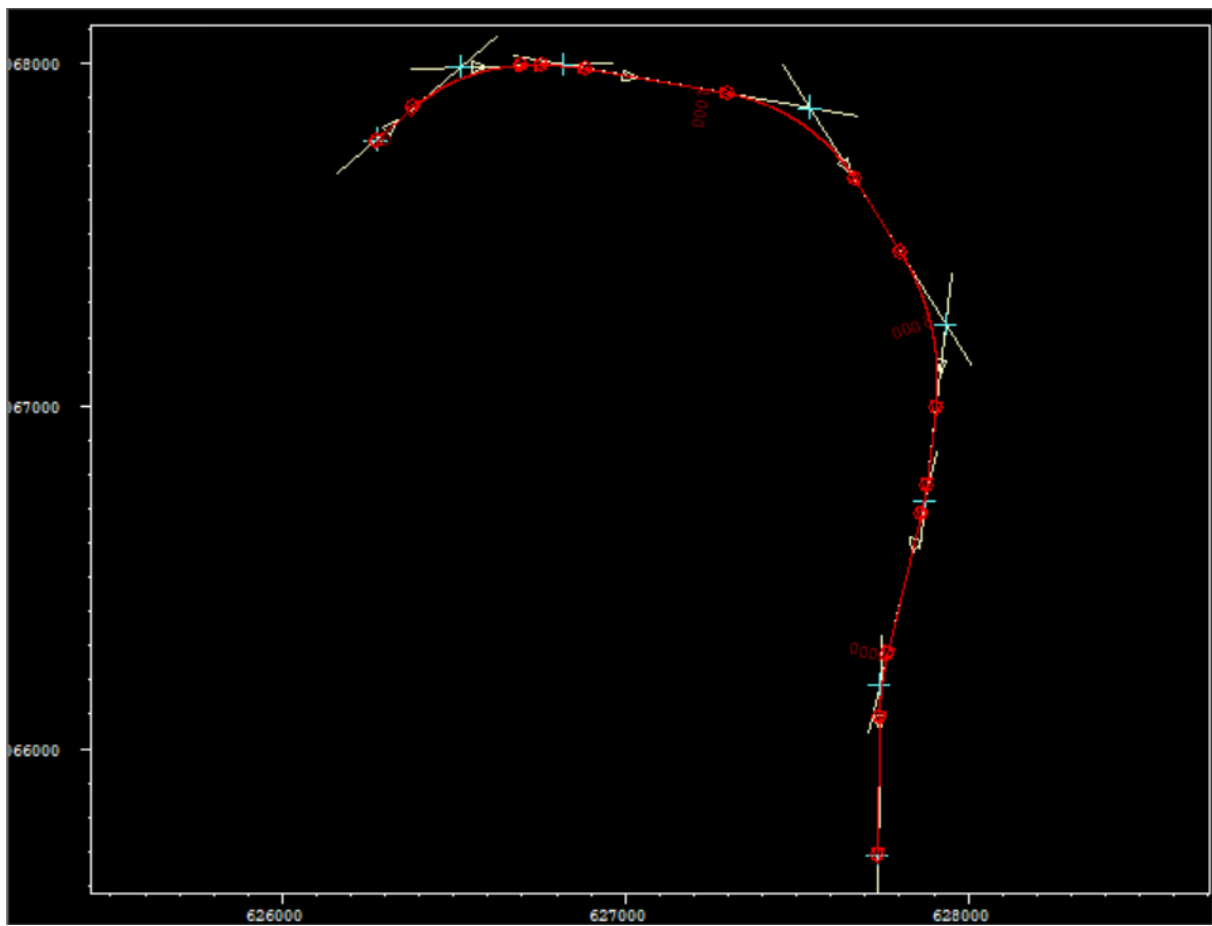


Figure 28 : Axe en plan de notre tracé

- **Interpolation de l'axe en plan**

✓ Fichier ⇒ ouvrir ⇒ fond de plan TPL ⇒ ok.

✓ Calcul ⇒ interpoler ⇒ ouvrir ⇒ ok.

Un clic sur f2 nous permet de voir les résultats en mode texte.

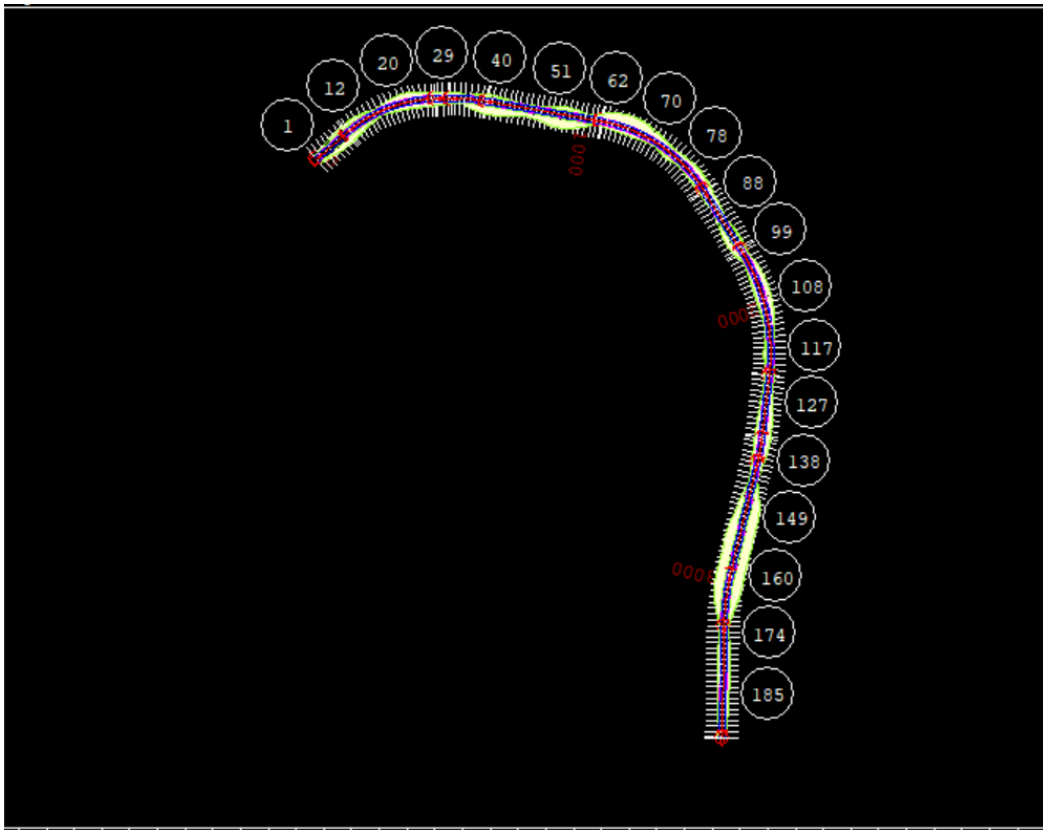


Figure 29 : Interpolation de l'axe en plan

V.4 Profil en en long (PEL)

1. définition

Le profil en long est une coupe verticale passant par l'axe de la route, développée et représentée sur un plan à une certaine échelle. C'est en général une succession d'alignement droit (rampes et pentes) raccordés par des courbes circulaires.

Dans un profil en long on définit les éléments de base suivants

- L'altitude du terrain.
- L'altitude du projet.
- La distance partielle et cumulée.
- La déclivité du projet.

1. Coordination du tracé en plan et du profil en long

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

- Avoir une vie satisfaisante de la route en sus des conditions de visibilité minimale.
- Envisager de loin l'évolution du tracé.

- Distinguer clairement les dispositions des points singuliers (carrefour, échangeur) pour éviter les défauts résultant d'une mauvaise coordination du tracé en plan et profil en long.
- Décaler les courbes en plan des courbes à sommet du profil en long.
- Adapter le profil en long aux grandes lignes du paysage.

2. Règles à respecter dans le tracé du profil en long

- Respecter les normes de conception.
- Rechercher un équilibre entre le volume de remblais et de déblais.
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.
- Eviter les hauteurs excessives de remblais.
- Adaptation aux réseaux divers (gazoducs, réseaux d'alimentation en eau et d'assainissement, lignes électriques...)

4. Eléments de composition du profil en long

Déclivités

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

- **Déclivité minimale**

Pour assurer un bon écoulement des eaux de pluies, la pente transversale seule ne suffit pas, il faut éviter les paliers (tronçons de route absolument horizontaux) pour que l'eau accumulée latéralement s'évacue longitudinalement avec facilité par des fossés ou des canalisations ayant une pente suffisante, leur minimum vaut 0.5 % et de préférence 1 %.

- $I_{\min} = 0.5\%$ dans les longueurs sections en déblais.
- $I_{\min} = 0.5\%$ pour les sections en déblais prévues avec des descentes d'eau.

- **Déclivité maximale**

La déclivité maximum dépend de :

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

Elle doit être inférieure à une valeur maximale associée au nouveau de service « selon le B40, environnement E1, catégorie C1 déclivité maximale :

$$I_{\max} = 7\%$$

| Environnement | Facile | Moyen | difficile |
|------------------|--------|-------|-----------|
| Catégorie | | | |
| Cat 1 – 2 | 4 % | 5 % | 6 % |
| Cat 3 | 5 % | 6 % | 7 % |
| Cat 4 – 5 | 5 % | 6 % | 7 % |

Tableau 23: Valeurs de déclivité maximale selon B-40.

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.

5. Raccordement de 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.

Il y a deux types de raccords :

5.1 Raccordement convexe (saillants)

La conception des raccords convexes doit satisfaire les conditions suivantes :

a. Condition de confort

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

$$R_v \geq 0.3m \times 100^2 = 3000m$$

Cat. 1-2

b. Condition de visibilité

Elle intervient seulement dans les raccords des points hauts comme condition

Supplémentaire à celle de condition confort.

Il faut que deux véhicules circulant en sens opposés puissent s'apercevoir à une

Distance double de la distance d'arrêt au minimum.

Le rayon de raccordement est donné par la formule suivante :

$$RV = \frac{d_1^2}{2(\sqrt{h_0} + \sqrt{h_1})^2}$$

Avec :

- d_1 : Distance d'arrêt (m).
- h_0 : Hauteur de l'œil (m).
- h_1 : Hauteur de l'obstacle (m).

Les rayons assurant ces deux conditions sont donnés pour les normes en fonction de la vitesse base et la catégorie pour le choix bidirectionnel et pour une vitesse de base $V_b = 100$ Km/h et par la catégorie C₁, dans le tableau ci –après.

| Angles saillants | Valeur des rayons |
|---|-------------------|
| Rayon minimal absolu (RVm2) | 10000 |
| Rayon minimal normal (RVN2) | 20000 |
| Rayon assurant distance (RVD) Visibilité de dépassement | 20000 |

Tableau 24 : : les valeurs des rayons de raccordement en angle saillants

Pour un rayon de 3000 m, nous avons $\begin{cases} h_0 = 1.1 \text{ m} \\ h_1 = 0.15 \text{ m} \end{cases}$

$$d_1 = \frac{4}{1000} * \frac{V_B^2}{f_i \pm i} = \frac{4}{1000} * \frac{100^2}{0.36} = 111.11 \text{ m}$$

$$RV = \frac{111.11^2}{2(\sqrt{1.1} + \sqrt{0.15})^2} = 2993 \text{ m}$$

C. Raccordement concave : (rentrant)

La visibilité du jour dans le cas de raccordement des points bas n'est pas déterminante c'est pendant la nuit qu'il faut 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 :

$$Rv' = \frac{d_1^2}{1.5 + 0.035d_1}$$

$$Rv' = \frac{111.11^2}{1.5 + 0.035 \times 111.11} = 109,62m$$

Pour une chaussée unidirectionnelle avec une vitesse $V_b = 100$ Km/h et catégorie C₁ on utilise le tableau suivant :

| Angles rentrant | Valeurs des rayons |
|-----------------------------|--------------------|
| Rayon minimal absolu (R'Vm) | 3000 |
| Rayon minimal normal (R'VN) | 4200 |

Tableau 25 : LES RAYONS DES COURBES

6. Conception longitudinale

Création du profil en long

Le fichier est déjà ouvert et interpolé.

Création du profil en long

- ✓ Fichier ⇒ nouveau ⇒ conception longitudinale ⇒ ok (Donner un nom exp : profil en long) ⇒ ouvrir ⇒ ok.
- ✓ Bouton droit ⇒ zoom tout.
- ✓ Fichier ⇒ projet piste : on cherche notre axe (axe projeté) ⇒ ouvrir.

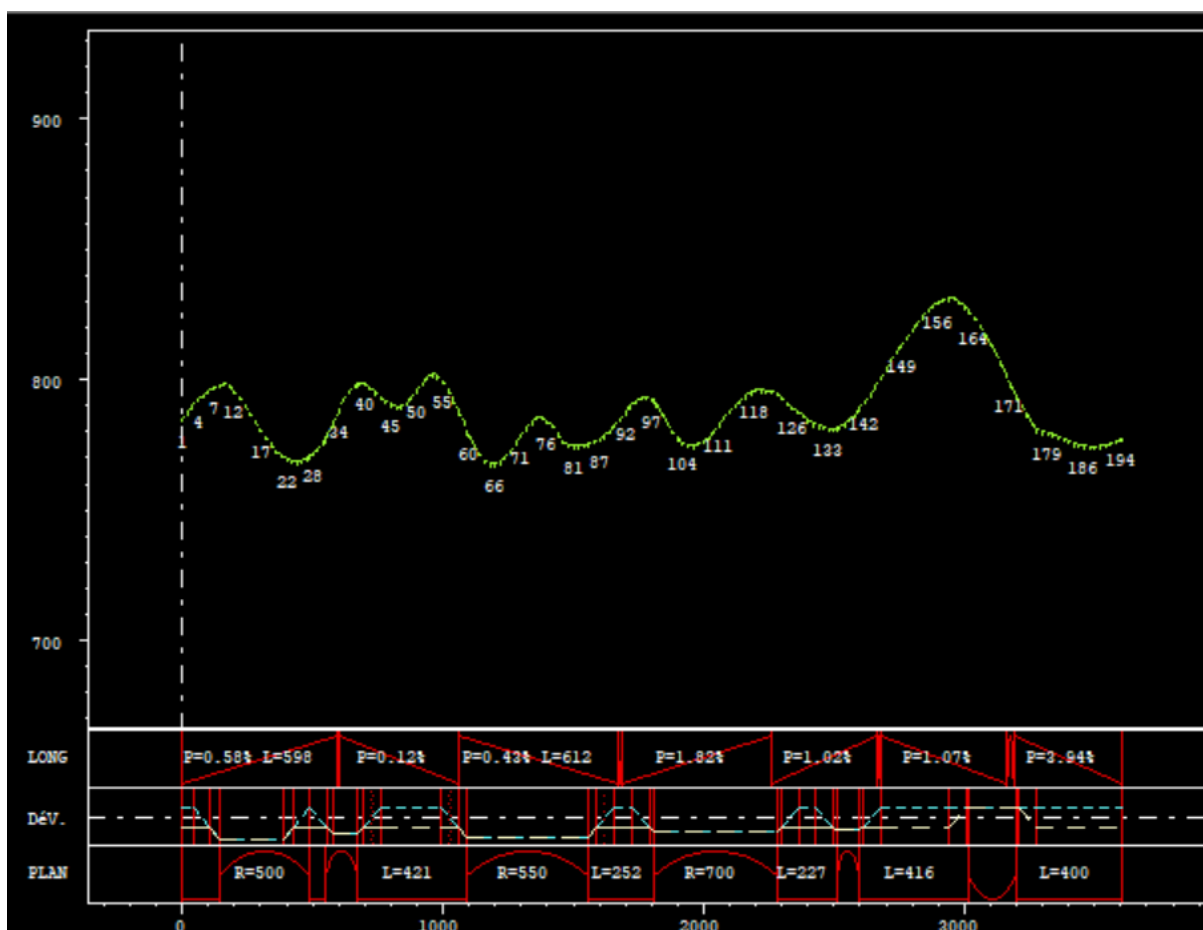


Figure 30 Profil en long

Conception des éléments du profil en long

- Les points

✓ Elément ⇒point ⇒nom de l'élément ⇒graphiquement
 ⇒on sélectionne sur le graphe ⇒exécuter.

Même étapes avec les autres points.

- **Les droites**

✓ Elément ⇒droite ⇒ on écrit **D1 P1 P2** ⇒exécuter.

Même étapes pour les autres droites.

- **Les paraboles**

✓ Elément ⇒distance ⇒onécrit**DISR1** et on donne une valeur du rayon avec considération du signe.

Ainsi de suite pour les autres.

✓ Elément ⇒paraboles ⇒ on écrit **PARA1 D1 D2 R1**exécuter.

Ainsi de suite.

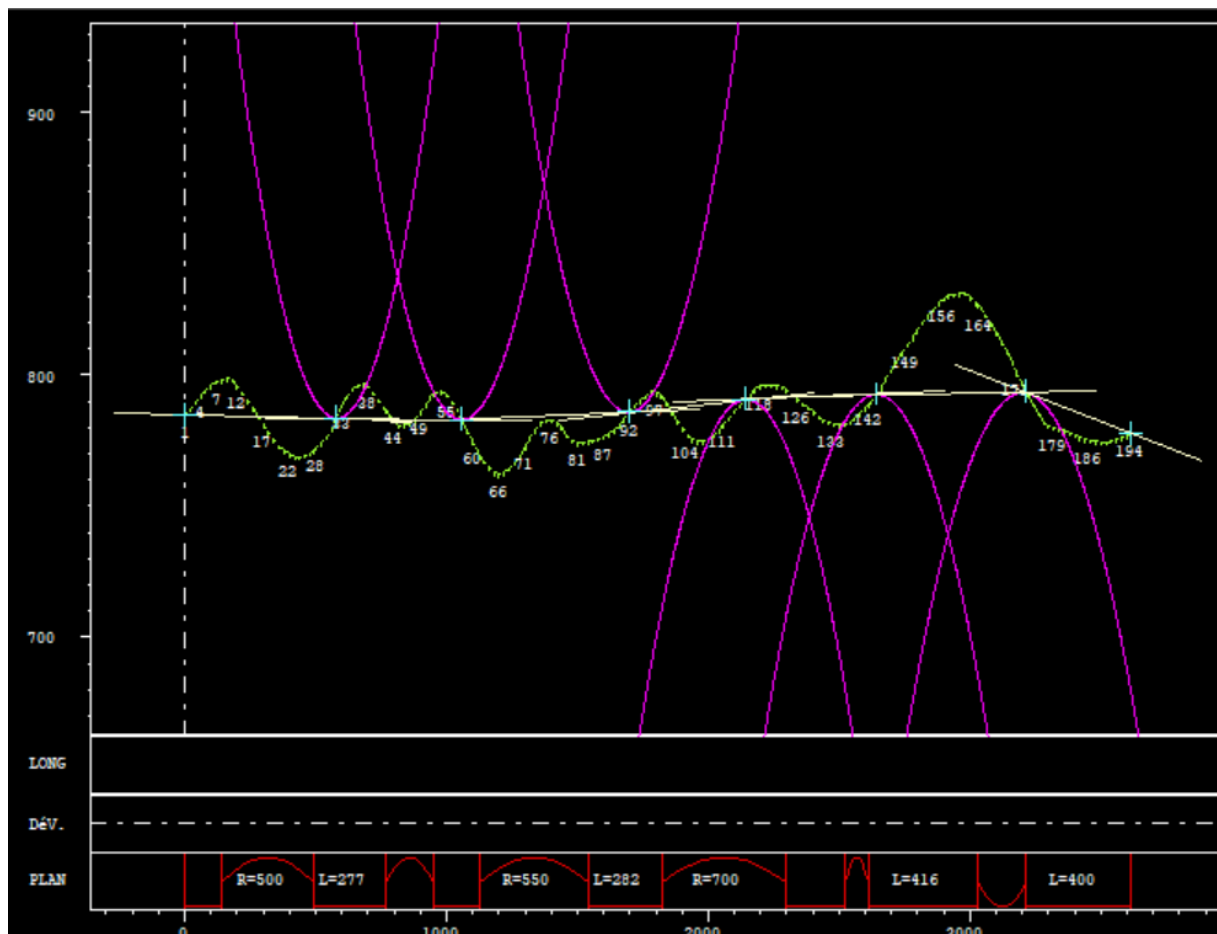


Figure 31 Paraboles du profil en long

- **L'axe**

✓ Elément ⇒axe ⇒ nom d'élément ⇒ on écrit **AXE1 P1**
 auto⇒exécuter.

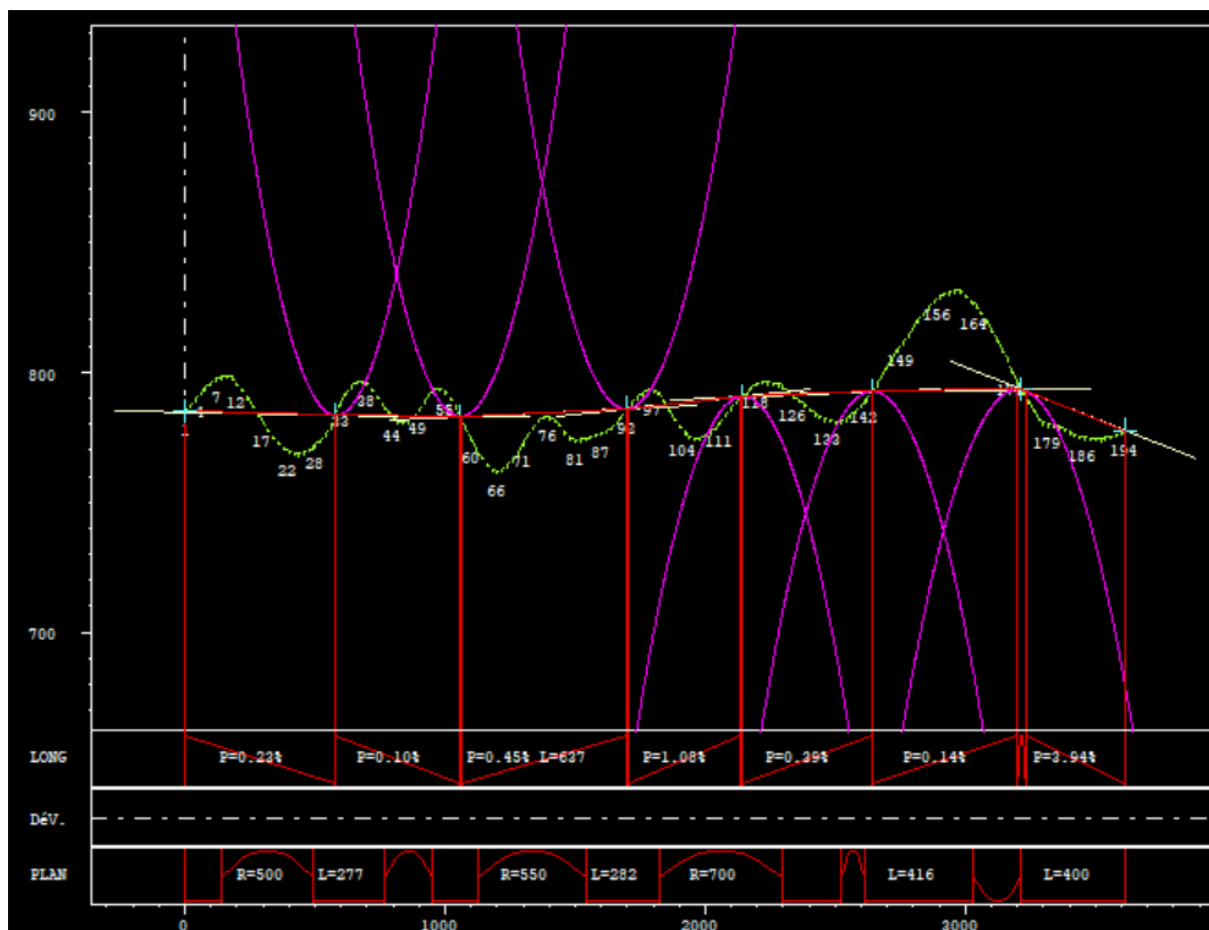


Figure 32 Axe du profil en long

V.5 Profil en travers (PET)

V.5.1 Définition

Le profil en travers d'une chaussée est la coupe perpendiculaire à l'axe de la chaussée par un plan vertical. Le profil en travers contient tous les éléments constructifs de la future route, dans toutes les situations (remblais, déblais, trottoirs). Il existe deux types de profil en travers dont le premier est le profil en travers type, il permet le calcul des terrassements, le deuxième est le profil en travers courant qui est une pièce de base dessinée avec des distances variables.

V.5.1.1 Classification des profils en travers

Dans une étude d'un projet routier, l'ingénieur doit faire la conception de deux types de profil en travers :

- **Profil en travers type** : il contient tous les éléments constructifs de la future route, dans toutes les situations (en remblais, déblais, ou mixtes).
- **Profil en travers courants** : ce sont des profils dessinés à des distances régulières et qui dépendent du terrain naturel. Ils servent à calculer les cubatures et avoir des précisions techniques et géométriques sur les sections transversales de la route.

V.5.2. Eléments constitutifs du profil en travers

Le profil en travers est composé des éléments suivants :

a. L'emprise

L'emprise de la route est la surface de terrain appartenant à la collectivité, c'est-à-dire dans les limites du domaine public.

b. L'assiette

L'assiette de la route est la surface du terrain réellement construite pour créer la route, c'est-à-dire les limites des terrassements.

c. La plateforme

Elle est entre le fossé et les crêtes des talus en remblais ; la plateforme comprend la chaussée, plus les accotements (éventuellement le terre-plein central et voies auxiliaires).

d. Chaussée

La chaussée est la partie de la route affectée à la circulation des véhicules, la route peut être à chaussée unique ou chaussée séparée par un terre-plein central.

e. Nombre de voies

Le nombre de voies est déterminé après des études préalables en prenant compte des données de trafic, des objectifs de niveau de service et des éléments économiques et politiques. Les routes principales comportent 2 voies, 3 voies ou 2 voies avec des créneaux de dépassement, ou 2'2 voies.

f. Largeur des voies

La largeur des voies est de 3,50 m pour les routes principales neuves en rase campagne. Celle-ci peut être réduite à 3m en cas de contrainte de site, ou lorsque le trafic total et le trafic lourd sont jugés peu importants. Sur les routes en relief difficile, des largeurs plus réduites que 3.5m peuvent également être adoptées.

g. Sur largeur

Dans les courbes de rayon inférieur à 200 m, une sur largeur est préconisée dans les virages. Elle vaut normalement, par voie de circulation $50/R$ en mètres, R étant le rayon de courbure exprimé en mètres. Cette sur largeur peut être ramenée à $25/R$ pour les routes en relief difficile.

h. Accotements

L'accotement comprend une partie dégagée de tout obstacle appelée bande dérasée, généralement bordée à l'extérieur d'une berme engazonnée. La bande dérasée située à l'extérieur de la chaussée (coté accotement) et non l'éventuelle bande dérasée de gauche qui ne fait pas partie de l'accotement. Sur l'accotement et au de-là, dans une « zone de sécurité », il est primordial d'exclure tout obstacle agressif, et d'éviter les fossés profonds.

La zone de sécurité

Cette zone, qui comprend la berme, doit être dépourvue de tout obstacle agressif (plantation de haute tige, poteau électrique ou d'éclairage public, tête de buse non protégée). La largeur de cette zone de sécurité vaut, à compter du bord de chaussée :

4m en aménagement des routes existantes. 7m en aménagement neuf des routes de type T ou R (2'2voies de type R limitées à 80km/h). 8.5m dans le cas particulier de routes à 2'2 voies de type R limitées à 110km/h 10m pour les autoroutes.

La zone de récupération

Cette zone comprend :

Une sur largeur de chaussée, de structure identique à la chaussée elle-même, d'une largeur de 0,25m dans le cas général, et qui porte le marquage de rive. Une partie stabilisée ou revêtue (pouvant supporter le passage occasionnel d'un poids lourd).

Les fonctions principales de la bande dérasée sont les suivantes :

- Permettre la récupération d'un véhicule déviant de sa trajectoire normale.
- Permettre l'évitement de collisions « multi-0véhicules » en autorisant des manœuvres d'urgent de départ latéral sur l'accotement (cas des collisions liées au tourne- à- gauche, ou au dépassement).
- Permettre aux piétons et éventuellement aux cyclistes de circuler en sécurité. Et alors le revêtement de la bande dérasée devient impératif si celle-ci doit assurer cette fonction pour les cycles sans moteur.
- Permettre l'arrêt d'un véhicule ;
- Faciliter les opérations d'entretien de la chaussée et de ses dépendances

La bande dérasée est revêtue ou stabilisée. Elle est généralement de largeur de 2 m (minimum 1,75 m) pour les routes multifonctionnelles (de types R) et de 2,5 m pour les routes de transit (de type T).

i. Berme

Elle est située à l'extérieur de la bande dérasée ou de la bande d'arrêt d'urgent (BAU), est généralement engazonnée. Elle supporte d'éventuels panneaux de signalisation et équipements (glissières de sécurité en particulier). Elle a une largeur de 0.75m éventuellement portée, en présence de dispositifs de retenue, à une valeur de 1m ou davantage selon le dispositif de retenue mis en œuvre.

j. Terre-plein central

Son rôle est triple :

1.1 Séparation

C'est la raison essentielle du T.P.C lorsque sa largeur est inférieure à 12m, il comporte des dispositifs de sécurité qui peut être souples ou rigides. Dans le cas des dispositifs souples, la largeur du T.P.C doit permettre le débattement des glissières.

1.2 D'environnement

Le T.P.C supporte les éventuelles plantations qui ont un rôle d'embellissement et participent à la sécurité de l'usager (lutte contre l'éblouissement). Les terre-pleins centraux ne comportent pas systématiquement de plantation : ils sont parfois pour des raisons d'économie entièrement revêtus, mais seulement lorsque cette largeur est inférieure à 5m.

1.3 Drainage

Afin d'éviter des épaisseurs de lames d'eau importantes sur les chaussées notamment à l'intérieur des courbes, le T.P.C comporte dans les zones déversées, un dispositif de drainage permettant la récupération des eaux de ruissellement de la chaussée extérieure.

V.5.3. Classification du profil en travers

Ils existent deux types de profil :

- a)** Profil en travers type.
- b)** Profil en travers courant

1. Le profil en travers type

Le profil en travers type est une pièce de base dessinée dans les projets de nouvelles routes ou l'aménagement de routes existantes. Il contient tous les éléments constructifs de la future route, dans toutes les situations (remblais, déblais).

L'application du profil en travers type sur le profil correspondant du terrain en respectant la cote du projet permet le calcul de l'avant mètre des terrassements.

2. Le profil en travers courant

Le profil en travers courant est une pièce de base dessinée dans les projets à une distance de 20m. Après l'étude de trafic, le profil en travers type retenu pour l'évitement sera composé d'une route de 2×3 voies.

V.5.4. Application au projet

Les éléments du profil entraver type sont comme suit :

- Chaussée : $2 \times (3,5\text{m} \times 3) = 21(\text{m})$.
 - Accotement : $3 \text{ m} \times 2 = 6 (\text{m})$.
 - Une terre plane centrale : 3 (m)
 - Bandes dérasée 0.5 (m)
- ✓ Plateforme : 30.5m

Profil en travers type de notre projet

La figure ci-dessous représente le profil type coté remblais et coté déblais de notre tracé.

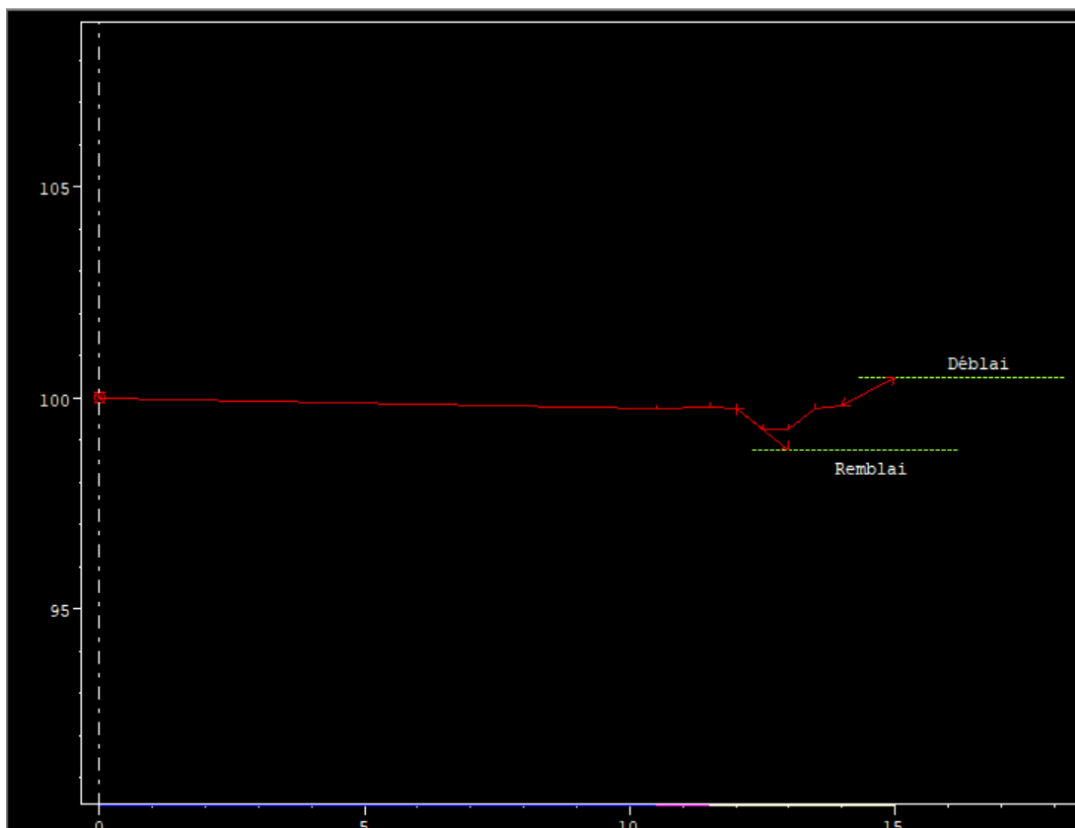


Figure 33 : Profil en travers type du présent projet

V.6 Conclusion

Une géométrie routière efficace se caractérise par l'harmonisation de trois éléments clés : le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers. Cette coordination nécessite non seulement de suivre les principes fondamentaux des disciplines telles que la physique, la mécanique et les mathématiques, mais aussi de viser des objectifs précis pour garantir que la route satisfait aux exigences nécessaires.

Chapitre VI

Cubature

VI. Introduction

L'étude des cubatures de terrassement pour une autoroute est une étape cruciale dans la conception et la réalisation de projets d'infrastructure routière. Elle consiste à évaluer et à quantifier les volumes de terre à déplacer pour créer un profil de route optimal, en tenant compte des exigences géométriques et de drainage. Cette analyse permet de déterminer les volumes de déblai (terre à enlever) et de remblai (terre à ajouter) nécessaires à la réalisation des remblais et des tranchées. Une bonne estimation des cubatures est essentielle non seulement pour le budget et le planning du projet, mais aussi pour minimiser l'impact environnemental en réduisant les déplacements de matériaux. En intégrant des techniques de modélisation numérique et des logiciels spécialisés, les ingénieurs peuvent optimiser le terrassement, garantissant ainsi la sécurité et la durabilité des infrastructures routières.

VI.1. Généralités

La cubature concerne principalement les travaux de terrassement, qui consistent à modifier la topographie naturelle du terrain pour adapter le projet (route, voie ferrée, canalisation) aux exigences de conception. La réalisation de ces terrassements, qu'ils soient en déblai (enlèvement de matériaux) ou en remblai (ajout de matériaux), nécessite des calculs précis des volumes. Ces calculs permettent de prévoir :

- Les besoins en matériaux : la quantité à déplacer, à stocker ou à amener.
- Les coûts associés : le coût des opérations de terrassement représente une part significative du budget des travaux publics.
- L'impact environnemental : minimiser l'extraction de matériaux et leur transport, ainsi que l'impact sur les zones environnantes.

Les travaux de cubature visent donc à optimiser l'équilibre entre les volumes de déblais et de remblais pour limiter les coûts, les déplacements de matériaux et l'impact sur l'environnement.

VI.2. Définition

La cubature est le processus de calcul des volumes de matériaux à déplacer dans un projet de terrassement. Elle est essentielle dans des projets comme :

- La construction de routes et autoroutes,
- Les ouvrages ferroviaires,
- Les canalisations,

- Les plateformes industrielles.

Le but est de déterminer les volumes de terre à excaver (déblais) ou à ajouter (remblais) en fonction du tracé en plan, du profil en long et du profil en travers. La cubature permet de prévoir avec précision les volumes nécessaires pour ajuster la topographie d'un site aux exigences du projet d'infrastructure.

VI.3. Méthodes de calcul des cubatures

Il existe plusieurs méthodes de calcul de la cubature, chacune adaptée aux spécificités du terrain et du projet. Les méthodes les plus couramment utilisées sont la formule de Sarraus, la méthode linéaire et la méthode de Gulden. Ces méthodes varient en termes de précision et de complexité, mais elles permettent toutes d'estimer les volumes nécessaires pour les travaux de terrassement.

VI.3.1. Formule de Sarraus

La formule de Sarraus est l'une des méthodes les plus simples pour calculer des volumes de terrassement. Elle repose sur une approximation des volumes en utilisant des surfaces moyennes sur des sections successives. Cette méthode est couramment utilisée lorsque les profils en travers sont réguliers et que les variations d'altitude ne sont pas trop abruptes. Elle est souvent appliquée dans les petits projets ou dans les zones où la géométrie du terrain ne varie pas de manière significative.

La formule de Sarraus peut être exprimée ainsi :

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

Où :

- V est le volume de la section entre deux profils en travers,
- L est la distance entre les deux sections,
- S_1 et S_2 sont les surfaces des deux sections extrêmes,
- S_m est la surface moyenne entre les deux sections.

Cette formule permet de calculer le volume en faisant une approximation par les surfaces trapézoïdales, une méthode simple mais relativement précise pour des terrains peu variables.

VI.3.2. Méthode linéaire

La méthode linéaire est plus détaillée et adaptée aux terrains irréguliers ou aux projets où les variations topographiques sont importantes. Elle repose sur le calcul de volumes entre plusieurs profils en travers successifs, tout en prenant en compte les variations linéaires entre ces profils.

Elle suppose que les surfaces entre deux sections varient de manière linéaire, ce qui permet de simplifier les calculs. La méthode linéaire utilise également des formules intégrant les surfaces des sections à différents intervalles, en supposant que la variation de ces surfaces entre deux sections adjacentes est linéaire.

La méthode est utilisée dans des situations où la géométrie du terrain est plus complexe, ou lorsqu'une précision plus grande est nécessaire. Son avantage réside dans sa flexibilité et son adaptabilité à des configurations de terrain irrégulières. Cette méthode est souvent utilisée dans les grands projets où les volumes de déblais et de remblais peuvent varier considérablement sur de longues distances.

VI.3.3. Méthode de Gulden

La méthode de Gulden est une méthode plus élaborée et particulièrement utilisée pour les projets d'infrastructure de grande envergure. Elle permet de calculer les volumes de déblais et de remblais avec une grande précision, en tenant compte des profils en long, des profils en travers et des altitudes intermédiaires.

Cette méthode consiste à diviser le terrain en plusieurs tranches ou sections. Pour chaque section, on calcule la surface de déblai et la surface de remblai en utilisant les cotes du terrain naturel et celles du projet. Ensuite, on applique des intégrations ou des interpolations entre les sections pour obtenir un volume précis.

La méthode de Gulden est particulièrement précise car elle ne repose pas sur une simple approximation linéaire des surfaces, mais intègre les variations complexes du terrain. Cette méthode est utilisée dans les projets où la précision est essentielle, comme pour des infrastructures traversant des zones accidentées ou des projets d'ingénierie où les coûts de terrassement sont très élevés.

VI.4. Applications au projet

Les calculs sont effectués à l'aide du logiciel PISTE 5. Les résultats sont joints en annexes.

Les volumes totaux des remblais et déblais calculés dans notre projet sont indiqués sur le tableau suivant :

| | |
|--|---------|
| Volume total des déblais (m³) | 3022355 |
| Volume total des remblais (m³) | 821742 |

Tableau 26 : Valeur total déblais et rem remblais

VI.5. Conclusion

La cubature effectuée avec le logiciel PISTE optimise la modélisation des données géométriques, facilitant le calcul des volumes et l'analyse des surfaces. Cet outil avancé soutient les professionnels dans divers domaines, tels que l'aménagement du territoire et l'urbanisme, en améliorant la qualité des projets et la gestion des ressources. PISTE se révèle donc essentiel pour une cubature précise et efficace.

Chapitre VII

Hydraulique et assainissement

VII.1. Introduction

L'assainissement des chaussées et des infrastructures routières consiste à gérer les eaux de pluie, les eaux souterraines et les éventuelles eaux usées issues de la chaussée pour éviter tout dommage aux infrastructures et protéger l'environnement. L'absence ou la mauvaise gestion de l'assainissement peut entraîner des conséquences graves telles que l'érosion des talus, la déformation des couches de fondation des chaussées, les inondations, voire la pollution des cours d'eau et des nappes phréatiques.

Ainsi, la conception d'un système d'assainissement performant repose sur la prise en compte de plusieurs éléments, comme les conditions climatiques locales, la topographie, les caractéristiques du sol, et le type d'infrastructure à protéger. L'assainissement englobe plusieurs ouvrages : des réseaux de collecte, des fossés, des dalots, ainsi que des dispositifs spécifiques de dépollution pour traiter les eaux avant leur rejet dans le milieu naturel.

VII.2. Objectifs de l'assainissement

Les objectifs de l'assainissement routier sont multiples, et tous convergent vers la protection des infrastructures et de l'environnement. Les principaux objectifs de l'assainissement peuvent être résumés ainsi :

- Protection de la chaussée et des ouvrages routiers : L'eau qui s'infiltre dans les couches de la chaussée peut affaiblir la structure, entraînant des fissures, des déformations et une dégradation prématurée. L'assainissement vise à éviter ces infiltrations en évacuant rapidement et efficacement les eaux de surface.
- Sécurité des usagers : L'accumulation d'eau sur la chaussée peut provoquer des accidents, notamment en raison du risque d'aquaplaning. Un système de drainage efficace assure l'évacuation rapide des eaux de ruissellement, garantissant ainsi la sécurité des usagers.
- Prévention des inondations et de l'érosion : L'eau non canalisée peut provoquer l'érosion des talus, des fondations et des abords de la chaussée. De plus, une mauvaise gestion des eaux pluviales peut entraîner des inondations sur la chaussée et dans les zones environnantes, affectant la viabilité de l'infrastructure.
- Protection de l'environnement : L'assainissement comprend également des dispositifs de dépollution des eaux de ruissellement, qui peuvent contenir des polluants issus de la circulation (hydrocarbures, métaux lourds, etc.). Ces dispositifs garantissent que les eaux rejetées dans le milieu naturel respectent les normes environnementales.

VII.3. Assainissement de la chaussée

L'assainissement de la chaussée repose sur des systèmes de drainage qui permettent d'évacuer les eaux de surface et souterraines. Le dispositif est généralement constitué de plusieurs éléments interconnectés, dont des réseaux de collecte, des fossés, des ouvrages de raccordement et des exutoires. Le choix du type d'ouvrage et son dimensionnement dépendent de nombreux facteurs comme la pluviométrie locale, la topographie du terrain, la nature des sols et la densité du trafic.

VII.3.1. Réseaux de collectes longitudinaux

Les réseaux de collectes longitudinaux sont installés parallèlement à la chaussée et ont pour rôle principal de recueillir les eaux de ruissellement provenant de la surface de la route. Ces réseaux sont généralement composés de caniveaux, de fossés ou de tuyaux placés en bordure de la chaussée. Les types d'ouvrages longitudinaux sont choisis en fonction de l'environnement

- **Caniveaux** : Ils sont souvent installés en milieu urbain, en bordure de trottoirs ou de voies de circulation pour canaliser les eaux pluviales. Ils sont équipés de grilles pour permettre un accès facile à l'eau tout en évitant l'obstruction par des débris.
- **Fossés** : Ils sont fréquemment utilisés en zones rurales ou sur des routes secondaires, où l'espace est plus disponible. Les fossés permettent de collecter les eaux des talus et de la chaussée avant de les diriger vers des ouvrages de raccordement ou d'évacuation.

Ces réseaux doivent être conçus de manière à éviter la stagnation de l'eau et à garantir une évacuation rapide et efficace vers les dispositifs de traitement ou de rejet.

VII.3.2. Liaisons transversales

Les liaisons transversales permettent de transférer les eaux collectées par les réseaux longitudinaux vers les fossés ou les ouvrages de traitement. Elles peuvent se composer de tuyaux, de dalots ou de conduits souterrains qui assurent le passage des eaux d'un côté à l'autre de la chaussée sans perturber le trafic. Ces liaisons sont nécessaires pour éviter que l'eau ne s'accumule uniquement sur un côté de la route, ce qui pourrait provoquer des inondations localisées ou des déséquilibres dans la gestion des eaux.

VII.3.3. Les ouvrages de raccordement

Les ouvrages de raccordement relient les différents éléments du réseau de drainage entre eux et avec les systèmes d'évacuation ou de traitement des eaux. Ces ouvrages incluent :

- **Regard de visite** : Ce sont des points d'accès au réseau de drainage, permettant l'inspection, la maintenance et le nettoyage des canalisations.

- **Chambres de raccordement** : Elles servent à connecter plusieurs canalisations venant de différents tronçons de la route. Ces ouvrages permettent une gestion optimisée des flux d'eau avant leur rejet ou leur traitement.

VII.3.4. Ouvrages de contenance et de dépollution

Les ouvrages de contenance sont destinés à stocker temporairement les eaux pluviales en cas de fortes précipitations pour éviter une surcharge du système de drainage. Les plus courants sont les bassins de rétention ou bassins d'infiltration, qui permettent de réguler le débit d'eau rejeté dans les cours d'eau.

Les ouvrages de dépollution assurent le traitement des eaux avant leur rejet dans l'environnement. En effet, les eaux de ruissellement des chaussées peuvent contenir des hydrocarbures, des métaux lourds, des particules fines et d'autres polluants issus du trafic routier. Les dispositifs de traitement incluent :

- **Séparateurs d'hydrocarbures** : Ils captent les huiles et les hydrocarbures en suspension dans les eaux pluviales.
- **Bassins de décantation** : Ces ouvrages permettent de séparer les particules en suspension par sédimentation.
- **Zones de filtration végétalisées** : Ces dispositifs utilisent des plantes pour filtrer et dépolluer naturellement les eaux.

VII.3.5. Les exutoires

Les exutoires sont les points finaux du réseau de drainage, où les eaux traitées ou régulées sont rejetées dans le milieu naturel, comme les rivières, les lacs ou les nappes phréatiques. Ils doivent être conçus pour minimiser l'impact environnemental du rejet d'eau, notamment en ce qui concerne la vitesse d'écoulement et la qualité de l'eau rejetée.

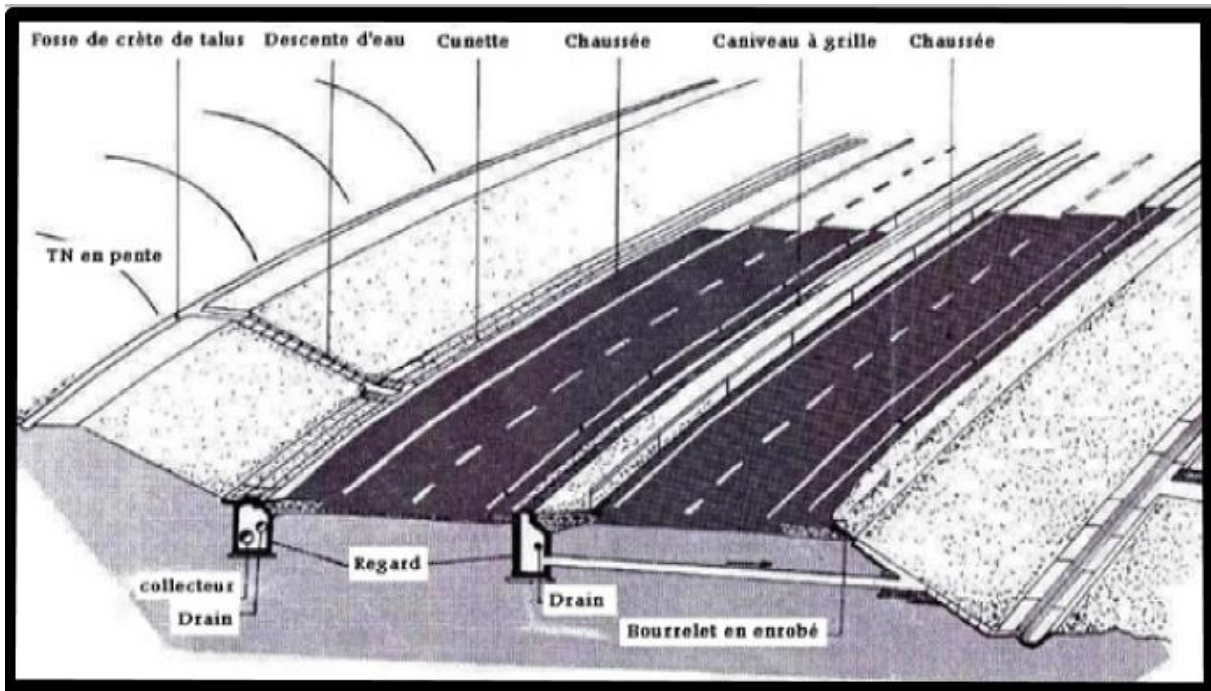


Figure 34 : Différents ouvrages d'assainissement.

VII.4. Détermination des bassins versants

La détermination des bassins versants est une étape essentielle dans la conception des systèmes de drainage. Un bassin versant est la zone géographique où toutes les eaux de ruissellement convergent vers un même point d'évacuation. Il est important de définir avec précision le bassin versant pour dimensionner correctement les ouvrages d'assainissement.

L'étude du bassin versant comprend :

- L'analyse topographique : La pente du terrain, les reliefs et les points bas déterminent la direction naturelle des écoulements.
- La nature des sols : Les sols imperméables favorisent le ruissellement rapide, tandis que les sols plus perméables permettent une infiltration partielle de l'eau.
- Les précipitations : Il est crucial de prendre en compte la fréquence et l'intensité des précipitations pour évaluer la quantité d'eau à évacuer.

VII.5. Dimensionnement des ouvrages d'évacuation

Le dimensionnement des ouvrages d'évacuation est une étape clé pour s'assurer que le réseau de drainage peut gérer les débits d'eau prévus, même lors de fortes précipitations. Cette opération repose sur le calcul des débits d'apport et du débit de saturation, ainsi que sur la conception de fossés et de dalots adaptés.

$$Qa \leq Qs$$

Avec :

Qa : Débit d'apport en provenance du bassin versant (m^3/s).

Qs : Débit d'écoulement au point de saturation (m^3/s).

VII.5.1. Débits d'apports

Le débit d'apport est la quantité d'eau générée par les précipitations qui atteint le réseau de drainage. Ce débit dépend de :

- La surface du bassin versant.
- Le coefficient de ruissellement qui traduit la capacité du sol à absorber l'eau (plus le sol est imperméable, plus le coefficient est élevé).
- Les caractéristiques des précipitations (intensité, durée, etc.).

$$Qa = K \cdot I \cdot C \cdot A$$

- **K** : coefficient qui permet la conversion des unités (les mm/h en l/s).
- **I** : intensité moyenne de la pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration (mm/h).
- **C** : coefficient de ruissellement.
- **A** : aire du bassin versant (Km).

Calcul de précipitation

La précipitation Pj (%) est obtenue par la formule suivante :

$$pj = \frac{pj\text{moy}}{\sqrt{Cv^2 + 1}} \times e^{u \sqrt{\ln(Cv^2 + 1)}}$$

- **Pjmoy**: Hauteur de la pluie journalière moyenne (mm).
- **Cv**: coefficient de variation.
- **U**: variable de Gauss (en fonction de la période de retour)

Variables de gauss en fonction de la période de retour.

| Fréquence % | 50 | 20 | 10 | 2 | 1 |
|-------------------------|------|------|-------|------|-------|
| Période de retour (ans) | 2 | 5 | 10 | 50 | 100 |
| Variable de Gauss (U) | 0.00 | 0.84 | 1.287 | 2.05 | 2.327 |

Coefficient de ruissellement «C » :

Le coefficient de ruissellement « Cr », qui indique le pourcentage de l'eau ruisselant sur un sol saturé par les précipitations antérieures par rapport à l'ensemble de l'averse, sera estimé à l'aide de la méthode de KENESSEY. Cette méthode calcule Cr en utilisant trois coefficients partiels.

$$Cr = C1 + C2 + C3$$

| Pente (P)(%) | Coefficient |
|----------------------|-------------|
| $P \leq 3.5$ | 0.01-0.05 |
| $3.5 \leq P \leq 11$ | 0.06-0.10 |
| $11 \leq P \leq 35$ | 0.12-0.20 |
| $35 \leq P$ | 0.22-0.30 |

C1 : Dépend de la pente P du thalweg principal estimée comme étant égal au rapport de la dénivelée du thalweg (falaises exclues) par sa longueur développée. Ces informations sont obtenues généralement à partir des cartes topographiques disponibles.

Tableau 27 : Valeurs du coefficient C1

| Perméabilité | Coefficient(C2) |
|----------------|-----------------|
| Imperméable | 0.22-0.30 |
| Peu perméable | 0.10-0.20 |
| Perméable | 0.06-0.10 |
| Très perméable | 0.05-0.06 |

C2 : Dépend de la perméabilité du sol, déterminée à partir des informations concernant la nature du sol et ses caractéristiques.

Tableau 28 : Valeurs du coefficient C2

| Couverture végétale | Coefficients (C3) |
|----------------------------|-------------------|
| Rocheux | 0.22-0.30 |
| Prairie | 0.17-0.25 |
| Labours-champs | 0.07-0.15 |
| Forêts et terrains sableux | 0.03-0.05 |

C3 : Dépend de la couverture végétale du bassin versant. Ces informations seront obtenues à partir d'une inspection visuelle des bassins versants, des photos prises du site et des photos aériennes.

Tableau 29 : Valeurs du coefficient C3

Pour notre cas : $Cr = 0.1 + 0.2 + 0.25 = 0.55$

Intensité de pluie « It » :

L'intensité de l'averse It est donnée par la formule suivante :

$$I(t, T) = \frac{a(T)}{t^b}$$

- **I (t, T)** : Intensité de pluie exprimée en mm/h ;
- **T** : Période de retour exprimée en années ;
- **t=Tc** : Temps de l'averse égal au temps de concentration (h) ;
- « **a** » et « **b** » : paramètres de Montana avec $b=0.64$;

| T | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
|------|----|------|------|------|------|------|
| A(T) | 17 | 23.8 | 28.3 | 32.6 | 38.2 | 42.3 |

Tableau 30 : Valeurs du paramètre de Montana « a ».

Temps de concentration « Tc »

La durée « t » de l'averse qui produit le débit maximum Q étant prise égale au temps de concentration.

- Lorsque $A < 5 \text{ Km}^2$: $t_c = 0.127 \sqrt{\frac{A}{P}}$
- Lorsque $5 \text{ Km}^2 \leq A < 25 \text{ Km}^2$: $t_c = \frac{\sqrt[3]{AL}}{\sqrt{P}}$
- Lorsque $25 \text{ km}^2 \leq A < 200 \text{ Km}^2$: $t_c = \frac{1.5L + 4\sqrt{A}}{0.8\sqrt{H}}$
- **t_c**: temps de concentration (heure).
- **A** : superficie du bassin versant (Km²).
- **L** : longueur du bassin versant (Km).
- **H** : la différence entre la cote moyenne et la cote minimale (m).

VII.5.2. Débit de saturation

Le débit de saturation représente le débit maximal que le réseau peut absorber avant d'atteindre sa limite de capacité et de provoquer un débordement. Il est essentiel de dimensionner les ouvrages d'évacuation en prenant en compte ce débit pour éviter toute surcharge du réseau.

$$Q_s = SKst\sqrt[3]{R^{\frac{2}{3}}}$$

Q_s : Débit de saturation

S: Section mouillée.

Kst: Coefficient de rugosité (MAMING STICKLER).

- Parois en terre : Kst = 30
- En buses métalliques : Kst= 40
- Maçonneries : Kst = 50
- Béton : Kst = 70
- Buses préfabriquées : Kst = 80

I : Pente de l'ouvrage d'évacuation

RH : Rayon hydraulique, avec : $RH = \frac{\text{section de profil mouillé}}{\text{périmètre du profil}}$

VII.5.3. Dimensionnement des fossés

Les fossés sont des éléments de collecte et d'évacuation des eaux pluviales en bordure de chaussée. Leur dimensionnement dépend des critères suivants :

- **Pente du terrain** : Les fossés doivent être suffisamment inclinés pour permettre l'écoulement gravitaire de l'eau.

- **Débit à évacuer** : Plus le débit attendu est important, plus les fossés doivent être larges et profonds pour éviter tout débordement.

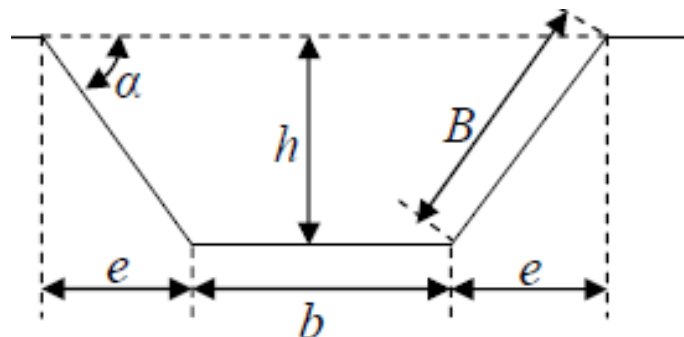


Figure 35 : Le fossé retenu

$Qa=Qs$

$$K. I. C. A = SKst\sqrt{I}R^{\frac{2}{3}}$$

S_m : surface mouillée

R_h : rayon hydraulique $R_h = \frac{S_m}{U}$

U, P_m : Périmètres mouillés

P : pente du talus, $P=1/n$

On fixe la base du fossé à ($b=100$ cm) et la pente du talus à ($1/n=1/1.5$) d'où la possibilité de calculer le rayon hydraulique en fonction de la hauteur h .

Calcul de la surface mouillée :

$$S_m = b \times h + 2 \frac{e \times h}{2}$$

$$tg \alpha = \frac{h}{e} = \frac{1}{n} \text{ d'ou } e = n \times h$$

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

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

Calcul du périmètre mouillé :

$$P_m = b + 2 \times B$$

Avec :

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

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

Calcul du rayon hydraulique :

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

$$Q_s = (K_{st} \times i^2 \times h \times (b + n \times h)) \times \left[\frac{h \times (b + n \times h)}{b + 2 \times h \times \sqrt{1 + n^2}} \right]^{\frac{2}{3}}$$

VII.5.4. Dimensionnement des dalots

Les dalots sont des conduits souterrains permettant l'évacuation des eaux sous la chaussée. Leur dimensionnement doit tenir compte des débits calculés et des contraintes hydrauliques. Ils doivent être suffisamment larges pour permettre l'écoulement sans causer de surpression.

On fixe la hauteur d'après la configuration du profil en long et on calcule la travée nécessaire et on fixe aussi la hauteur de remplissage à **$P=0.8 H$** .

Périmètre mouillé : $P_m = [12 \times 0.8 \times H] + L$

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

Rayon

mouillé :

$$R_m = \frac{S_m}{P_m} = 0.8 \times h + \frac{L}{1.6 \times h + L}$$

i: pente longitudinale de l'ouvrage

$$Q_s = K_{st} \times i^{\frac{1}{2}} \times S_m \times R \times h^{\frac{2}{3}}$$

$$Q_s = K_{st} \times i^{\frac{1}{2}} \times 0.8 \times h \times L \times \left[\frac{0.8 \times h \times L}{1.6 \times h + L} \right]^{\frac{2}{3}}$$

VII.6. Application au projet

Calcul de précipitation

$$P_j = \frac{pj_{moy}}{\sqrt{C_v^2 + 1}} \times e^{u \sqrt{\ln(C_v^2 + 1)}}$$

- Les précipitations moyennes de 24h : $P_{24} = P_{j_{moy}} = 60.35\text{mm}$
- Le coefficient de variation de la région considérée $C_v = 0.38$.
- L'exposant climatique de la région $b = 0.37$.
- Les précipitations maximales journalières de fréquence donnée P (%)

Les buses et les fossés seront dimensionnés pour une période de retour 10 ans. Donc la **variable de Gauss** $U = 1.28$

Pendant 10 ans, nous avons $f = 10\%$

Les dalots seront dimensionnés pour une période de retour 50 ans. Donc la **variable de Gauss** $U = 2.057$

Pendant 50 ans, nous avons $f = 2\%$

| Fréquence (%) | Période de retour (ans) | Variable de Gaussien |
|---------------|-------------------------|----------------------|
| 50 | 02 | 0.00 |
| 20 | 05 | 0.84 |
| 10 | 10 | 1.28 |
| 02 | 50 | 2.05 |

Tableau 31 : Les valeurs de variable de Gaussien en fonction de la fréquence

$$P_j(10\%) = \frac{60.35}{\sqrt{0.38^2 + 1}} \times e^{1.28} \times \sqrt{\ln(0.38^2 + 1)} = 90.27 \text{ mm}$$

$$P_j(2\%) = \frac{60.35}{\sqrt{0.38^2 + 1}} \times e^{2.05} \times \sqrt{\ln(0.38^2 + 1)} = 119.77 \text{ mm}$$

Calcul de l'intensité de l'averse

L'intensité horaire de l'averse est donnée par la relation suivante :

$$I = \frac{P_j(\%)}{24}$$

Pour $P_j(10\%) = 90.26 \text{ mm}$

$$I = \frac{90.26}{24} = 3.76 \text{ mm/h}$$

$$It = 3.76 \left(\frac{tc}{24} \right)^{b-1}$$

tc : temps de concentration pour des bassins versant

$$It = 3.76 \left(\frac{0.25}{24} \right)^{0.37-1} = 66.68$$

POUR $P_j(2\%) = 120.08 \text{ mm}$

$$I = \frac{119.77}{24} = 5 \text{ mm/h}$$

$$It = 5 \left(\frac{0.25}{24} \right)^{0.37-1} = 88.67$$

- Pour la chaussé :

Surface de chaussé : $A_{\text{chauss}} = H \times L \times 10^{-4} \text{ HA}$

Calculs des débits

Exemples de dimensionnement

Notre projet est au pied de (06) bassins versants dont les caractéristiques sont données dans le tableau suivant :

| N° BV | Surface du BV (Km ²) | Périmètre (Km) | Linéaire (Km) | Longueur (Km) | H _{max} (m) | H _{min} (m) | Débit (m ³ /s) |
|-------|----------------------------------|----------------|---------------|---------------|----------------------|----------------------|---------------------------|
| 1 | 0.19 | 2.5 | 1.200 | 1.01 | 530 | 660 | 0.634 |
| 2 | 0.083 | 1.15 | 0.314 | 0.28 | 701 | 630 | 0.739 |
| 3 | 2.7 | 7.01 | 0.437 | 1.90 | 870 | 600 | 2.103 |
| 4 | 0.52 | 1.3 | 0.540 | 0.25 | 720 | 640 | 0.854 |
| 5 | 0.62 | 5.09 | 0.268 | 0.83 | 770 | 635 | 0.609 |
| 6 | 0.047 | 0.9 | 1.480 | 0.24 | 767 | 680 | 2.398 |

Tableau 32 : Dimensions des bassins versants

Exemple de calcul d'un fossé (bassin versant n° 2) :

Calcul de surface :

- Surface de la chaussée

$$A_C = 12 \times 314 = 3768m^2 = 0.3768HA$$

- Surface du talus :

$$A_T = 10 \times 314 = 3140m^2 = 0.314HA$$

Calcul des débits d'apport (Qa) :

- Pour la chaussée

Données : CC=0.95 ; P=2.5% ; I(10%)=3.76mm/h ; AC=0.3768HA

$$T_C = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{P}} = 0.127 \times \sqrt{\frac{0.3768}{2.5}} = 0.046HA$$

$$It = I = 3.76 \times \left(\frac{0.046}{24}\right)^{0.37-1} = 193.72mm/h$$

$$Q_C = K \times C \times I \times A = 2.778 \times 10^{-3} \times 0.95 \times 193.72 \times 0.3768$$

$$Q_C = 0.168m^3/s$$

- Pour talus :

Données : C=0.25 ; P=66% ; I (10%) =3.76mm/h ; At=0.314HA

$$T_C = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{P}} = 0.127 \times \sqrt{\frac{0.314}{66}} = 0.008HA$$

$$I_t = I = 3.76 \times \left(\frac{0.008}{24}\right)^{0.37-1} = 581.14 \text{ mm/h}$$

$$Q_T = K \times C \times I \times A = 2.778 \times 10^{-3} \times 0.25 \times 581.14 \times 0.314$$

$$Q_T = 0.127 \text{ m}^3/\text{s}$$

Débit du bassin versant (n° 2) :

Le débit tiré du tableau suscité :

$$Q_{BV2} = 0.739 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donc le débit d'apport (**Qa**) sera :

$$Q_a = Q_C + Q_T + Q_{BV} = 0.168 + 0.127 + 0.739 = 1.034 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dimensionnement du fossé

Le profil en travers hypothétique du fossé est donné dans la figure ci-dessous :

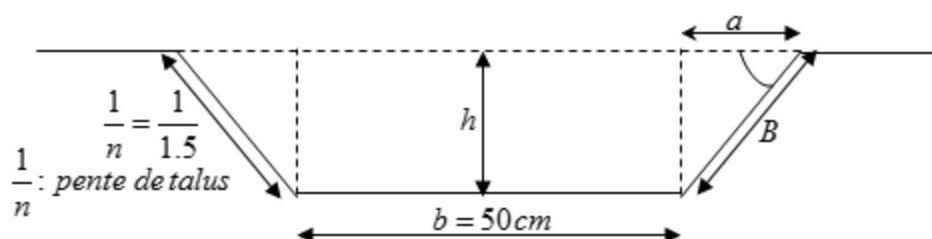


Figure 36 : Dimension du fossé

Les dimensions du fossé sont obtenues, en écrivant l'égalité du débit d'apport Q_a et débit de saturation Q_s .

$$\begin{aligned} Q_a = Q_s &= K \times I \times C \times A = K_{st} \times I^{\frac{1}{2}} \times S_m \times R_h^{\frac{2}{3}} \\ &= K_{st} \times I^{\frac{1}{2}} \times h \times (b + n \times h) \times \left[\frac{h \times (b + n \times h)}{b + 2 \times h \times \sqrt{n^2 + 1}} \right]^{\frac{2}{3}} \end{aligned}$$

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

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

$$R_h = \frac{S_m}{P_m}$$

La base du fossé est fixée $b=50\text{cm}$

La pente du talus est aussi fixée $\frac{1}{n} = \frac{1}{1.5}$

$$Q_a = 1.034 m^3/s; K_{st}=70 \text{ béton}; I=4\%$$

Après calcul itératif, on trouve $b = 0.45 \text{ m}$.

$$Q_s = 70 \times 0.04^{\frac{1}{2}} \times 0.45 \times (0.50 + 1.5^{-1} \times 0.45) \times \left[\frac{0.45 \times (0.50 + 1.5^{-1} \times 0.45)}{0.50 + 2 \times 0.45 \times \sqrt{(1.5^{-1})^2 + 1}} \right]^{\frac{2}{3}}$$

$$Q_s = 1.19 m^3/s > Q_a = 1.034 m^3/s \text{ C'est vérifié}$$

Exemple de calcul d'une buse (bassin versant n°1)

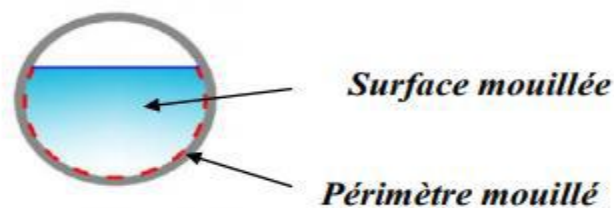


Figure 37 : Caractéristiques d'une buse

Surface de la chaussée :

$$A_C = 10.5 \times 1200 = 12600 m^2 = 1.26 HA$$

- Surface du talus :

$$A_T = 10 \times 1200 = 12000 m^2 = 1.2 HA$$

Calcul des débits d'apport Q_a :

- Pour chaussée : $C=0.95$; $P=2.5\%$; $I(10\%)= 3.76 mm/h$; $A= 1.44 HA$

$$T_C = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{P}} = 0.127 \times \sqrt{\frac{1.26}{2.5}} = 0.09 HA$$

$$I_t = I = 3.76 \times \left(\frac{0.09}{24}\right)^{0.37-1} = 126.92 mm/h$$

$$Q_C = K \times C \times I \times A = 2.778 \times 10^{-3} \times 0.95 \times 126.92 \times 1.44$$

$$Q_C = 0.422 m^3/s$$

- Pour talus: $C=0.25$; $P=66\%$; $I(10\%)=3.76 mm/h$; $A_T=1.2 HA$

$$T_C = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{P}} = 0.127 \times \sqrt{\frac{1.2}{66}} = 0.017HA$$

$$I_t = I = 3.76 \times \left(\frac{0.017}{24}\right)^{0.37-1} = 362.69mm/h$$

$$Q_T = K \times C \times I \times A = 2.778 \times 10^{-3} \times 0.25 \times 362.69 \times 1.2$$

$$Q_T = 0.302m^3/s$$

Débit du bassin versant (n° 1) :

Le débit tiré du tableau suscité :

$$Q_{BV2} = 0.634m^3/s$$

Donc le débit d'apport (**Qa**) sera :

$$Q_a = Q_C + Q_T + Q_{BV} = 0.463 + 0.302 + 0.634 = 1.399m^3/s$$

Dimensionnement de la buse :

$$Q_a = Q_s = K \times I \times C \times A = K_{st} \times I^{\frac{1}{2}} \times S_m \times R_h^{\frac{2}{3}}$$

- S_m : Surface mouillée = $\frac{1}{2} \times \pi \times R^2$
- R_h : Rayon hydraulique = $\frac{R}{2}$
- K_{st} : 80 (pour les buses)
- I : La pente de pose qui vérifie la condition de limitation de la vitesse maximale d'écoulement à 4 m/s. Pour notre cas ; Nous avons $I = 2.5\%$

$$Q_a = K_{st} \times I^{\frac{1}{2}} \times S_m \times R_h^{\frac{2}{3}} = K_{st} \times I^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{1}{2} \times \pi \times R^2\right) \times \left(\frac{R}{2}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$R^{\frac{8}{3}} = \frac{2 \times 2^{\frac{2}{3}} \times Q_a}{K_{st} \times I^{\frac{1}{2}} \times \pi} = \frac{2 \times 2^{\frac{2}{3}} \times 1.358}{80 \times 0.025^{\frac{1}{2}} \times 3.14} = 0.108$$

$$R = 0.440m \Rightarrow D = 2 \times R = 0.868$$

Une fois le diamètre est calculé, on adoptera un diamètre normalisé commercial tel que :

Φ400; Φ500; Φ800; Φ1000; Φ1200; Φ1500; ...etc.

D'où le diamètre de la buse adopté est : **Φ1000**

Exemple de calcul d'un dalot (bassin versant n 6) :

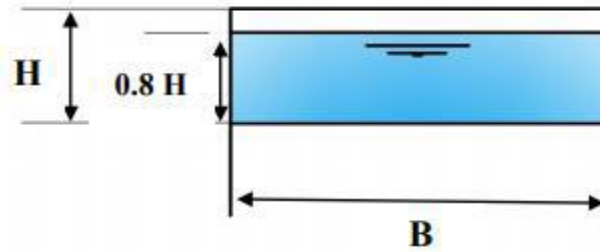


Figure 38 : Caractéristiques d'un dalot.

Calcul de surface

- Surface de la chaussée :

$$A_C = 10.5 \times 1480 = 15540m^2 = 1.554HA$$

- Surface du talus :

$$A_T = 10 \times 1480 = 14800m^2 = 1.48HA$$

Calcul des débits d'apport Qa :

- Pour chaussée : C=0.95 ; P=2.5% ; I(2%)= 5mm/h ; A= 1.554HA

$$T_C = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{P}} = 0.127 \times \sqrt{\frac{1.554}{2.5}} = 0.1HA$$

$$It = I = 5 \times \left(\frac{0.1}{24}\right)^{0.37-1} = 157.94mm/h$$

$$Q_C = K \times C \times I \times A = 2.778 \times 10^{-3} \times 0.95 \times 157.94 \times 1.554$$

$$Q_C = 0.647m^3/s$$

- Pour talus: C=0.25; P=66%; I (2%) =5mm/h; A_T=1.48HA

$$T_C = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{P}} = 0.127 \times \sqrt{\frac{1.48}{66}} = 0.019HA$$

$$It = I = 5 \times \left(\frac{0.019}{24}\right)^{0.37-1} = 449.66mm/h$$

$$Q_T = K \times C \times I \times A = 2.778 \times 10^{-3} \times 0.25 \times 449.66 \times 1.48$$

$$Q_T = 0.462m^3/s$$

Débit du bassin versant (6) :

Le débit tiré du tableau susité :

$$Q_{BV2} = 2.398m^3/s$$

Donc le débit d'apport (Q_a) sera :

$$Q_a = Q_C + Q_T + Q_{BV} = 0.647 + 0.462 + 2.398 = 3.507m^3/s$$

Dimensionnement du dalot :

Le dimensionnement des dalots est en fonction du débit maximum des eaux de ruissellement captées pendant le temps de concentration (t_c).

Dans notre projet, les dalots sont en béton armé, ce qui nous donne un coefficient de rugosité

$$K_{st}=70$$

$$Q_a = Q_s = K \times I \times C \times A = K_{st} \times I^{\frac{1}{2}} \times S_m \times R_h^{\frac{2}{3}}$$

- S_m : Surface mouillée = $0.8 \times H \times B$
- P_m : périmètre mouillé : $P_m = 1.6 \times H + B$
- R_h : Rayon hydraulique = $\frac{S_m}{P_m}$
- $I = 2.5\%$

$$Q_s = K_{st} \times \left(\frac{0.8 \times H \times B}{1.6 \times H + B} \right)^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \times 0.8 \times H \times B$$

$$H = \frac{1}{0.8 \times B} \times \left(\frac{Q_a}{K_{st} \times I^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{5}} \times (1.6 \times H + B)^{\frac{2}{5}}$$

On fixe $B = 2m$ → et par calcul itératif, on trouve : $H = 1.5m$

Alors on prend un dalot de 2m de hauteur et 1.5m de largeur ($1.5m \times 2m$).

$$Q_s = 70 \times \left(\frac{0.8 \times 1.5 \times 2}{1.6 \times 1.5 + 2} \right)^{\frac{2}{3}} \times 0.025^{\frac{1}{2}} \times 0.8 \times 1.5 \times 2$$

$$Q_s = 17.71m^3/s$$

$$Q_s = 17.71m^3/s > Q_a = 3.557m^3/s \quad \text{C'est vérifié}$$

VII.7. Conclusion

L'hydraulique et l'assainissement sont des composantes essentielles de tout projet d'infrastructure routière. Une bonne gestion des eaux pluviales et souterraines permet d'assurer la durabilité de la chaussée, la sécurité des usagers et la protection de l'environnement. Chaque ouvrage, qu'il s'agisse des réseaux de collecte, des liaisons transversales, des bassins de rétention ou des exutoires, joue un rôle crucial dans l'efficacité du système de drainage. En prenant en compte les caractéristiques du bassin versant, les débits d'apport et le dimensionnement correct des ouvrages, on peut éviter des problèmes tels que les inondations, l'érosion ou la pollution des cours d'eau. L'objectif final est de concevoir un réseau de drainage capable de faire face aux conditions météorologiques les plus extrêmes tout en minimisant l'impact environnemental des infrastructures.

Chapitre VIII

Equipement de la route

VIII.1. Introduction

Les équipements de la route englobent tous les dispositifs et aménagements nécessaires pour assurer la sécurité et le confort des usagers, faciliter la circulation et minimiser les risques d'accidents. Une route bien équipée améliore la fluidité du trafic, réduit les comportements dangereux et optimise les conditions de conduite, tout en respectant les normes et les exigences environnementales. Ce chapitre détaillera les composantes essentielles de l'équipement routier et leur intégration dans les projets de construction et de réhabilitation des routes.

VIII.2. Sécurité

VIII.2.1. Introduction

La sécurité routière est un impératif fondamental dans le design des infrastructures routières. Les dispositifs de sécurité ont pour but de prévenir les accidents, de protéger les usagers de la route et de minimiser les conséquences en cas de collision. Une attention méticuleuse à la sécurité contribue à réduire les accidents, à protéger les piétons et les cyclistes, et à garantir une circulation fluide.

VIII.2.2. Dispositifs de retenue

L'application des dispositifs de sécurité dans un projet routier nécessite une analyse approfondie des conditions locales et des besoins spécifiques :

- **Analyse des Risques** : Identifier les zones à risque, telles que les intersections complexes, les virages serrés, les pentes abruptes, et les zones de fort trafic. Cette analyse permet de déterminer où les dispositifs de sécurité sont les plus nécessaires.
- **Choix des Dispositifs** : Sélectionner les dispositifs en fonction des caractéristiques de la route et des résultats de l'analyse des risques. Par exemple, les garde-corps seront plus adaptés pour des routes en pente, tandis que les ralentisseurs seront efficaces dans les zones résidentielles.
- **Intégration et Conception** : Veiller à ce que les dispositifs de sécurité soient intégrés dans le design routier de manière harmonieuse et fonctionnelle, tout en respectant les normes de sécurité en vigueur. L'intégration doit aussi considérer l'impact sur le trafic et l'esthétique de la route.
- **Maintenance et Évaluation** : Mettre en place un programme de maintenance régulier pour garantir que les dispositifs de sécurité restent en bon état et efficaces. Évaluer

régulièrement leur performance pour ajuster ou améliorer les dispositifs en fonction des nouvelles données de trafic et des incidents.

Les dispositifs de sécurité routière incluent une gamme variée d'équipements et d'aménagements, chacun conçu pour répondre à des besoins spécifiques :

- **Garde-corps et Barrières de Sécurité**

Ces dispositifs sont essentiels pour prévenir les sorties de route, en particulier dans les zones à risque élevé comme les bords de routes en pente, les ponts, et les virages dangereux. Les garde-corps peuvent être fabriqués en métal, en béton ou en matériaux composites, et sont installés en fonction de la nature du risque et des conditions environnementales. Les barrières de sécurité doivent répondre à des normes de résistance aux chocs pour garantir leur efficacité en cas de collision.

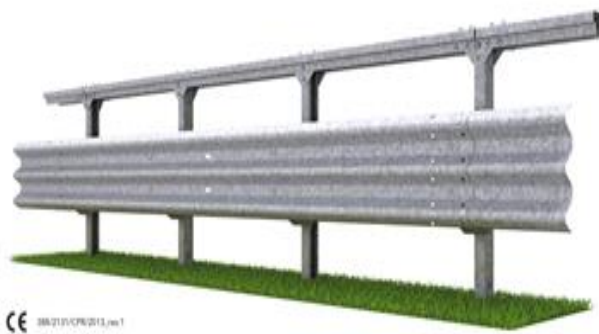


Figure 39 : Garde-corps et Barrières de Sécurité

- **Réducteurs de Vitesse**

Incluent des ralentisseurs, des chicanes et des zones de limitation de vitesse. Les ralentisseurs sont souvent utilisés dans les zones résidentielles et près des écoles pour forcer les véhicules à réduire leur vitesse. Les chicanes modifient le tracé de la route pour inciter les conducteurs à diminuer leur vitesse. Les zones de limitation de vitesse doivent être clairement signalées et intégrées dans le design routier pour assurer une conformité efficace.

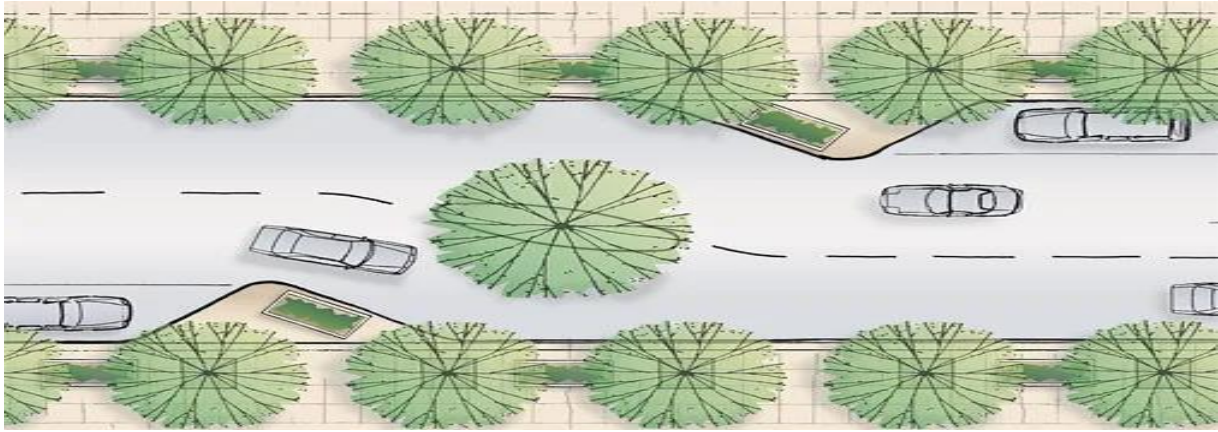


Figure 40 : Exemple de chicane

- **Murets de Béton :** Utilisés pour séparer les voies de circulation ou protéger les piétons des véhicules. Les murets peuvent également servir de protection contre les obstacles fixes, comme les poteaux ou les arbres, situés à proximité de la route.
- **Systèmes de Détection et d’Alerte :** Ces systèmes, qui incluent des capteurs de vitesse, des caméras de surveillance et des dispositifs de détection de collisions, permettent une surveillance active de la circulation et fournissent des alertes en temps réel pour prévenir les comportements dangereux.

VIII.2.3. Application au Projet

Pour notre projet, des glissières de sécurité rigides seront installées sur l'ensemble de l'itinéraire. Ces glissières seront placées sur le terre-plein central (TPC).



Figure 41 : Glissière métallique

VIII.3. Signalisation

VIII.3.1. Introduction

La signalisation routière est un élément fondamental pour guider les conducteurs, réguler le trafic, et assurer la sécurité sur les routes. Elle comprend divers dispositifs visuels et lumineux qui fournissent des informations essentielles sur les règles de circulation, les dangers potentiels et les conditions routières.

L'intégration de la signalisation dans un projet routier implique plusieurs étapes :

- **Évaluation des Besoins** : Analyser les caractéristiques de la route, le volume de trafic, les zones à risque, et les exigences réglementaires pour déterminer le type et la quantité de signalisation nécessaire.
- **Conception et Placement** : Concevoir la signalisation en fonction des normes locales et internationales, en tenant compte de la visibilité, de l'emplacement et de la lisibilité. Le placement doit être stratégique pour garantir que les informations sont fournies au moment et à l'endroit appropriés.
- **Installation et Maintenance** : Installer la signalisation selon les plans de conception et mettre en place un programme de maintenance pour assurer la propreté, la visibilité, et la fonctionnalité des dispositifs. Cela inclut la vérification régulière de l'état des panneaux et des marquages au sol, ainsi que le remplacement des éléments endommagés.

VIII.3.2. Types de Signalisation

La signalisation routière se divise en trois grandes catégories :

- **Signalisation Verticale** : Panneaux fixés sur des poteaux, visibles de loin, offrant des informations et des instructions. Les panneaux doivent être conçus pour être lisibles à différentes distances et dans diverses conditions de visibilité.

Ces panneaux incluent des panneaux de réglementation (comme les limitations de vitesse et les interdictions), des panneaux d'avertissement (comme les virages dangereux et les passages à niveau), et des panneaux d'indication (comme les directions et les points d'intérêt).

VIII.3.3. Application au Projet

- **Signalisation horizontale :**

Lignes continue



Lignes discontinue



Figure 44 : Lignes continue et discontinue

- **Signalisation verticale :**

Panneaux de signalisation d'avertissement de danger types A.



Figure 45 : Signaux d'avertissement de danger.

- **Signalisation de direction**

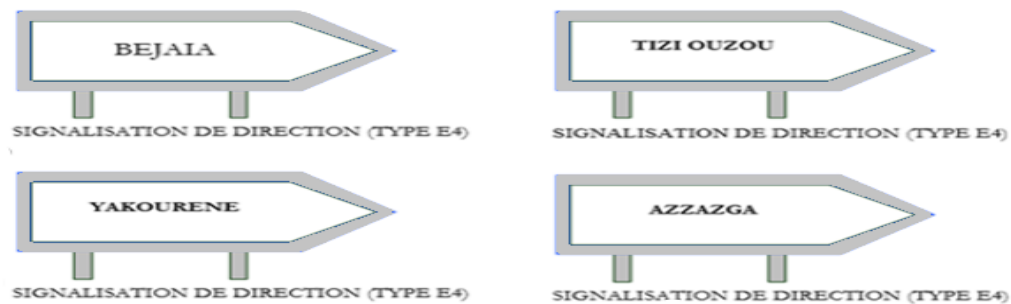


Figure 46 : Panneaux de direction.

VIII.4. Éclairage

VIII.4.1. Introduction

L'éclairage routier est essentiel pour améliorer la visibilité, la sécurité, et le confort des usagers pendant la nuit ou en conditions de faible luminosité. Un éclairage adéquat réduit les risques d'accidents, améliore la conduite nocturne et contribue à la sécurité des piétons et des cyclistes.

L'application de l'éclairage d'un projet routier nécessite :

- **Analyse des Besoins en Éclairage** : Évaluer la densité du trafic, les conditions de visibilité, et les caractéristiques spécifiques de la route pour déterminer les exigences en matière d'éclairage.
- **Sélection des Équipements** : Choisir des luminaires adaptés aux besoins du projet en termes de performance, d'efficacité énergétique, et de coût. Les équipements doivent également respecter les normes de sécurité et environnementales.
- **Installation et Maintenance** : Planifier l'installation des luminaires pour garantir une couverture adéquate et une intégration harmonieuse avec le design routier. Mettre en place un programme de maintenance régulier pour vérifier le fonctionnement des luminaires, nettoyer les équipements, et remplacer les éléments défectueux.

VIII.4.2. Catégories d'Éclairage

Les principales catégories d'éclairage sont :

- **Éclairage Général** : Fournit une illumination uniforme sur les longues sections de route, facilitant la conduite et la visibilité des obstacles. Les luminaires utilisés doivent offrir une bonne répartition de la lumière pour éviter les zones d'ombre et les éblouissements.

- **Éclairage Ponctuel** : Cible des zones spécifiques telles que les intersections, les passages piétons, et les entrées de tunnels. Cet éclairage est crucial pour attirer l'attention des conducteurs sur des zones où une vigilance accrue est nécessaire.

- **Éclairage de Sécurité** : Utilisé dans des zones telles que les parkings, les aires de repos, et les passages piétons. L'éclairage de sécurité doit garantir une visibilité suffisante pour prévenir les accidents et offrir un environnement sûr aux usagers.

VIII.4.3. Paramètres d'implantation des luminaires

Les paramètres d'implantation des luminaires incluent :

- **Distance entre les Luminaires** : Déterminée en fonction de la luminosité requise, du type de route, et des caractéristiques des luminaires. Une distance optimale assure une couverture uniforme et évite les zones mal éclairées.

- **Hauteur des Mâts** : Influe sur la répartition de la lumière. Des mâts plus hauts permettent une meilleure diffusion de la lumière, tandis que des mâts plus bas peuvent concentrer l'éclairage sur des zones spécifiques.

- **Type de Luminaires** : Choix entre divers types de luminaires tels que les LED, les lampes à sodium haute pression, et les lampes au mercure. Les choix doivent prendre en compte les critères d'efficacité énergétique, de durabilité, et de coût.

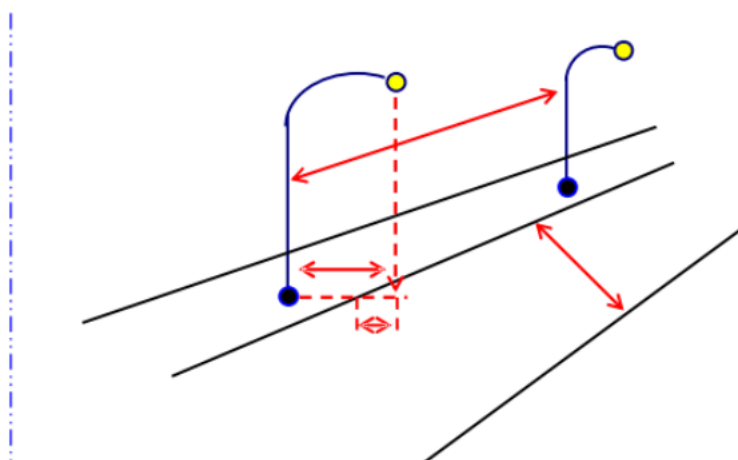


Figure 47 : Paramètre de l'implantation des lumières

VIII.4.4. Application au Projet

La bordure du TPC doit être parfaitement visible, on adopte à cet effet des dispositifs lumineux on place. Ensuite, les foyers doivent être suffisamment rapprochés pour que les plages d'éclairage se raccordent sans discontinuité. La hauteur des foyers est en général de 8 à 12m, ainsi l'espacement des supports varie de 20 à 30 m de façon à avoir un niveau d'éclairage équilibré pour les deux sens de notre route.

VIII.5. Conclusion

Les équipements de la route, comprenant la sécurité, la signalisation, et l'éclairage, sont fondamentaux pour assurer un fonctionnement efficace et sécurisé des infrastructures routières.

En effet, les dispositifs de sécurité réduisent les risques d'accidents et protègent les usagers en cas de collision. La signalisation guide les conducteurs et régule le trafic, facilitant ainsi la navigation et la conformité aux règles de circulation. L'éclairage améliore la visibilité et réduit les risques nocturnes, contribuant à une conduite plus sûre. Une intégration minutieuse et conforme aux normes de ces équipements est essentielle pour garantir la sécurité, la fonctionnalité et le confort des routes, tout en respectant les exigences réglementaires et environnementales. Une attention continue à la conception, à l'installation, et à la maintenance de ces équipements assure leur efficacité et leur durabilité, contribuant ainsi à la création d'infrastructures routières sûres et fonctionnelles.

Chapitre IX

Impact sur l'environnement

IX.1. Introduction

L'impact des projets routiers sur l'environnement est un sujet de préoccupation croissante dans le contexte actuel de développement durable. Les infrastructures routières, bien qu'essentielles pour le transport et l'économie, peuvent avoir des effets néfastes sur les écosystèmes, la biodiversité et la qualité de l'air. La construction et l'entretien des routes entraînent souvent la destruction d'habitats naturels, l'érosion des sols et une augmentation des émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, il est crucial d'évaluer et de minimiser ces impacts pour favoriser un développement équilibré qui respecte à la fois les besoins humains et ceux de la planète. Tout cela en s'appuyant sur la réglementation mise en vigueur par l'état.

IX.2. Cadre juridique

L'étude d'impact d'un projet d'infrastructure en Algérie, se fait conformément au décret n° 90-78 du 27 février 1990, stipulant qu'une telle étude doit comprendre :

- Une analyse détaillée du projet.
- Une analyse de l'état initial du site et de son environnement.
- Une analyse des conséquences prévisibles, directe et indirecte, à court, moyen et long terme du projet sur l'environnement.
- Les raisons, les justifications techniques et environnementales du choix du projet.
- L'estimation des coûts correspondants à l'étude de ces impacts.

Voici quelques-unes de ces lois

L'activité du site est soumise à la législation sur les installations classées pour la protection de l'environnement. Les principaux lois et décrets régissant cette activité ainsi que les équipements installés sont :

- Loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;
- Loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets ;
- Loi n° 01-20 du 12 Décembre 2001, relative à l'aménagement et au développement durable du territoire, qui remplace et abroge la loi 87-03, relative à l'aménagement du territoire ;
- Loi n° 88-07 du 26 janvier 1988 relative à l'hygiène à la sécurité et à la médecine du travail ;
- Loi n°83-17 du juillet 1983 portant code des eaux, modifier et compléter par l'ordonnance n° 96-13 du 15 juin 1996 ;

- Décret exécutif n° 09-335 du 20 octobre 2009 fixant les modalités d'élaboration et de mise en œuvre des plans internes d'intervention par les exploitants des installations industrielles ;
- Décret exécutif n° 07-145 du 19 mai 2007 déterminant le champ d'application,

IX.3. Définitions

1. L'environnement

L'environnement désigne l'ensemble des éléments naturels et artificiels qui entourent un organisme ou un groupe d'organismes, incluant les facteurs physiques, biologiques et chimiques. Cela englobe :

- **Les éléments naturels** : comme l'air, l'eau, le sol, la flore et la faune.
- **Les écosystèmes** : les interactions entre ces éléments, comme les forêts, les rivières et les océans.
- **Les éléments humains** : tels que les villes, les infrastructures et les activités industrielles qui influencent ou modifient ces éléments naturels.

IX.4 Etude d'impact sur l'environnement

Les aspects environnementaux sont identifiés en analysant les interactions entre l'activité exploitée et les composantes environnementales du milieu. Cette activité est considérée comme source pouvant engendrer des changements d'une ou de plusieurs composants environnementaux sensibles.

Chaque élément de l'activité est examiné en fonction de ses effets potentiels sur chacune des composants de l'environnement. Les interactions possibles entre les différents composants environnementales sont à considérer.

Les sources d'impact potentielles sont notamment liées :

- Au fonctionnement des engins durant le chantier (le bruit, les rejets dans l'atmosphère, les rejets liquides, la gestion des déchets et des matériaux dangereuse.....).
- A la circulation automobile après la réception du projet (le bruit, les rejets dans l'atmosphère, les rejets liquides...).
- Aux travaux d'entretien dans le futur et éventuellement de réfection de la chaussée.

IX.4.1 Alternative « sans projet »

L'analyse de cette alternative relative à « l'abandon du projet » et au non construction de l'aménagement de la RN 12 en 2x3 voies (Azazga – limite de la wilaya de Bejaia) a montré que, les impacts environnementaux liés à l'exploitation de la route actuelle la RN 12 ne feront qu'empirer en termes de risques de pollution, de risques d'accidents, et de risque de dégradation des zones traversées. L'accroissement régulier et important du trafic lié à l'augmentation démographique et au développement des activités économiques, les difficultés insurmontables d'aménagement et d'entretien de la RN 12 sont autant de facteurs qui seront à l'origine des impacts négatifs sur l'environnement. L'alternative « sans projet » est donc une solution à éviter.

IX.4.2. Alternative Projet

2-1 Impact Positif

Vu la situation de cette route, en dehors de la ville ce tronçon de route va présenter des aspects positifs indéniable à la population de Yakouren et à son environnement.

a- Impacts Positifs Directs

- L'amélioration de la sécurité routière : le transfert de trafic de la RN 12 va présenter de meilleures caractéristiques géométriques moins accidentelles implique sûrement l'amélioration de la sécurité routière.
- L'amélioration des conditions de circulation : surtout la réduction des nuisances (pollution de l'air et bruit) du fait du report d'une partie du trafic de la route nationale N° : 12 vers la Wilaya de Bejaia.

b- Impacts Positifs Indirects

Sur les activités socio-économiques et le développement régional. En effet, la réalisation du projet aura un effet bénéfique sur les entreprises dès lors qu'il y aura un élargissement significatif de l'offre de biens et service de ses aires de marché potentielles grâce à une meilleure accessibilité via la nouvelle route.

- ❖ La création de nouveaux emplois : L'augmentation d'activités par la création d'emplois temporaires (du fait de la construction du projet au profit de la main d'œuvre locale).
- ❖ Le développement du tourisme suite aux connexions des secteurs touristiques importants, dont l'impact sera globalement positif et fort, en améliorant la desserte ; l'accessibilité aux sites touristiques ; et le soutien de l'artisanat local qui trouvera un marché auprès des touristes.

2-2 Impacts Négatifs

Les principaux impacts négatifs potentiels du projet les plus significatifs concernent :

- ✓ L'expropriation des terres, situées dans l'emprise du projet ;
- ✓ Les risques de pollution des oueds et points d'eau situés à proximité du projet ;
- ✓ Les coupures temporaires des réseaux (routes, eau, électricité, ...) ;
- ✓ Les impacts négatifs sur la forêt de Yakouren ;
- ✓ Le manque à gagner pour les commerçants implantés sur la route nationale RN12.

De façon plus détaillée, on distingue les impacts en phase travaux et ceux intervenant en phase exploitation.

IX.4.3. Impacts pendant la phase de travaux

➤ Milieu physique

Pendant la phase de construction les impacts négatifs sur le milieu naturel sont en premier lieu les impacts classiques d'un chantier de construction de route dont :

- les émissions de poussières et les pollutions atmosphériques affecteront la qualité de l'air.
Les nuisances acoustiques liées à la circulation des engins de chantier.
- les risques de contamination des sols et des ressources hydriques liés aux accidents probables avec des produits dangereux utilisés
- le risque de perte du couvert végétal et de dégradation de sols suite à l'installation du chantier.
- les risques de pollution de ces milieux due aux rejets d'eaux usées et de déchets solides du chantier (logements et bureaux).

1- Poussières

Les travaux de terrassement induisent l'extraction le transport et l'évacuation des déblais, le décapage du sol et les travaux de nivellement génèrent des nuages de poussières dans un chantier.

La préparation du béton, les gaz d'échappement des engins, Les mouvements allés et retour des engins de travaux publics sur les surfaces décapés constituent également des sources importantes de poussières.

La dispersion des poussières et autres particules s'accroît en présence des vents et peut atteindre d'autres espaces se trouvant dans l'axe des vents dominants. Cependant, il faut noter

que la période des travaux influe sur l'apparition des poussières et leur dispersion. Par temps sec contrairement à un temps humide, il y aura plus de poussières et se disperse facilement au vu de leur faible diamètre. Cet impact peut être évité en procédant à l'arrosage des lieux pendant ces opérations.

2- Déchets

Les principales sources de déchets au niveau d'un chantier sont : les déblais de l'excavation des fouilles pour fondations et du décapage du sol, les déchets ménagers et les déchets inertes, ainsi que les lubrifiants usagés qui constituent des déchets spéciaux.

Les volumes des déchets ménagers, des déchets inertes et des déchets spéciaux sont en relation directe avec l'importance du chantier (le nombre du personnel affecté et des engins utilisés au chantier).

Les déblais et les remblais issus de l'excavation et du décapage, sont des déchets inertes pouvant être réutilisables facilement au niveau de chantier.

Les autres déchets inertes constitués par les restes de bois, de ferraille, d'emballages devront être récupérés pour mise en décharge.

3- Rejets Liquides

Les activités sur le chantier, nécessitent l'utilisation de l'eau. Elle répond aux besoins domestiques et des travaux. Son utilisation se fait notamment à travers les opérations d'arrosage lors des travaux de terrassement et de transport, lors des opérations de production de béton, et également pour les besoins de salubrité et d'hygiène du personnel. A ce sujet, des quantités importantes sont nécessaires en période de forte activité.

Après ces opérations, les eaux utilisées se chargent de matières en suspensions et peuvent être contaminées par les produits manipulés sur le chantier. Ces eaux usées peuvent s'infiltrer et contaminer le milieu naturel. A ce titre, afin d'éviter une forte contamination des sols, il y a lieu de prévoir la rétention des eaux chargées et fortement contaminées dans un bassin de décantation. Aussi, une attention particulière devra être accordée à l'utilisation des eaux.

Le risque de contamination des eaux superficielles est occasionné par les engins de transport. L'incidence sur la qualité des eaux est insignifiante et se situe au niveau des matières en suspension (MES) et les hydrocarbures due à la circulation des moyens roulants.

Vu l'étendu limité du projet environs 25 km, les risques de pollution par les poussières et les émissions des gaz d'échappement existent mais sont limités dans l'espace et dans le temps.

De même pour la pollution hydrique qui se limite aux eaux usées du chantier.

Tout ce qui est déchets solides (la terre excavée, les gravats, gravier ...) sont considérés comme déchets inertes ne présentent pas de danger pour l'environnement.

➤ **Milieu biologique**

- Nuisances liées à la circulation des véhicules (augmentation de la mortalité par collision) et des engins de chantier, au bruit, à l'émission de poussières et de polluants ;
- Perturbations liées à l'introduction d'une barrière terrestre ;
- Destruction ou perturbation de sites favorables aux différentes espèces ;
- Risque d'incendie.

La région est une zone forestière, il y a un écosystème particulier qui est susceptible d'être perturbé par ce projet, les effets néfastes du chantier sur le milieu biologique, sont importante vue que la route passe au milieu de forêt.

➤ **Milieu humain**

- Les surfaces d'emprise de terrains seront à exproprier et auront pour effet direct de réduire la production agricole dans sa diversité ;
- les bruits, les vibrations et les émissions constituent des impacts qui pourraient avoir une influence sur la santé des riverains et des ouvriers ;
- La circulation des camions et engins de chantier pourra également causer des accidents ;
- Manque à gagner pour les agriculteurs dont les terrains sont concernés par les travaux ;
- Impact visuel des chantiers et des bases de vie.

Le fait que le chantier soit relativement loin de l'agglomération de Yakouren l'impacte sur la population est faible (sauf le déplacement de quelques habitants) , n'es-au-moins l'augmentation du nombre de poids lourds liée au chantier va présenter une augmentation du risque de pollution de l'aire et une nuisance sonore, de plus les ouvriers du chantier sont directement exposé au poussière, bruit, et vibrations de ce fait des disposition doivent être prise pour les protégé, contre les poussières et les émanations d'hydrocarbures pendant la phase de bitumage (masque de protection, casque antibruit, ...).

XI.4.4 Impacts pendant la phase d'exploitation

➤ **Milieu Physique**

- Risques de pollution chronique (eaux de ruissellement de la chaussée, huiles, hydrocarbures), de pollution saisonnière (herbicides pour entretien de la route) ou de pollution accidentelle (déversement de produit dangereux),
- Artificialisation des cours d'eau, modification des bassins versants, augmentation des risques d'inondation.

Le risque le plus notable à long terme c'est les eaux de ruissellement qui contiennent des huiles et des hydrocarbures plus les déversements accidentels qui peuvent contaminer le sol à proximité de la route, la présence de caniveaux peut y remédier en évacuant ces eaux vers le réseau d'assainissement de la ville.

➤ **Milieu Biologique**

- Nuisances liées à la circulation des véhicules, introduction d'une barrière ;
- Dégradation de la qualité des habitats de différentes espèces, diminution de la diversité écologique aux points de franchissement des oueds, risque d'incendie.

➤ **Milieu Humain**

- Nuisances pour les riverains de la route (bruit, gêne respiratoire) ;
- Manque à gagner pour les commerçants implantés sur le réseau routier existant ;
- Risque d'accidents et de contamination des forages, puits ou adductions d'eau potable située à proximité de la route ;
- Altération de la qualité, de la cohésion et/ou des devenirs des tissus urbains limitrophes, risque de développements urbains non maîtrisés ;
- Impact visuel.

| Composantes de l'environnement | Evaluation des impacts | |
|--|------------------------|----------------------|
| | Phase de chantier | Phase d'exploitation |
| Milieu physique Qualité de l'air Milieu hydrique Qualité des sols | Impact insignifiant | Impact insignifiant |
| Milieu biologique Faune terrestre Flore terrestre | Impact significatif | Impact significatif |
| Milieu humain Orientation d'aménagement et affectation du territoire Utilisation du sol et agriculture Infrastructure publique Qualité de vie | Impact insignifiant | Impact insignifiant |

Tableau 33 : Impacts environnementaux

X : impact faible
XX : impact moyen
XXX : impact important

**Figure 48 : La matrice
d'évaluation d'impact**

| | | Environnement atmosphérique | | | Environnement aquatique | Environnement terrestre | | Utilisation des ressources | | |
|--|-------------|-----------------------------|-------|-----------|-------------------------------|---------------------------------|------------------|----------------------------|------------|---------------|
| | | Poussière | Bruit | Vibration | Qualité de l'eau sédiments | Géologie, sol, hydrogéologie | Végétation faune | Aquatiques | Terrestres | Patrimoniales |
| Phase de réalisation et d'exploitation | Réalisation | Déboisement | | | X | | | | | |
| | | Aménagement des accès | X | X X | X | | | | | |
| | | Transport et circulation | X | X | | | | | | |
| | | Forage et sautage | X | X | X | | | | | |
| | | Modification du drainage | | | | | | | X | |
| | | Passage des cours d'eau | | | | | | | X | |
| | | Excavation et terrassement | X | X X | X | | X | X | | X |
| | | Erection de l'ouvrage | | X | | | | | | |
| | | Equipements connexes | | X | | | | X | | |

| | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------|---|---|---|-----|---|--|---|---|--|
| Exploitation | Présence de l'équipement | X | X | X | | | | | | |
| | Les produits contaminants | | | | | | | X | | |
| | Les déchets | | | | X X | X | | X | X | |
| | Fonctionnement de l'équipement | | | | | | | | | |
| | Entretien et réparation | | X | | | | | | | |
| | Transport et circulation | | X | | | | | | | |

Tableau 34 : phase de réalisation et d'exploitation

| SENSIBILITE DES MILIEUX AVOISINANTS | OUI | NON | Forte | Moyenne | Faible |
|---|------------|------------|--------------|----------------|---------------|
| <u>EAU</u> | | | | | |
| - Zone proche de la mer | | X | | | |
| - Cours d'eau proche | | X | | | |
| - Proximité d'une activité touristique ou de loisir | | X | | | |
| - Site situé en zone inondable | | X | | | |
| - Plaintes. | | X | | | |
| <u>AIR</u> | | | | | |
| - Zone fortement polluée | | X | | | |
| - Population /zone sensible à proximité ou sens vents dominants | X | | | X | |
| - Climat particulier durant certaines saisons (chaleur, brume, ...) | X | | | X | |
| - Zone résidentielle urbaine | | X | | | |
| - Plaintes | | X | | | |
| <u>BRUIT</u> | | | | | |
| - Zone sensible proche existante (gare ferroviaire, jardin, école, etc.) sens vents dominants | | X | | | |
| - Zone résidentielle urbaine proche existante | | X | | | |
| - Plaintes | | X | | | |
| <u>SOL ET SOUS-SOL</u> | | | | | |
| - Nappe phréatique à proximité du site et/ou à faible prof | X | | | | X |
| - Point de captage à proximité du site | X | | | X | X |
| - Sol particulièrement perméable | | X | | | X |

Tableau 35 : Sensibilité des milieux avoisinant

2. Mesures d'atténuations prévues ou préconisées

XI.4.5. Mesures A Prendre Pour Atténuer Le Bruit -Nuisance Sonores

Les nuisances sonores des projets routiers sont généralement ressenties par les riverains situés à moins de **150** mètres du projet. Des parois d'absorption et de réduction des ondes sonores sont généralement préconisées.

Celles –ci sont soit en remblai de terre en ras de compagnie, soit vitrées au passage des villages.

Dans le cadre du présent projet, à moins de réaliser des parois vitrées au passage des villages ce qui n'est pas encore dans les coutumes dans notre projet aucune paroi antibruit n'est à prévoir.

❖ **Bruits engendres par les engins et installation**

Les consignes suivantes devront être respectées pour atténuer le bruit :

- ✓ Des engins dont le niveau sonore homologué et conforme aux normes nationales en vigueur seront utilisés sur le chantier ;
- ✓ Un bon entretien du matériel par des visites fréquentes préventives devra être assuré ;
- ✓ Le remplacement immédiat des pièces usagées ou défectueuses devra être effectué.

XI.4.6. Mesures liées à la protection des eaux

La protection des eaux au droit des captages a pour objet d'empêcher l'infiltration dans la nappe phréatique de produits toxiques, provenant du renversement la fortuné d'un convoi spécial, ou des issues de la combustion Des carburants et de l'usure des véhicules.

Les mesures de protection consistent en la réalisation de merlon anti déversement aux droits des sections dangereuses du projet, les courbes à faible rayon par exemple, fossé en tranches en béton, bassins de traitements et de décantation.

En ce qui concerne les eaux de ruissellement, les seuls impacts qui peuvent nuire à leur état, sont ceux dus à la fuite accidentelle d'huiles et de carburants des engins et matériels roulants

A cet effet, la mesure consistant à veiller à assurer une bonne étanchéité des réservoirs et carters des engins d'extraction, de terrassement et de transport, par une bonne réalisation des opérations d'entretien et de maintenance préventive, devra être mise en place.

1- Mesures liées aux poussières

Pour diminuer les émissions de poussières, l'entrepreneur installera un système fixe ou mobile (camion-citerne) de pulvérisation eau, qui sera actionné au besoin. Toutes les sources de poussières (transport, terrassement...) feront l'objet d'une attention particulière. Les consignes suivantes seront observées :

- ✓ Pulvérisation d'eau ;
- ✓ Arrosage des pistes : une pulvérisation d'eau sous pression devra être réalisée aux principaux points d'émission pour fixer les poussières ;

Le chemin d'exploitation devra être empierré afin d'éviter l'envol de nuages de poussières par la circulation des engins et camions.

2- Mesures liées à l'hygiène et la sécurité des employés

Pour veiller d'une façon rigoureuse à la sécurité des chantiers, il est impératif d'intégrer dans le système organisationnel, la structure « *SECURITE DE CHANTIER* » qui s'occupera de la gestion, la formation, la sensibilisation du personnel exposé aux dangers.

Des rapports techniques devront être élaborés périodiquement par le responsable de cet organe en vue d'intervention ciblée en temps opportun sur les périmètres à risques.

3- Mesures liées aux déchets

En fonction de la nature des déchets, des traitements différents devront être mis en place :

- Les déchets ménagers et assimilés devront être collectés, entreposés (bacs ou caissons), et triés puis évacués selon nature vers le Centre d'Enfouissement Technique de la commune ou société de récupération.
- En ce qui concerne les déblais issus des travaux d'excavation et autres fouilles, terrassements, ils seront réutilisés pour édifier les remblais de faible hauteur ($H < 5m$) qui sont d'ailleurs prévus principalement. Les autres déchets inertes seront, quand à eux, dirigés vers le CET dédié à cet effet situé dans la commune ou dans les communes limitrophes.
- Des mesures doivent être prises pour éviter que ces déchets soient emportés, entraînés, dilués ou modifiés par des intempéries.

- Les déchets de produits d'entretien toxiques ou dangereux, y compris les huiles usagées et les huiles de graissage, doivent être stockés de façon séparée dans des récipients spécialement conçus à cet effet. Les récipients doivent être en matériaux résistant à la corrosion ou à toute autre attaque en provenance des produits qu'ils contiennent. Ils ne doivent pas être endommagés ou contenir des résidus, même en quantités minimales, de produits d'une utilisation antérieure. Ils doivent être fermés hermétiquement. Ces récipients doivent, soit disposer d'une cuve de rétention propre, soit être placés dans une cuve de rétention séparée. Elle doit avoir un volume suffisant pour contenir tout écoulement éventuel, y compris tout déversement pouvant se produire lors du transvasement des déchets. L'emplacement de cette cuve doit être choisi de sorte à ce que tout collecteur de déchets puisse y accéder facilement.

IX.5. Conclusion

Les aspects environnementaux sont déterminés en examinant les interactions entre l'activité projetée et les composantes du milieu naturel. Bien que ce projet ait un potentiel positif significatif pour la ville et la région, il engendrera également une dénaturation du milieu récepteur. La région, caractérisée par sa forêt, abrite un écosystème fragile qui pourrait être affecté par ce chantier. Les conséquences négatives sur le milieu biologique sont préoccupantes, étant donné que la route traverse directement la forêt.

Étant donné que le chantier est situé à une distance raisonnable de l'agglomération de Yakouren, son impact sur la population est limité. Cependant, l'augmentation du trafic de poids lourds liée au projet pourrait entraîner une pollution de l'air accrue et des nuisances sonores. De plus, les travailleurs sur le site seront exposés à la poussière, au bruit et aux vibrations. Il est donc essentiel de mettre en place des mesures de protection pour les préserver des poussières et des émanations d'hydrocarbures durant la phase de bitumage, comme des masques de protection et des casques antibruit.