République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة
فرنسـيس جانســون
École Nationale Supérieure des Travaux Publics
Francis Jeanson

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État / Master

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Matériaux & Structures

Thème

ÉTUDE D'UNE SECTION DE L'AUTOROUTE EST-OUEST ENTRE TAREF ET LA FRONTIÈRE TUNISIENNE, DU PK 339+900 AU PK 350+00, AVEC LA CONCEPTION D'UN ÉCHANGEUR AU PK 339+920.

Présenté par :

Mr. BENHARKAT Mohamed Djaballah.

Encadré par :

Mr. DERRADJI Ayachi.

Mme. BOUAZIZ Hayet.

Promotion 2022 /2023

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba


بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciements

Tout d'abord, je veux dire : « ALHAMDOULILAH GOD GAVE ME EVERYTHING ».

Toute mon parfait gratitude, grâce et remerciement à Allah le plus puissant et miséricordieux qui nous a donné le privilège, le courage et la volonté dans les moments difficiles pour élaborer ce travail.

Mes plus vifs remerciements vont à mes chers parents pour leur soutien, leurs encouragements et leur patience.

Je tiens également à remercier Mr. DERRADJI Ayachi, mon encadrant, pour sa patience et sa coopération tout au long de cette période.

Un grand merci à Mme. BOUAZIZ Hayet, ma Co-encadrante, pour ses conseils et son aide.

Je remercier les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail, l'enrichissement de leurs propositions et le temps qui me fait l'honneur de présider et examiner mon travail.

Je tiens également à exprimer ma gratitude envers tous les Enseignants et le personnel administratif de l'ENSTP qui ont contribué à notre formation et l'élaboration de ce présent travail.

Je remercie aussi le responsable et le personnel de l'ADA d'Alger qui m'ont porté soin dès le premier jour, ainsi que tout le personnel de l'ADA de Tarf.

Sans oublier, je tiens à remercier M. BOUSSOF M., M. KERKOUR F., M. NECIB Issam, M. BOUZOURENE Azzedine, et tout le groupement de l'ADA et la BCS au projet Tarf.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dedication

First of all, I want to thank Allah, Alhamdulillah all the time and in all circumstances.

Thank God for helping me throughout the tough period that I had in this last 3 months, all the nights in the hospital while I broke my leg and I was sick and tired, God was there for me and gave me tranquility and patience to go through that and get well and do this humble work so Alhamdulillah forever.

Second of all, I want to thank the reason of my existence and of me being here, my parents **Yacine** and **Asma** that I love so much and I appreciate, I would never get anywhere if it weren't for them so all of my success is theirs fully.

Also, I want to mention my little brothers **Oussama**, **Anes** and **Yahia**. I know sometimes I can be tough on you all but deep down I will always care for you and love you and be there for you when you need me, no matter what.

I want to mention my Groupe of friends, I'm not going to say any names except **THEBOYZ**, thank you all for everything you have done for me and being there for me through thick and thin, you have made my life so much more enjoyable and fun, you all are my brothers.

To my aunts and uncles, family and cousins, neighbors, everyone that has ever said a kind word to me or wished me luck or even thought about me and made Dua for me, **I love you to the moon and back**.

I'm always going to be grateful to have such a strong and good people around me so I really appreciate having you all in my life.

My life without any person that I mentioned in this statement would be a whole other life, so Alhamdulillah for you and may Allah grant me the will and power to be there for you all when it matters.

Sincerely, **Djoe.**

ملخص

يندرج مشروعي للتخرج في مجال البنية التحتية للنقل. يتمثل المشروع في إجراء دراسة أولية مفصلة لقسم بطول 10 كيلومترات من الطريق السريع الشرقي - الغربي، المرتبط بين ذرعان-طارف والحدود التونسية، من ن.ك 340+000 إلى ن.ك 350+000 , يتضمن المشروع أيضًا تصميم تقاطع في منطقة ذرعان، يسهل الربط بمحطة الوقود (أوراس).

الدراسات التي تمت في هذا المشروع شملت:

بدأت بتقديم المشروع بعرض موقعه وأهميته. تم أيضًا إجراء دراسة لحركة المرور لتحديد عدد المسارات المطلوبة للطريق السريع.

لقد احترمنا معايير دليل المشروع (**إكتال**) و ذلك في هاته الثلاث العناصر الرئيسية للمشروع: التخطيط الأفقي، المقطع الطولي، والمقطع العرضي. استخدمت برنامج التصميم **كوفاديس** لذلك. علاوة على ذلك تم إجراء دراسة جيوتقنية لتصنيف التربة المواجهة وتفسير ظروف استخدامه.

ثم، قمت بتصميم هيكل الطريق باستخدام طريقتين **سي بي ار** و**الكتالوج الجزائري**.و بالنسبة للدراسة الهيدرولوجية، استخدمنا برنامج **جلوبال مابر** لتحديد مناطق الحوض المائي والحصول على خصائصها الهندسية

قدمت أيضًا تصميم التقاطع وفقًا لإرشادات دليل التقاطعات التابع ل**لإكتال** بالإضافة إلى الإشارات المرورية وتقييم تأثير المشروع على البيئة والمحيط.

في الختام، قمت بحساب الميزانية التقديرية والكمية للمشروع وأكملت هذه المهمة بنجاح. تم أجريت خاتمة عامة شاملة لتلخيص جميع الأعمال المنجزة.

كلمات مفتاحية: طريق سريع، نقطة كيلومترية، جيوتقنية، تخطيط أفقي، مقطع طولي، مقطع عرضي، هيكل الطريق، تقاطع.

Résumé

Mon projet de fin d'études s'inscrit dans le domaine des infrastructures de transport. Il consiste à réaliser une étude en Avant-Projet Détaillé d'un tronçon de **10 km** de la section autoroutière de l'Autoroute Est-Ouest, reliant DREAN-Tarf jusqu'à la frontière tunisienne, du PK340+000 au PK350+000. Le projet comprend également la conception d'un échangeur au niveau de Drean, permettant la liaison avec la station d'essence Aures.

Les études menées dans ce mémoire comptent :

J’ai commencé par une présentation du projet pour montrer son emplacement et son importance. Cela étant une étude de trafic a fait sortir le nombre de voies de l’autoroute.

J'ai respecté les normes de l'**ICTAAL** en dévoilant les trois éléments du projet, à savoir le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers. J'ai utilisé le logiciel **COVADIS (Autopiste)** pour cela. De plus, une étude géotechnique a été réalisée afin de classifier les sols rencontrés et d'interpréter leurs conditions d'utilisation.

Ensuite, j'ai dimensionné le corps de chaussée en appliquant deux méthodes, le **CBR** et le **Catalogue Algérien**. Pour l'étude hydraulique, nous avons utilisé le logiciel **Global Mapper** pour délimiter les bassins versants et obtenir leurs caractéristiques géométriques.

J’ai également présenté la conception de l'échangeur selon **l'ICTAAL ECHANGEUR**, ainsi que la signalisation et l'étude d'impact sur l'environnement.

En conclusion, j’ai effectué le calcul du devis estimatif et quantitatif du projet, et j’ai achevé cette tâche avec succès. J’ai également inclus une conclusion générale pour récapituler l'ensemble du travail accompli.

Mots clés : Autoroute, Point Kilométré, géotechnique, tracé en plan, profil en long, profil en travers, corps de la chaussée, échangeur.

Abstract

My final year project is focused on the field of transportation infrastructure. It involves conducting a detailed preliminary study of a **10 km** section of the East-West Highway, connecting DREAN-Tarf to the Tunisian border, from PK340+000 to PK350+000. The project also includes the design of an interchange at Drean, facilitating the connection to the Aures gas station.

The key studies conducted in this project include: I began with a project presentation to showcase its location and significance. Additionally, a traffic study was conducted to determine the number of lanes required for the highway.

I adhered to **ICTAAL** standards by presenting the three key elements of the project: the plan layout, longitudinal profile, and cross-sectional profile. **The COVADIS (Autopiste)** software was utilized for this purpose. Furthermore, a geotechnical study was conducted to classify the encountered soils and interpret their usage conditions.

Subsequently, I dimensioned the pavement structure using two methods: **CBR** and the **Algerian Catalog**. For the hydraulic study, **the Global Mapper** software was employed to delineate watershed areas and obtain their geometric characteristics.

I also presented the design of the interchange according to the **ICTAAL ECHANGEUR** guidelines, along with the signage and environmental impact assessment.

In conclusion, I successfully estimated and quantified the project's budget and completed this task. A comprehensive general conclusion was included to summarize the entire work accomplished.

Keywords: Highway, Kilometer Point, Geotechnical, Plan Layout, Longitudinal Profile, Cross-Sectional Profile, Pavement Structure, Interchange.

ABREVIATION

APD	Avant-projet détaillé.
BAU	Bande d'arrêt d'urgence.
BDD	Bande dérasée droite.
BDG	Bande dérasée gauche.
BB	Béton bitumineux.
C.B.R	Californian-bearing - ratio.
CDF	Couche de forme.
CS	Couche de surface.
GB	Grave bitume.
G.N.T	Grave non traité.
SETRA	Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements.
GTR	Guide des terrassements routiers.
IP	Indice de plasticité.
ICTAAL	Instruction sur les conditions technique d'aménagement des autoroutes de liaison.
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.
PK	Point kilométrique.
TN	Terrains naturels.
TPC	Terre-plein central.
T.J.M.A	Trafic journalier moyen annuel.
PFi	Classe de plateforme.
TPLi	La classe de trafic de poids lourd.
ADA	Algérienne des autoroutes.
U.V.P	Unité de véhicule particulier.
VBS	Bleu de méthylène.
PS	Passage supérieur.
PI	Passage inférieur

Les Symboles

PL	Poids lourds.
n	Nombre d'année.
τ	Taux d'accroissement du trafic (%).
TCi	Trafic cumulé de poids lourds.
Teff	Trafic effectif a l'année d'horizon (U.V.P/J).
Z	Pourcentage de poids lourds (%).
P	Coefficient d'équivalence pour le poids lourd.
Q	Débit de pointe horaire, exprimé en (UVP/h).
1/n	Coefficient de pointe.
K1	Coefficient lié à l'environnement.
K2	Coefficient de réduction de la capacité.
N	Nombre de voies.
Qadm	Débit admissible par voie.
εz	Déformation verticale.
εt	Déformation horizontale.
Vb	Vitesse de base (km/h).
Rm	Rayon minimal.

Rnd	Rayon non déversé.
Rdn	Rayon minimal au divers normal.
dmin	Dévers minimal.
dmax	Dévers maximal.
Imax, min	Déclivité maximale, minimale.
L	Longueur de raccordement.
∆d	Variation des devers.
l	Largeur de la chaussée.
wp	Limite de plasticité.
wl	Limite de liquidité.
Ip	L'indice de plasticité.
A	Facteur d'agressivité globale du trafic.
C	Facteur de cumul.
Eeq	Epaisseur équivalente.
BV	Bassin versant.
Hmax	Altitude maximale (m).
Hmin	Altitude minimale (m).
lc.e	Longueur du thalweg (km).
I	Pente longitudinale du thalweg.
Tc	Temps de concentration.
L	Longueur du bassin (km).
I	Pente moyenne du Bassin Versant (m/m).
H	Différence entre l'altitude maximale et minimale du bassin (m).
Qa	Débit d'apport.
Qs	Débit de saturation.
It	Intensité de la pluie, mm/h.
C	Coefficient de ruissellement.
K	Coefficient de conservation.
S	Superficie du bassin versant, Km2.
a(t)	Coefficient de Montana.
b	Exposant climatique.
Pm	Périmètre mouillé.
Sm	Surface mouillée.
Qps	Débit à pleine section.
Vps	Vitesse à pleine section.
Ve	Vitesse d'écoulement.
Rh	Rayon hydraulique.
Kst	Coefficient de Maning Strickler.

SOMMAIRE

INTRODCUTION GENERALE 1

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES ROUTES ET RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Introduction : 2
I.2 L'ouvrage routier : 2
I.3 Courbes de niveaux : 2
I.4 Conception plane : 2
I.4.1. Tracé en plan : 2
I.4.2. Profil en long : 3
I.4.3. Profil en travers : 4
I.5 Les terrassements : 5
I.5.1. Types de terrassements : 5
I.5.2. Réseaux enterrés : 5
I.5.3. Blindage des fouilles : 5
I.6 Stabilité des talus : 6
I.6.1. Méthodes d'analyse de la stabilité des talus : 6
I.6.2. Facteurs influençant la stabilité des talus : 6
I.6.3. Mesures de stabilisation des talus : 6
I.7 Structure de chaussée : 7
I.7.1. Définition : 7
I.7.2. Détermination d'une chaussée : 7
I.7.3. Matériaux utilisés dans la construction des chaussées : 7
I.8 Les dégradations des chaussées : 7
I.8.1. Le vieillissement normal de la chaussée : 8
I.8.2. Le vieillissement anormal de la chaussée : 8
I.8.3. Autres facteurs de vieillissement anormal de la chaussée : 8
I.9 Les désordres principaux : 8
I.9.1. Les déformations : 8
I.9.2. Les fissures : 8
➢ Le faïençage : 9
I.9.3. Les arrachements : 9
I.9.4. Les mouvements des matériaux : 9
I.10 Entretien du réseau routier : 9
I.11 Conclusion : 9

CHAPITRE II: PRESENTATION DU PROJET

SOMMAIRE

II.1 Introduction : 10
II.2 Description de la zone d'étude : 10
II.2.1. Topographie : 11
II.2.2. Climatologie : 11
II.2.3. Hydrologie : 12
II.2.4. Sismicité : 12
II.3 Présentation du projet : 13
II.3.1. Historique de l'étude : 13
II.3.2. Description du projet : 14
II.3.2.1. Section 1 de la Wilaya d'El-Tarf 14
II.3.2.2. Présentation du projet des 84 Km : 14
II.3.3. Encadrement géologique : 14
II.3.4. Encadrement hydrogéologique : 15
II.4 Objectifs de projet : 15

CHAPITRE III : ETUDE DE TRAFFIC

III.1. Introduction : 16
III.2. Différents types de trafic : 16
III.3. Analyse de trafic : 16
III.4. Le taux de croissance du trafic 17
III.5. Calcul de la capacité : 17
III.6. Le débit de pointe horaire normal : 17
III.7. Application sur notre projet 17
III.7.1. Les données du projet 17
III.7.2. Nombres de voies : 17
III.7.3. L'année de saturation : 19

CHAPITRE IV: ETUDE GEOMETRIQUE

IV.1. Tracé en plan : 21
IV.1.1. Introduction : 21
IV.1.2. Règles à respecter : 21
IV.1.3. Les éléments du tracé en plan : 21
IV.1.4. Les alignements droits : 22
IV.1.5. Valeurs de rayons : 23
IV.1.6. Les courbes de raccordement : 23
IV.1.7. Application sur le projet : 24
VI.2. Profil en long : 25

SOMMAIRE

IV.2.1. Introduction : 25
IV.2.2. Règles à respecter dans le tracé du profil en long : 25
IV.2.3. Les éléments du profile en long : 25
IV.2.3.1. Déclivité : 25
IV.2.3.2. Déclivité maximale : 25
IV.2.3.3. Raccordement en profil en long : 26
IV.2.4. Coordination du tracé en plan et du profil en long : 27
IV.2.5. Profil en long de notre projet : 27
IV.3 Profil en travers : 28
IV.3.1. Introduction : 28
IV.3.2. Les éléments du profil en travers : 28
IV.3.3. Les pentes transversales 29
IV.3.3.1. En alignement et en courbe non déversée : 29
IV.3.3.2. En courbe déversée : 29
IV.3.4. Le profile en travers type de projet : 30

CHAPITRE V :ETUDE GEOTECHNIQUE

V.1. Introduction : 30
V.2. Méthodologie de réalisation des études : 30
V.3. Contexte géologique de la région : 30
V.3.1. La géologie de la zone d'étude : 31
V.4. La reconnaissance géotechnique : 34
V.4.1. Essais in situ : 34
V.4.1.1. Forage : 34
V.4.1.2. Essais de Pénétration : 34
V.4.1.3. Essais au pressiomètre 35
V.4.1.4. Essais à la plaque (PBT) : 35
V.4.2. Essais laboratoires : 36
V.4.2.1. Programme des essais : 36
V.4.2.2. Résultats de la reconnaissance en laboratoire : 37
V.4.3. Classification des sols : 38
V.4.3.1. CLASSIFICATION GTR : 38
V.4.3.2. CLASSIFICATION DU SOL SELON LCPC : 39
V.5. CONCLUSION 40

CHAPITRE VI: Dimensionnement du corps de chaussée

VI.1 Introduction : 41

SOMMAIRE

VI.2 Les chaussées : 41
VI.2.1. Définition de la chaussée : 41
VI.2.2. Différents types de chaussée : 41
VI.3 Méthodes de dimensionnement : 43
VI.3.1. METHODE DE C.B.R (CALIFORNIA–BEARING–RATIO) : 43
VI.3.1.1. Application au projet : 44
VI.3.2. Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves : 45
VI.3.2.1. Description de la méthode : 45
VI.3.2.2. Les données climatiques : 45
VI.3.2.3. Les données du trafic : 46
VI.3.2.4. Le risque de calcul : 48
VI.3.2.5. Détermination de la portance du sol support : 48
VI.4 Calcul des déformations admissibles : 50
VI.4.1. Calcule de la déformation admissible sur le sol support ξz,ad : 50
VI.4.2. Calcule de la déformation admissible ξt,adm a la base de GB : 50
VI.4.3. Application numérique : 51
VI.4.4. Vérification des résultats de calcul par Alize-LCPC : 52
VI.5 CONCLUSION : 53

CHAPITRE VII : ETUDE D'ASSAINISSEMENT

VII.1 INTRODUCTION 54
VII.2 OBJECTIFS DE L'ASSAINISSEMENT : 54
VII.3 LES TYPES DE DEGRADATIONS PROVOQUEES PAR LES EAUX : 54
VII.4 OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT : 54
VII.4.1. LES RESEAUX DE CANALISATION LONGITUDINAUX : 55
VII.4.2. Les ouvrages transversaux : 56
VII.5 CHOIX DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT : 56
VII.6 CRITERES DANS LA CONCEPTION DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT : 56
VII.6.1. CRITERES DE BASE : 56
VII.6.2. CRITERES HYDRAULIQUES : 57
VII.7 CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES : 57
VII.8 ETUDE HYDROLOGIQUE : 57
VII.8.1. DELIMITATION DES BASSINS VERSANTS : 57
VII.8.2. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES BASSINS VERSANTS : 58
VII.9 DIMENSIONNEMENT DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT A PROJETER : 58
VII.9.1. Estimation des débits de crue : 58

SOMMAIRE

VII.9.1.1. Coefficients de ruissellements C : 59
VII.9.1.2. Intensité de la pluie : 59
VII.9.1.3. Temps de concentration : 60
VII.9.1.4. Le débit de saturation Qs : 60
VII.9.1.5. Prédimensionnement des ouvrages : 60
VII.9.2. Application au projet : 62
VII.10 DIMENSIONNEMENT DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT : 65
VII.11 CONCLUSION : 67

CHAPITRE VIII: STABILITE DES PENTES ET CUBATURES

VIII.1 Stabilité des pentes : 68
VIII.1.1. INTRODUCTION : 68
VIII.1.2. DESCRIPTION DES PRINCIPAUX TYPES DE MOUVEMENTS : 68
VIII.1.2.1. Les glissements : 68
VIII.1.2.2. Principales causes de glissement : 68
VIII.1.3. ANALYSE DE LA STABILITE : 68
VIII.1.3.1. ANALYSE DE STABILITE DU DEBLAI : 69
VIII.1.3.2. ANALYSE DE STABILITE DU REMBLAI : 71
VIII.1.4. CONCLUSION : 73
VIII.2 CUBATURES : 74
VIII.2.1. Introduction : 74
VIII.2.2. Définition des cubatures : 74
VIII.2.3. Les méthodes de calcul : 74
VIII.2.3.1. Description de la méthode : 74
VIII.2.4. Application sur le projet : 75

CHAPITRE IX : LES OUVRAGES D'ART

IX.1 INTRODUCTION : 76
IX.2 CONCEPTION DES OUVRAGES D'ARTS : 76
IX.3 GABARIT A RESERVER : 76
IX.4 PRESENTATION DES OUVRAGES : 76
IX.5 CHOIX DES TYPES D'OUVRAGE : 77
IX.6 SOLUTION TECHNIQUE RETENUE : 77
IX.7 CONCLUSION : 77

CHAPITRE X : CONCEPTION D'ECHANGEUR

X.1 Introduction : 77

SOMMAIRE

X.2 Rôle de l'échangeur : 77
X.3 Les éléments de l'échangeur : 77
X.4 Type de l'échangeur : 78
X.5 Choix de type de l'échangeur : 78
X.6 Application à notre projet : 79
X.7 Caractéristiques géométriques des bretelles : 79
X.7.1. Tracé des bretelles : 79
X.7.2. Enchainement des éléments du tracé en plan : 79
X.7.3. Raccordements progressifs : 80
X.7.4. Zones d'accélération et de décélération : 80
X.7.4.1. Zone de décélération : 80
X.7.4.2. Zone d'accélération : 80
X.7.5. Profil en long d'une bretelle : 81
X.7.6. Profil en travers d'une bretelle : 81

CHAPITRE XI : SIGNALISATION, ÉCLAIRAGE ET SÉCURITÉ

XI.1 SIGNALISATION : 82
XI.1.1. Introduction : 82
XI.1.2. Objectif de la signalisation : 82
XI.1.3. Les principes fondamentaux d'une signalisation efficace : 82
XI.1.4. Les catégories de signalisation : 82
XI.1.5. Type de signalisation : 83
XI.1.5.1. Signalisation horizontale : 83
XI.1.5.2. Signalisation horizontale du projet : 84
XI.1.6. Signalisation verticale : 85
XI.1.6.1. Signalisation de danger : 86
XI.1.6.2. Signalisation de Prescription : 86
XI.1.6.3. Signalisation d'indication : 87
XI.1.6.4. Signalisation de direction : 88
.XI.1.6.5 Panneaux de pré signalisation : 88
XI.2 L'ECLAIRAGE : 89
XI.2.1. Introduction : 89
XI.2.2. Critères fonctionnels en éclairage public : 89
XI.2.3. Catégorie d'éclairage : 89
XI.2.4. Paramètres d'implantation des liminaires : 89
XI.2.5. Application sur le projet : 90

SOMMAIRE

XI.3 SECURITE : 90
XI.3.1. Introduction : 90
XI.3.2. Dispositif de retenue : 90
XI.3.3. Type de dispositifs retenue : 91
XI.3.3.1. Glissières de sécurité : 91
XI.3.3.2. Murettes de protection en béton armé : 91

CHAPITRE XII: IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XII.1 Introduction : 92
XII.2 Objectifs de l'étude d'impact sur l'environnement : 92
XII.3 Principale composante de l'étude d'impact sur l'environnement : 92
XII.3.1. Délimitation de la zone d'étude : 92
XII.3.2. Identification des impacts du projet : 92
XII.3.2.1. Impacts positifs du projet : 92
XII.3.2.2. Impacts Positifs indirects : 93
XII.3.2.3. Impacts négatifs du projet : 93
XII.4 Les mesures de compensation et d'atténuation : 96
XII.4.1. Mesures pour la protection de l'atmosphère : 96
XII.4.2. Mesures pour la protection des sols : 96
XII.4.3. Mesures pour la protection des ressources en eaux : 97
XII.4.4. Mesures pour la protection des milieux naturels : 97
XII.4.5. Mesures pour la protection du milieu humain : 97
XII.4.6. Mesures en faveur de la faune : 98

CHAPITRE XIII: DEVIS QUANTITATIF ESTEMATIF

XIII.1 Devis Quantitatif et Estimatif 99
CONCLUSION GENERALE 100
BIBLIOGRAPHIE.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.1 : Taux de croissance annuel moyen

Tableau III.2 : Coefficient d'équivalence « P » (source : B40)

Tableau III.3 : Coefficient « K1 »

Tableau III.4 : Coefficient « K2 »

Tableau III.5 : Capacité théorique « Cth »

Tableau IV.1 : valeur extrêmes des alignements de tracé en plan (source : ICTAAL2000)

Tableau IV.2 : Les donnes de l'axe à calculer

Tableau IV.3 : valeur de devers

Tableau V.1 : Les essais physiques

Tableau V.2 : Classification GTR

Tableau V.3 : Classification LCPC

Tableau VI.1 : les coefficients d'équivalence pour chaque matériau

Tableau VI.2 : les épaisseurs des couches de matériaux

Tableau VI.3 : Choix de la température équivalente (Fascicule 2)

Tableau VI.4 : Détermination du type du réseau principal

Tableau VI.5 : Valeurs de coefficient d'agressivité selon le réseau principal (CTTP, 2001)

Tableau VI.6 : Risque adopté pour le réseau RP1 (fascicule N° 2)

TableauVI.7 : Présentation des classes de portance à long terme du sol-support (fasiculeN°1)

Tableau VI.8 : Classe de portance de sol-supports(fasiculeN°1)

Tableau VI.9 : Classement avec couche de forme en matériau non traité

Tableau VI.10 : Performances mécaniques des matériaux bitumineux (fascicule 2)

Tableau VI.11 : risque adapté le réseau RP1

Tableau VI.12 : Les valeurs des déformations

TableauVII.1 : les dispositifs de protection selon la zone de sensibilité

Tableau VII.2 : Caractéristiques morphométriques des bassins versants.

Tableau VII.3 : coefficient de la formule Montana

Tableau VII.4 : prédimensionnement des ouvrages transversaux

Tableau VII.5 : Résultat de calculs de débits

Tableau VII.6 : les caractéristiques des sous bassins versants concernes

Tableau VII.7. Le débit équivalent des bassins versants

LISTE DES TABLEAUX

Tableau VIII.1 : caractéristiques de la section étudier

Tableau VIII.2. Résultats des calculs de FS(déblai)

Tableau VIII.3 : caractéristiques de la section étudier

Tableau VIII.4. Résultats des calculs de FS(remblai)

Tableau IX.1 : Les ouvrages au niveau du tracé

Tableau IX.2 : types de ouvrages retenus

Tableau X.1 : Valeurs limites des rayons des bretelles.

Tableau X.2 : caractéristique géométrique du profil en long.

Tableau X.3 : profil en travers d'une bretelle unidirectionnelle à une voie.

Tableau XI.1 : Type de modulation.

Tableau XI.2 : les dimensions des panneaux.

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Vue en plan de l'axe de la route

Figure I.2 : Profil en long de l'axe de la route

Figure I.3 : Profil en travers courant

Figure I.4 : Profil en travers type

Figure I.5 : Les différentes couches qui constituent la structure de la chaussée

Figure II.1 : Wilaya de Taref

Figure II.2 : topographie de la wilaya de taref

Figure II.3 : hydrologie de la wilaya de Tarf

Figure II.4 : Carte de zonage sismique (RPOA2008)

Figure II.5 : présentation de lot est de l'autoroute Est-ouest

Figure II.6 : présentation de la section d'étude

Figure IV.1 : les éléments du tracé en plan

Figure IV.2 : valeurs minimales des rayons de tracé en plan

Figure IV.3 : géométrie de la Clothoïde.

Figure IV.4 : Valeurs maximale de la déclivité (Source : ICTAAL 2000)

Figure IV.5 : Raccordement convexe (angle saillant)

Figure IV.6 : Raccordement concave (angle rentrant)

Figure IV.7 : profil en long du notre projet

Figure IV.8 : Profil en travers type

Figure IV.9 : Profil en travers type du projet

Figure V.1 : carte géologique de la zone d'Etude.

Figure V.2 : profil en long géologique du PK339+900 au PK340+760

Figure V.3: profil en long géologique du PK340+800 au PK342+500

Figure V.4: profil en long géologique du PK342+500 au PK344+000

Figure V.5: profil en long géologique du PK344+000 au PK347+200

Figure V.6: profil en long géologique du PK347+200 au PK350+000

Figure V.7 : liste des essais de laboratoire avec référence de normes

Figure V.8 : Les essais mécaniques

Figure V.9 : Diagramme de CASAGRANDE

Figure V.10 : Liste des forages effectués

LISTE DES FIGURES

Figure V.11 : Liste des essais de pénétration dynamiques (Pd)

Figure V.12 : résultat d'essais au pressiomètre actuels (Pr)

Figure V.13 : Liste des essais à la plaque actuels (PBT)

Figure VI.1 : Coupe type d'une chaussée souple

Figure VI.2 : Schéma récapitulatif des types de chaussée

Figure VI.3 : structure du corps de chaussée selon méthode C.B.R

Figure VI.4 : Position du projet dans la carte climatique de l'Algérie

Figure VI.5 : classes de TPLi pour PR1.

Figure VI.6 : Les Choix de dimensionnement par la méthode du catalogue

Figure VI.7 : Structure du corps de chaussée selon CTTP

FigureVI.8. Résultats de la simulation (ALIZE-LCPC)

Figure VII.1 : Les réseaux de canalisation longitudinaux

Figure VII.2 : Les ouvrages transversaux.

Figure VII.3 Tableau de valeurs de coefficient de ruissellement

Figure VII.4. Schéma d'un dalot

Figure VII.5 : méthode de Delorme

Figure VII.6 : vitesse d'écoulement

Figure VII.7: Fossé trapézoïdal

Figure VII.8 : Fossé trapézoïdal

Figure VIII.1 : calcul de stabilité pour le déblai excavé (court terme)

Figure VIII.2 : calcul de stabilité pour le déblai excavé (long terme)

Figure VIII.3 : coefficients sismique

Figure VIII.4 : calcul de stabilité pour le déblai excavé (séisme)

Figure VIII.5 : calcul de stabilité pour le remblai (court terme)

Figure VIII.6 : calcul de stabilité pour le remblai (séisme)

Figure VIII.7 : calcul de stabilité pour le remblai (long terme)

Figure VII.8 : les positions des sections dans un profil en long donné

Figure X.1 : Différents types d'échangeur

Figure X.2 : Dispositif de sortie de l'autoroute.

Figure X.3 : Dispositif d'entrée sur l'autoroute

LISTE DES FIGURES

Figure XI.1 : Marquage longitudinales pour l'autoroute.

Figure XI.2 : panneaux des virages

Figure XI.3 : Accès interdit au véhicule (la hauteur supérieure à 5.25 m)

Figure XI.4 : panneaux des interdictions

Figure XI.5 : panneau de limitation de vitesse.

Figure XI.6 : panneau de péage.

Figure XI.7 : Accès et fin de l'autoroute.

Figure XI.8 : Exemple de l'implantation de panneau.

Figure XI.9 : signalisation de direction.

Figure XI.10 : Panneaux de pré signalisation.

Figure XI.11 : Paramètres de l'implantation des luminaires.

Figure XI.12 : Types des dispositifs agréés.

Figure XII.1: Construction des murs anti bruis.

Figure XII.2 : Ouvrage inferieure pour passage d'animaux sauvages.

INTRODUCTION GENERALE :

La route est un facteur déterminant de développement socio-économique et un outil que l'Etat a entre les mains pour maintenir un certain niveau d'équité entre les populations. L'Algérie a mobilisé des ressources financières considérables, pour disposer d'un réseau routier et autoroutier viable et efficace et n'a cessé de placer l'infrastructure routière parmi les grandes priorités du pays. Cette politique vise à permettre au pays de préserver son important patrimoine routier, et de répondre, par des investissements ciblés, aux exigences du développement économique, lié au développement de la route.

En 2017, le réseau Algérien a atteint les 4 545Km entre autoroutes ; rocades et voies expresses. Le développement de certaines de ces autoroutes dans des terrains difficiles ou des reliefs tourmentes a posé au concepteur des problèmes géotechniques inédits à l'échelle locale. Non pas que ces zones étaient vierges d'infrastructures, mais le propre des grandes infrastructures telles les autoroutes ou les voies ferrées est de remuer les terres plus profondément. Le niveau de risque qu'on y consent est aussi plus contraignant ; les délais y sont courts et les enjeux financiers élevés.

Le projet dont il est question dans le cadre de mon projet de fin d'études concerne l'autoroute Est-Ouest. Ce projet, d'Algérie, d'une longueur de plus de 1200km, constitue une partie de l'autoroute maghrébine totalisant une longueur de 7000km. Elle revêt une importance stratégique pour le développement économique et l'infrastructure de transport nationale.

Dans notre projet de PFE nous avons pris une section de la dernière section de la construction du méga projet Autoroute est ouest. On s'intéresse à l'étude d'Avant-Projet Détaillé (APD) d'une partie de ce projet commençant par PK339+900 au PK350+000 sur un linéaire de 10 km avec la conception d'un échangeur au niveau du PK339+920.

Ce projet d'autoroute Est-Ouest vise à améliorer les connexions routières et à faciliter les déplacements des personnes et des marchandises autour du pays. Il est conçu pour répondre à la demande croissante de transport en assurant une meilleure fluidité du trafic et en réduisant les temps de trajet. De plus, il contribuera à renforcer l'intégration régionale et nationale et à stimuler le développement économique le long de son tracé.

Et finalement, ce projet, qui a commencé en 2005, est proche de sa finalisation et présentation totale pour clore ce grand chapitre, peut-être le plus important dans l'histoire des travaux publics de ce pays.

CHAPITRE I

GENERALITE SUR LES ROUTES

+

RECHERCHE BIBLOGRAPHIQUE

I.1 Introduction :

Les routes jouent un rôle vital dans la connectivité et le développement des sociétés modernes. Elles sont des infrastructures essentielles qui permettent le transport des personnes et des marchandises, facilitant ainsi les échanges économiques et sociaux. Comprendre les principes de conception, de construction, d'entretien et de gestion des routes est crucial pour garantir leur durabilité et leur efficacité. Dans ce chapitre, nous aborderons les différents aspects liés aux routes, en mettant l'accent sur l'ouvrage routier, la conception, les terrassements, la stabilité des talus, la structure de chaussée, les dégradations des chaussées, les principes de désordres, l'entretien du réseau routier, et nous conclurons en soulignant l'importance de ces éléments dans la planification et la gestion des routes.

I.2 L'ouvrage routier :

L'ouvrage routier est l'ensemble des éléments qui composent une route. Il englobe les voies de circulation, les accotements, les bordures, les ouvrages d'art (ponts, tunnels), les dispositifs de sécurité (signalisation, marquage), ainsi que les équipements et les infrastructures connexes. La conception et la construction de l'ouvrage routier doivent prendre en compte les exigences de sécurité, de capacité de trafic, de durabilité et de confort des usagers.

I.3 Courbes de niveaux :

Les courbes de niveaux sont des lignes qui relient des points de même altitude sur un terrain. Elles sont utilisées pour représenter le relief du terrain lors de la conception d'une route. Les courbes de niveaux permettent d'identifier les pentes, les dénivelés et les contraintes topographiques, ce qui est essentiel pour déterminer l'alignement optimal de la route et minimiser les coupes et les remblais excessifs.

I.4 Conception plane :

La conception plane d'une route comprend plusieurs éléments importants tels que le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers. Ces trois aspects interagissent pour déterminer l'alignement et le profil de la chaussée, assurant ainsi une circulation sûre et fluide.

I.4.1. Tracé en plan :

Le tracé en plan fait référence à l'alignement horizontal de la route. Il définit la trajectoire générale de la route en reliant les points de départ et d'arrivée, en déterminant les courbes, les virages et les intersections. Le tracé en plan tient compte de divers facteurs tels que la topographie du terrain, les contraintes environnementales, les propriétés du sol, les zones urbaines ou rurales, ainsi que les besoins de sécurité et de capacité de trafic. Le tracé en plan est généralement représenté sous forme de plans et de cartes, indiquant les distances, les angles et les coordonnées des points clés le long de la route.

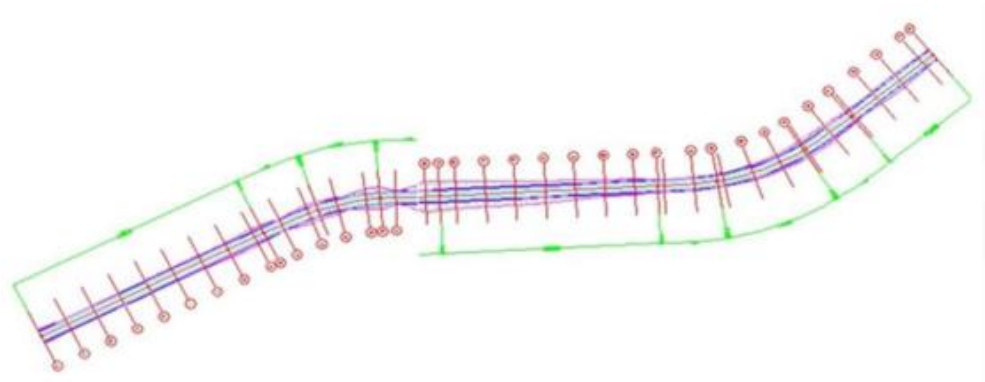


Figure I.1 : Vue en plan de l'axe de la route

I.4.2. Profil en long :

Le profil en long représente l'alignement vertical de la route. Il montre les variations d'altitude le long de la route, notamment les pentes, les dénivelés et les profils en long des tronçons. Le profil en long permet de créer une transition fluide entre les différentes sections de la route, en évitant les changements abrupts d'altitude. Il est essentiel pour assurer le confort des usagers et réduire les risques d'accidents. Le profil en long est représenté graphiquement en traçant une ligne continue qui relie les altitudes des différents points le long de la route.

Les échelles de représentation de profil en long peuvent être différentes en abscisse et en ordonnées (en rapport de l'ordre de 1/5 à 1/10) de manière à souligner le relief qui peut ne pas apparaître sur un projet de grande longueur.

D'abord, nous dessinons le terrain naturel (TN) avec un trait moyen noir, en utilisant la position de chaque point d'un profil en travers. Les informations telles que les distances horizontales entre les profils en travers (distances partielles), les distances cumulées depuis le début du projet (abscisses curvilignes) et l'altitude de chaque point sont également reportées dans le cartouche en bas du graphique.

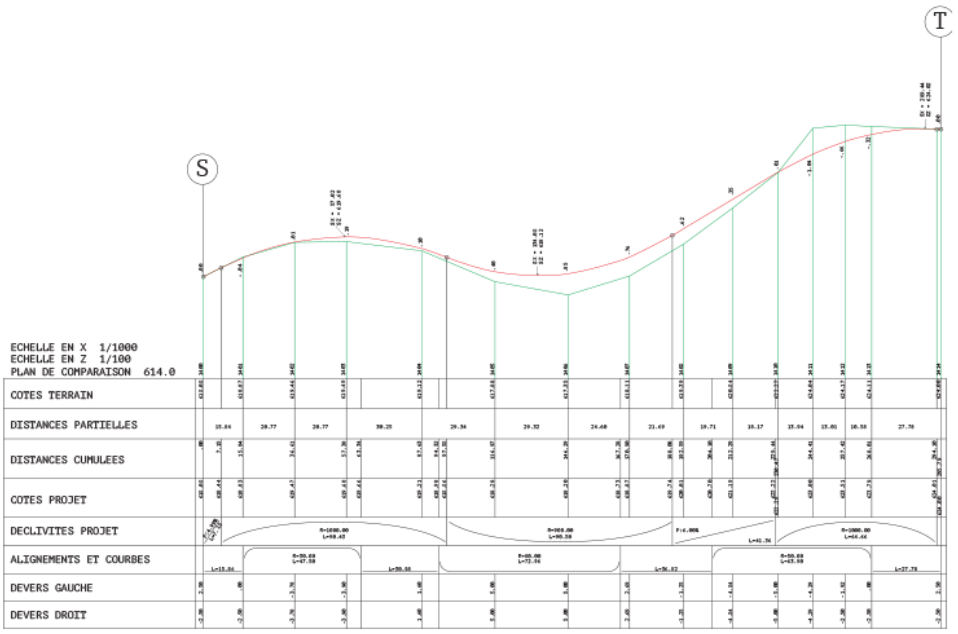


Figure I.2 : Profil en long de l'axe de la route

I.4.3. Profil en travers :

Le profil en travers représente une coupe transversale de la chaussée et de ses éléments adjacents. Il montre les dimensions, les formes et les pentes des différentes parties de la route, telles que la chaussée, les accotements, les fossés, les bordures, les caniveaux, etc. Le profil en travers permet de déterminer la largeur et la géométrie de la chaussée, en tenant compte des exigences de capacité de trafic, de drainage des eaux pluviales, d'accessibilité et de sécurité. Il est généralement représenté par une coupe transversale à échelle réduite qui donne une vision claire des différents éléments constituant la route.

Les profils en travers viennent compléter le profil en long et sont généralement utilisés pour calculer les mouvements de terre (cubatures). Ils permettent également de définir le tracé optimal d'un projet de manière à équilibrer les volumes de terre excavés et les volumes de terre remblayés.

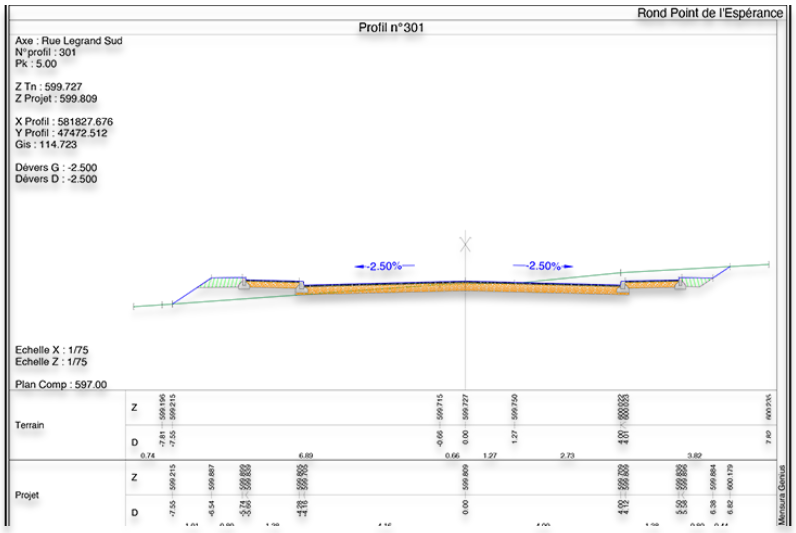


Figure I.3 : Profil en travers courant

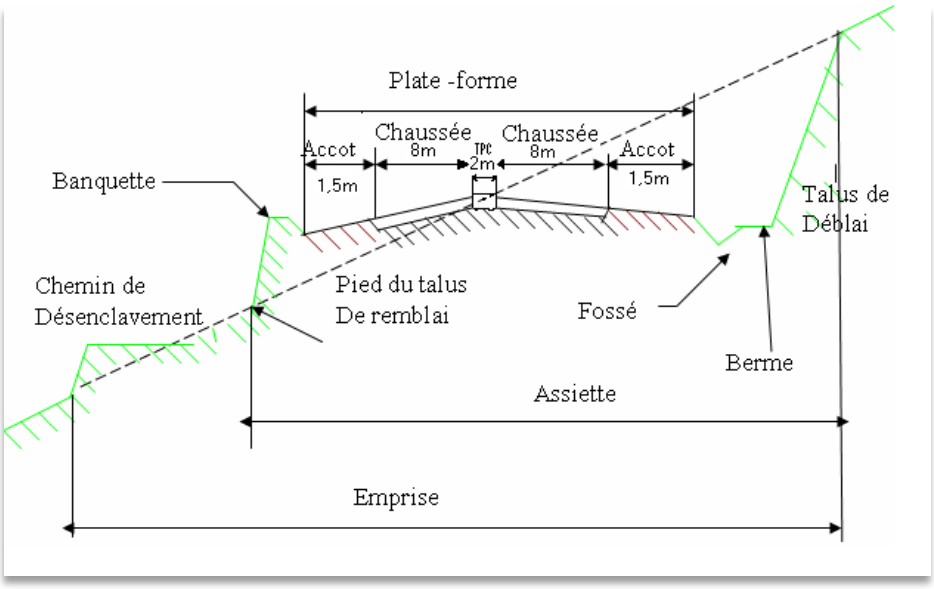


Figure I.4 : Profil en travers type

I.5 Les terrassements :

Les terrassements font référence aux travaux de préparation du sol pour la construction de la route. Ils comprennent l'excavation des matériaux indésirables, le nivellement du terrain, la mise en place des couches de fondation et de subgrade, ainsi que la réalisation des coupes et des remblais. Les terrassements doivent être réalisés de manière à assurer la stabilité du sol et à garantir une surface régulière pour la chaussée.

Le processus de terrassement comprend plusieurs étapes :

- Décapage des terres : Il s'agit d'enlever temporairement la couche supérieure de terre végétale, d'une profondeur d'environ 25 cm. Cette opération peut être effectuée manuellement pour les petits chantiers ou à l'aide d'engins mécaniques tels que des niveleuses ou des pelleteuses.
- Les déblais : Cela fait référence à l'ensemble des terres excavées lors des travaux de terrassement pour la création de canalisations ou de fondations. Ces terres peuvent être réutilisées comme remblais sur le chantier, ou si nécessaire, elles sont évacuées du site.
- Les remblais : Ce sont les terres excavées et transportées pour combler des cavités telles que des tranchées ou des fosses.

I.5.1. Types de terrassements :

- Fouilles en rigole : Ces fouilles sont destinées à recevoir les fondations et sont qualifiées de "rigole" si leur largeur ne dépasse pas 2 m et leur profondeur ne dépasse pas 1 m. Elles sont réalisées une fois que l'implantation des futurs murs est effectuée. Pour éviter les risques de gel, les fouilles sont creusées à une profondeur de 80 cm.
- Excavations : Les fouilles ont une surface supérieure à 2 m de chaque côté et une hauteur inférieure à la moitié de la largeur.
- Tranchées : Une fouille est considérée comme une tranchée si sa profondeur dépasse 1 m mais que sa largeur est inférieure à 2 m.

I.5.2. Réseaux enterrés :

Certains réseaux tels que l'électricité, l'eau, les égouts, etc., peuvent être enfouis dans le sol. Avant le terrassement, ces réseaux doivent être repérés et identifiés sur le terrain en utilisant des grillages avertisseurs de différentes couleurs : bleu pour l'eau, rouge pour l'électricité, jaune pour le gaz et noir pour le réseau téléphonique.

I.5.3. Blindage des fouilles :

Le blindage est utilisé pour prévenir les risques pour les personnes et les structures existantes. Il est obligatoire lorsque la fouille a des parois verticales et atteint une profondeur de 1,30 m, avec une largeur égale ou inférieure aux 2/3 de sa profondeur (conformément à l'article 66 du Décret du 6 janvier 1965). Dans tous les autres cas, des mesures doivent être prises et régulièrement vérifiées pour assurer la sécurité des personnes et des biens environnants. Le blindage peut être réalisé à l'aide de planches horizontales ou verticales, ainsi que de caissons.

I.6 Stabilité des talus :

Les talus sont des formations géologiques courantes dans de nombreux paysages et leur stabilité est d'une importance cruciale pour la sécurité des infrastructures et des personnes vivant à proximité. Ce chapitre de recherche bibliographique vise à explorer les avancées récentes dans l'étude de la stabilité des talus en se concentrant sur les méthodes d'analyse, les facteurs influençant la stabilité et les mesures de stabilisation.

I.6.1. Méthodes d'analyse de la stabilité des talus :

Approches analytiques : Cette section examine les méthodes analytiques classiques utilisées pour évaluer la stabilité des talus, telles que les méthodes de Fellenius, de Bishop, de Janbu et de Morgenstern-Price. Les principes théoriques et les hypothèses associées à ces méthodes sont présentés, ainsi que leurs avantages et leurs limites.

Méthodes numériques : Les méthodes numériques, telles que la méthode des éléments finis, la méthode des différences finies et la méthode des éléments distincts, sont de plus en plus utilisées pour modéliser la stabilité des talus. Cette section explore les aspects clés de ces méthodes, y compris la discrétisation du domaine, les modèles de comportement des sols et les techniques de résolution.

I.6.2. Facteurs influençant la stabilité des talus :

Caractéristiques géotechniques du sol : Cette section se concentre sur les propriétés des sols qui influencent la stabilité des talus, telles que la cohésion, l'angle de frottement interne, la porosité et la perméabilité. Les méthodes de caractérisation des sols et leur impact sur la stabilité sont également abordés.

Conditions hydrogéologiques : L'eau joue un rôle crucial dans la stabilité des talus. Les processus hydrogéologiques, tels que l'infiltration, la saturation et le drainage, peuvent affecter considérablement la stabilité des talus. Cette section examine l'effet des conditions hydrogéologiques sur la stabilité et présente des méthodes pour les prendre en compte dans les analyses de stabilité.

Forces externes : Les forces exercées sur les talus par des facteurs externes, tels que les séismes, les charges dynamiques et les surcharges, peuvent déclencher des glissements de terrain. Cette section explore l'impact de ces forces sur la stabilité des talus et discute des approches pour les modéliser.

I.6.3. Mesures de stabilisation des talus :

Techniques géotechniques : Cette section présente les techniques géotechniques utilisées pour stabiliser les talus, telles que les murs de soutènement, les clous d'ancrage, les pieux, les palplanches et les techniques d'amélioration des sols. Les principes de conception, les méthodes de construction et les applications appropriées de chaque technique sont discutés.

Techniques de drainage : L'élimination efficace de l'eau des talus peut contribuer à leur stabilité. Cette section examine les techniques de drainage, telles que les drains horizontaux et verticaux, les tranchées de drainage et les systèmes de collecte des eaux de surface, et discute de leur rôle dans la stabilisation des talus.

Surveillance et entretien : Une fois que des mesures de stabilisation ont été mises en place, il est essentiel de surveiller et d'entretenir régulièrement les talus pour garantir leur stabilité à

long terme. Cette section explore les méthodes de surveillance, y compris les instruments géotechniques, les techniques d'inspection visuelle et les systèmes de surveillance à distance.

I.7 Structure de chaussée :

I.7.1. Définition :

La fonction d'une chaussée est de transmettre les charges au sol (à travers la couche de forme) en maintenant les déformations dans les limites acceptables. Les différentes couches d'une chaussée comprennent la couche de forme, la couche de fondation, la couche de base et la couche de surface. Le terrassement prend en compte la capacité portante du sol, et une épaisseur variable de la couche de forme est ajoutée en fonction des différentes zones.

I.7.2. Détermination d'une chaussée :

Pour déterminer la structure d'une chaussée, il existe un catalogue type basé sur la catégorie de route (VRS ou VRNS) et deux données essentielles : le trafic (T) et la catégorie de plateforme (PF). Le terrassier fournit une plateforme de soutien (PST) en fonction de la PF requise, en prenant en compte la portance variable du sol. Il peut ajuster l'épaisseur de la couche de forme plutôt que de modifier l'épaisseur de la structure de chaussée, ce qui est plus pratique.

I.7.3. Matériaux utilisés dans la construction des chaussées :

Les granulats sont les principaux constituants des couches de chaussées, qu'il s'agisse de couches hydrauliques, d'enrobés, d'enduits ou de chaussées en béton. Les granulats peuvent être naturels ou artificiels. Les granulats naturels proviennent de roches extraites in situ sans subir de traitement autre que mécanique. On distingue les matériaux alluvionnaires, provenant des lits de rivières ou des terrasses géologiques, et les matériaux des roches massives extraits des carrières. Les granulats artificiels sont obtenus par transformation thermique de roches, minerais ou déchets, y compris des démolitions d'ouvrages

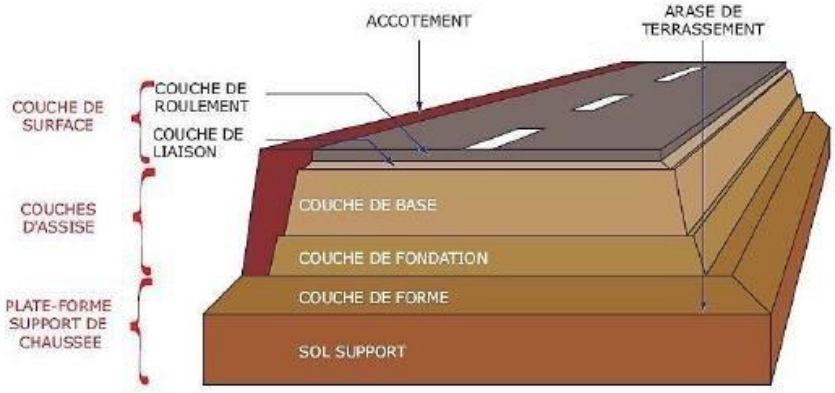


Figure I.5 : Les différentes couches qui constituent la structure de la chaussée

I.8 Les dégradations des chaussées :

Les dégradations des chaussées sont des altérations et des dommages qui affectent la surface de la route. Elles peuvent être causées par le trafic, les conditions météorologiques, les défauts de construction ou d'entretien. Les principales dégradations des chaussées incluent les fissures, les nids-de-poule, l'orniérage et l'érosion. La gestion proactive des dégradations est essentielle pour maintenir la sécurité et la qualité des routes.

I.8.1. Le vieillissement normal de la chaussée :

Avec le temps, la résistance des matériaux de la chaussée diminue en raison du trafic routier et des conditions climatiques. La couche de roulement est la plus affectée, étant exposée aux actions du trafic et du climat. Les dégradations observées à la fin de la durée de vie de la couche de roulement sont considérées comme normales. De même, il est prévu que les couches d'assise présentent des dégradations pendant leur durée de dimensionnement, nécessitant des travaux de renforcement similaires à une reconstruction de la chaussée, en l'absence d'interventions d'entretien structurel.

I.8.2. Le vieillissement anormal de la chaussée :

Le mauvais choix de matériaux de chaussée, inadaptés au trafic, aux conditions météorologiques, au tracé de la voie ou au sol de support, peut entraîner l'apparition prématurée de dégradations.

Les malfaçons liées à la fabrication ou à la mise en œuvre peuvent également être responsables de dégradations prématurées, telles que le non-respect de la composition de l'enrobé, le défaut d'homogénéité du produit, le non-respect des températures de fabrication et de mise en œuvre, le non-respect des épaisseurs, le non-respect du pourcentage de vides sur chantier et le défaut de collage des couches d'enrobé.

I.8.3. Autres facteurs de vieillissement anormal de la chaussée :

D'autres facteurs contribuant au vieillissement anormal de la chaussée incluent les terrassements, le trafic poids lourd, les arbres d'alignement, les remblais, les ouvrages hydrauliques et les aléas naturels.

I.9 Les désordres principaux :

I.9.1. Les déformations :

- **L'orniérage :**

L'orniérage, qui se produit dans les bandes de roulement sous l'effet de la circulation, peut avoir différentes causes interconnectées. Cela peut être dû à une classe de résistance à l'orniérage inadaptée au trafic et aux conditions climatiques, ainsi qu'aux caractéristiques géométriques de la voie qui agissent comme un facteur aggravant.

- **Les affaissements :**

Les affaissements sont des déformations ponctuelles par tassement du sol support, localisées soit en bordure de chaussée, soit sur la largeur de la demi-chaussée. Les affaissements en bordure de chaussée sont plus fréquents sur les chaussées traditionnelles.

I.9.2. Les fissures :

- **Les fissures longitudinales :**

Les fissures longitudinales qui apparaissent dans les bandes de roulement sont principalement dues à la fatigue de la structure de la chaussée.

- **Les fissures transversales :**

Les fissures transversales sont des fissures perpendiculaires à l'axe de la chaussée, et leur présence à la surface de la chaussée, avec un espacement régulier entre 5 et 20 m, est caractéristique des assises traitées aux liants hydrauliques.

- **Le faïençage :**

Le faïençage se caractérise par un ensemble de fissures formant un maillage plus ou moins serré. Il représente généralement un stade avancé de fissuration, allant des premières fissures jusqu'à la formation d'un réseau de fissures de plus en plus fin.

I.9.3. Les arrachements :

Les arrachements regroupent tous les départs de matériaux qui affectent la surface de la chaussée. Certains arrachements sont caractéristiques de la nature de la couche de roulement.

I.9.4. Les mouvements des matériaux :

Les principales dégradations liées aux mouvements des matériaux sont le ressuage et l'indentation. Bien que ces deux types de dégradations aient des causes différentes, elles entraînent les mêmes effets.

I.10 Entretien du réseau routier :

L'entretien du réseau routier englobe toutes les actions entreprises pour maintenir le niveau de qualité de la route et de ses équipements, afin d'assurer aux usagers des conditions de sécurité et de confort conformes au niveau de service défini. On distingue généralement deux types d'entretien : l'entretien courant (programmé et palliatif) et l'entretien préventif.

- **L'entretien courant programmé :**

Il consiste notamment à assurer l'entretien des dépendances, de la signalisation, des réseaux de drainage, des fossés et des chaussées.

- **L'entretien courant palliatif :**

Il vise à apporter une solution à un problème ponctuel et urgent sur une partie de l'ouvrage qui est soudainement défectueuse et potentiellement dangereuse. Le recours à l'entretien curatif doit être aussi rare que possible, car il reflète l'échec de l'entretien programmé

- **L'entretien préventif :**

Il consiste à intervenir avant que les dégradations n'atteignent un niveau critique susceptible de compromettre la durabilité de la chaussée.

I.11 Conclusion :

En conclusion, ce chapitre a abordé les généralités sur les routes, en mettant en évidence les principaux aspects liés à l'ouvrage routier, la conception, les terrassements, la stabilité des talus, la structure de chaussée, les dégradations des chaussées, les principes de désordres et l'entretien du réseau routier. Comprendre ces éléments est essentiel pour garantir des routes sûres, durables et efficaces. Il est important de continuer à développer des techniques de conception et d'entretien innovantes pour répondre aux besoins croissants de notre société en matière de transport routier.

CHAPITRE II
PRESENTATION DU PROJET

II.1 Introduction :

La route est un facteur déterminant de développement socio-économique et un outil que l'Etat a entre les mains pour maintenir un certain niveau d'équité entre les populations. L'Algérie a mobilisé des ressources financières considérables, pour disposer d'un réseau routier et autoroutier viable et efficace et n'a cessé de placer l'infrastructure routière parmi les grandes priorités du pays.

En 2017, le réseau Algérien a atteint les 4 545Km entre autoroutes ; rocades et voies expresses. Le développement de certaines de ces autoroutes dans des terrains difficiles ou des reliefs tourmentes a posé au concepteur des problèmes géotechniques inédits à l'échelle locale. Non pas que ces zones étaient vierges d'infrastructures, mais le propre des grandes infrastructures telles les autoroutes ou les voies ferrées est de remuer les terres plus profondément. Le niveau de risque qu'on y consent est aussi plus contraignant ; les délais y sont courts et les enjeux financiers élevés.

L'autoroute est-ouest est un projet autoroutier traversant toute l'Algérie parallèlement aux côtes méditerranéennes. L'autoroute doit relier la frontière tunisienne près de la ville d'El Kala à la frontière marocaine près de celle de Maghnia en passant près des grandes villes algériennes du nord tel que Annaba, Skikda, Constantine, Setif, Alger, Chlef, Oran et Tlemcen, sur une distance de 1 216 km.

Dans ce projet on va étudier une section de 10Km du dernier traçons de l'autoroute qui commence à Dréan-taref dans le PK39+900.

II.2 Description de la zone d'étude :

La wilaya d'El Tarf est localisée dans le nord-est de l'Algérie, à la frontière avec la Tunisie. Au nord, elle est bordée par la mer Méditerranée,à l'est, elle est limitrophe du Gouvernorat de Jendouba en Tunisie, Au sud, elle est adjacente à la wilaya de Souk Ahras. Au sud-ouest, elle est voisine de la wilaya de Guelma et à l'ouest, elle est en contact avec la wilaya d'Annaba.

La majeure partie de la wilaya d'El Tarf se trouve dans la région de la Kroumirie, au nord des Monts de la Medjerda et du "Bec de Canard". Cette zone est située en territoire tunisien, mais s'enfonce également dans le territoire algérien.

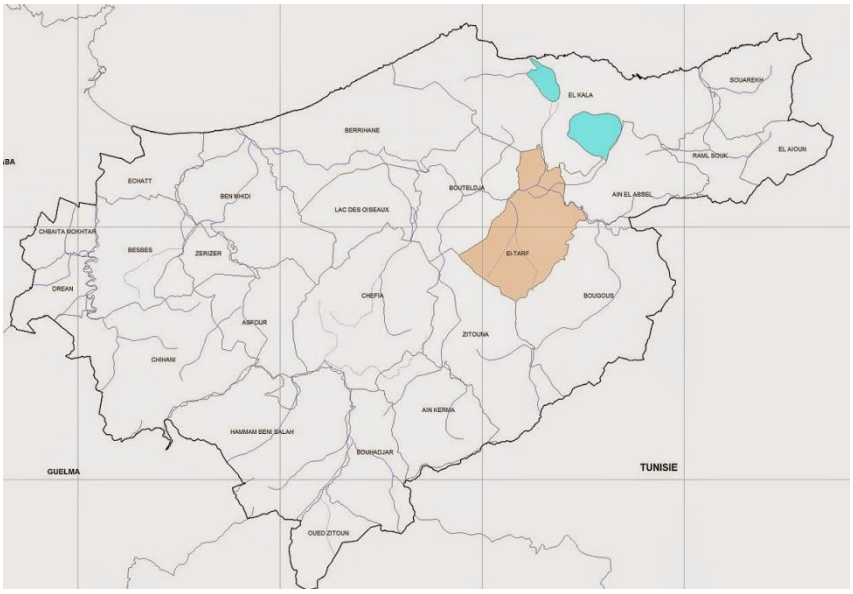


Figure II.1 : Wilaya de Taref

II.2.1. Topographie :

Le nord-est de l'Algérie est une région géographiquement diverse, comprenant une combinaison de montagnes, de plaines côtières et de zones désertiques.

La région nord-est de l'Algérie est bordée par la mer Méditerranée, ce qui donne lieu à des plaines côtières. Les plaines côtières sont généralement des régions basses et plates, caractérisées par des terres agricoles fertiles. Ces plaines sont importantes pour l'agriculture et abritent également des villes et des centres urbains importants.

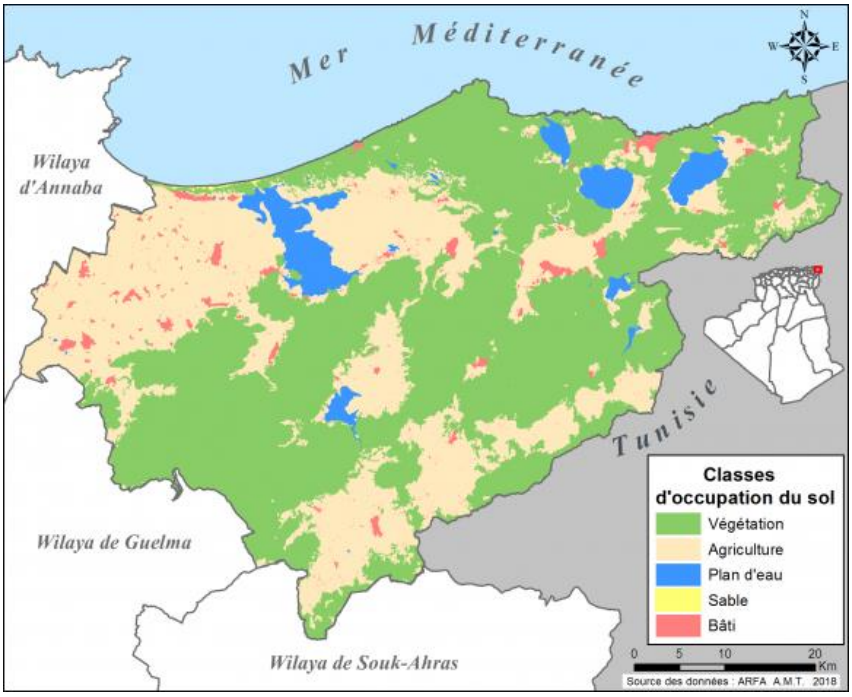


Figure II.2 : topographie de la wilaya de taref

II.2.2. Climatologie :

La région est dotée d'un climat méditerranéen. Le total pluviométrique annuel moyen est de 613mm et la température annuelle moyenne est d'environ 18°C (normales climatiques 1980-2009). Le climat est humide et doux en hiver (décembre-janvier-février), chaud et sec en été (juin-juillet-aout) avec des températures moyennes de 12°Cpour la saison froide et 23, 5°C pour la saison chaude, et un total pluviométrique moyen respectivement de 263et 25mm.

II.2.3. Hydrologie :

La région nord-est de l'Algérie compte plusieurs cours d'eau importants qui descendent des montagnes de l'Atlas tellien et se dirigent vers la mer Méditerranée. Parmi les principaux cours d'eau, on peut citer l'Oued Chelif, l'Oued Seybouse, l'Oued Soummam et l'Oued El Kebir. Aussi il existe également plusieurs lacs et réservoirs dans le nord-est de l'Algérie, qui jouent un rôle important dans la régulation des ressources en eau. Parmi les lacs les plus connus, on peut citer le lac Fetzara et le lac Oubeira.

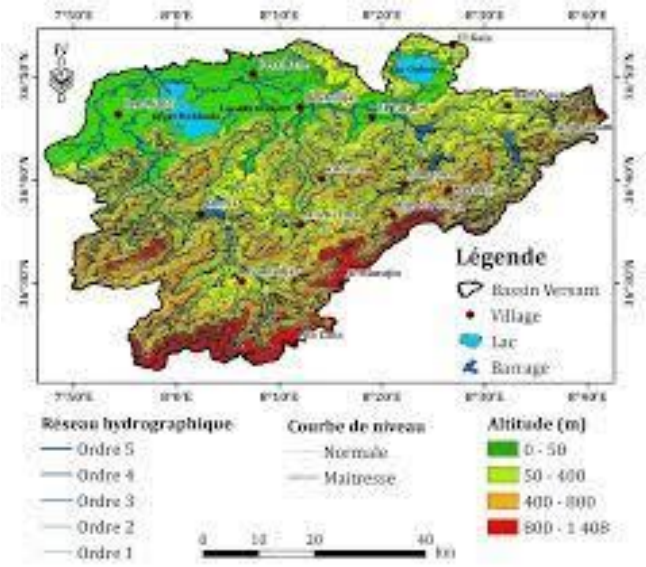


Figure II.3 : hydrologie de la wilaya de Tarf

II.2.4. Sismicité :

Compte tenu des critères de classification, la Wilaya de Tarf est classée dans la zone sismique **IIa** à moyenne activité sismique.

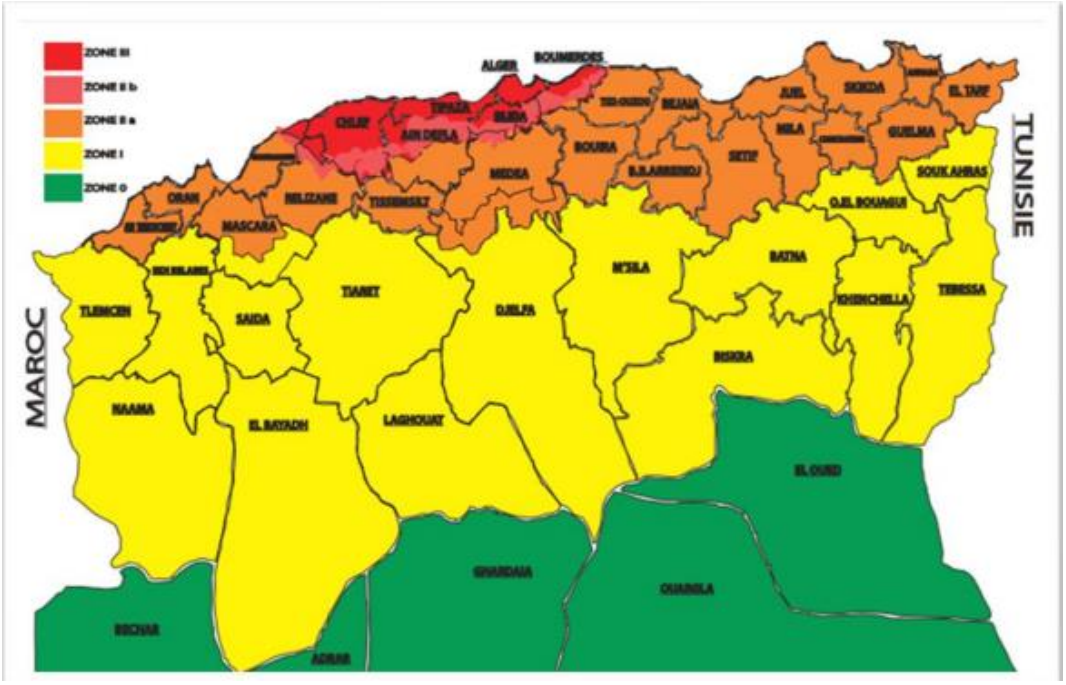


Figure II.4 : Carte de zonage sismique (RPOA2008)

II.3 Présentation du projet :

II.3.1. Historique de l'étude :

Le projet de l'autoroute maghrébine est le plus grand projet méditerranéen et africain, de par sa dimension régionale et relie le Maroc et la Tunisie. Le projet de l'autoroute Est- Ouest, d'Algérie, d'une longueur de plus de 1200km, constitue une partie de l'autoroute maghrébine totalisant une longueur de 7000km. Compte tenu de l'importance stratégique de l'autoroute, elle permet de réduire la congestion sur le réseau routier national. En effet, les autoroutes souffrent de la densité des volumes de transport de marchandise, qui représente 90% de la circulation.

Aussi, plusieurs structures telles que ports et aéroports seront lires conjointement par cette autoroute. Pour ces raisons, le projet, qui traverse le pays, a un caractère catalyseur pour le développement de l'Algérie.

L'Algérie a engagé en 2005, la réalisation de l'autoroute Est-Ouest, répartie en trois lots : Ouest, Centre el Est. La gestion de ce Mégaprojet a été confiée à l'Algérienne Des Autoroute (ADA/Ex ANA) en tant que maitre d'ouvrage délégué.

Le Lot Est, dont l'étude, la conception et la réalisation avaient été confiées au Groupement japonais COJAAL, et qui avait été répartie en 12 sections, commence près de la ville de Bordj Bou Arreridj (BBA) et se termine à la frontière Algéro-Tunisienne, près de la commune de Raml- Essouk Wilaya d'El-Tarf, avec une longueur totale de 424 km et en ayant traversé les huit wilayas de : Bordj Bou Arreridj, Sétif, Mila, Constantine, Skikda, Annaba, Guelma et El Tarf



Figure II.5 : présentation de lot est de l'autoroute Est-ouest

II.3.2. Description du projet :

II.3.2.1. Section 1 de la Wilaya d'El-Tarf

L'étude préliminaire de ce tronçon de 87.9 Km, fus réalisée en 1992 par le BET SET Annaba. Les études d'avant-projet détaillés et d'exécution (APD/DEX) ont été réalisées par le groupement japonais COJAAL.
La section étudiée de l'autoroute Est-Ouest dont la longueur est de 72.6km commence à la frontière entre Wilaya Annaba et Wilaya El Tarf et se termine au point entre RN et la rivière EL El Kebir dans El Tarf. Le tronçon de 70.4km appartient Wilaya El TALF et le reste de 2.2km appartient à Wilaya GUELMA.

La route était initialement prévue dans l'étude préliminaire en 1992 et le couloir APS dont la largeur est un kilomètre a été créé grâce à la discussion avec les wilayas prenant en considération l'étude préliminaire de la route. Depuis que la route s'étend à travers le terrain relativement plat, le couloir a été convenu par Wilaya Annaba, le 20 novembre 2006, sans aucun problème grave.

Vu les conditions spécifiques du Parc National d'EI Kala, le tracé de la section 1 a été divisé en deux (2) sous sections, à savoir section 1.1 et section 1.2. Le tracé de la section 1.1 qui traverse le Parc National El Kala ainsi que le tracé de la section 1.2 qui passe par d'autres parties des wilayas, ont été établis, respectivement. Le présent rapport décrit uniquement la section 1.2.

II.3.2.2. Présentation du projet des 84 Km :

Le projet de parachèvement des travaux de la section autoroutière entre l'échangeur de Drean et la frontière tunisienne y compris les échangeurs s'étend sur 84 km de la commune de Dréan jusqu'aux frontières Algéro-tunisiennes. Il traverse les communes de : Dréan, Besbes, Zrizer, Ben M'Hidi, Asfour, Lac des Oeuseau, Boutheldja, El-Tarf, Ain Assel et Raml Essouk.



Figure II.6 : présentation de la section d'étude

II.3.3. Encadrement géologique :

Les collines entre Annaba et El Kala au sud des lacs (Fetzara et Marais de Mekhada) sont du Miocène (Tertiaire supérieur). Elles sont caractérisées par des grés, limons, et roche argileuses (ou pélite) avec une altération entre elles. Les dépôts de grès forment les hauteurs des collines avec des affleurements abruptes en raison de la forte résistance à l'altération. Par ailleurs, les

grès fins et les roches argileuses forment de légères pentes des zones vallonnées. Ils sont couverts avec des colluvions non consolidées et des débris.

Les basses plaines sont réparties entre le littoral et les collines du sud d'Annaba jusqu'à El Tarf. Du point de vue géomorphologique, elles froment les plaines alluviales, les zones vallonnées, les maris y compris les lacs. Les alluvions sont caractérisées par des matériaux non consolidés, notamment, l'argile, les limons, le sable et le gravier.

II.3.4. Encadrement hydrogéologique :

L'Atlas tellien bénéficie d'un climat méditerranéen typique (été chaud et sec, et hiver doux et pluvieux avec de la neige en altitude). Les pentes au nord de l'Atlas tellien sont boisées de cèdres, de pins et de chênes-lièges. En été, un vent chaud et sec ainsi que le sirocco, qui souffle au nord en provenance du Sahara à travers l'Atlas tellien, créent des conditions poussiéreuses et sèches le long du littoral nord de l'Afrique.

Le projet de l'autoroute Est-Ouest traverse un vaste réseau hydrographique de grands fleuves et rivières ainsi que de petits affluents qui terminent leur course dans des bassins et sur la côte méditerranéenne. Les caractéristiques topographiques et climatologiques de la zone de l'étude suggèrent un système complexe de montagnes et de collines aux propriétés assainissant à partir des plaines et des lacs jusqu'à la Mer Méditerranée. Les principaux bassins hydrologiques que traverse la Section 1 du projet sont les suivants :

- Fetzara - bassin de la Seybouse
- Mekhada - Bassin d'EI Kebir
- Oubeïra - Bassin du lac Mellah
- Le basin du lac Tonga

II.4 Objectifs de projet :

En citant les objectifs de la réalisation de cette extension autoroutière a la frontière tunisienne :

- Améliorera par ailleurs les échanges commerciaux internes et les déplacements régionaux en minimisant les temps des parcours.
- Appuyer le développement économique local et régional par le transport efficace des personnes et des marchandises.
- Facilité les déplacements entre les régions.
- Réduction des frais d'exploitations : une autoroute diminuera et donnera naissance à une économie de carburant.
- Gains de temps : la réalisation de l'autoroute permet de réduire les temps de transports, estimation de gain de temps en fonction du motif déplacement.
- Gains de sécurité : représentés par la diminution du nombre de blessés et de morts combiné avec la valeur monétaire attribuée à la vie humaine (décès, blessés graves ou légers). Garantir une meilleure fluidité de circulation.
- Gains de confort des usagers : moins de tension dans les route interne de la wilaya
- Le projet venant de renforcer le réseau existant de la région.
- Créer un emploi important pendant la phase des travaux par ce que c'est le plus grand projet de l'histoire de travaux publics en Algérie.

CHAPITRE III
ETUDE DE TRAFFIC

III.1. Introduction :

L'étude de trafic constitue une étape essentielle dans l'analyse d'un projet routier, fournissant des informations cruciales sur l'intensité et la composition du trafic. Ces données permettent de déterminer le nombre de voies nécessaires, les types d'échangeurs appropriés, ainsi que les dimensions requises pour la chaussée, en se basant sur plusieurs paramètres.

L'étude de trafic se concentre sur la compréhension des différents aspects du trafic, tels que :

- De transit, lorsqu'on veut réaliser une déviation d'agglomération.
- La nature des flux, pour déterminer les points d'échange.
- Les mouvements directionnels pour définir la position des échangeurs.
- Le niveau de trafic poids lourds déterminant directement le dimensionnement de la structure de la chaussée.

III.2. Différents types de trafic :

- **Trafic normal :**

C'est un trafic existant sur l'ancien aménagement en absence de projet.

- **Trafic dévié :**

C'est le trafic attiré vers la nouvelle route aménagée. En d'autres termes la déviation de trafic n'est qu'un transfert entre les différentes routes qui atteignent le même point.

- **Trafic induit :**

C'est le trafic qui résulte : des nouveaux déplacements des personnes qui s'effectuer et qui en raison de la mauvaise qualité de l'ancien aménagement routier ne s'effectuaient pas antérieurement ou s'effectuaient vers d'autres destinations, et d'une augmentation de production et de vente grâce à l'abaissement des coûts de production et de vente due une facilité apportée par le nouvel aménagement routier.

- **Trafic total :**

Le trafic total sur le nouvel aménagement sera la somme du trafic induit, du trafic détourné, ainsi que du trafic normal.

III.3. Analyse de trafic :

Plusieurs méthodes sont utilisées pour effectuer cette analyse :

- Comptages manuels
- Comptages automatiques

Ces deux types, permettent de mesurer le trafic sur un tronçon.

III.4. Le taux de croissance du trafic

Étant donné l'absence de données suffisantes et d'une méthodologie de calcul claire pour ce coefficient, il est convenu d'utiliser les seuils établis par le schéma directeur routier et autoroutier 2009-2040, tels qu'indiqués dans le tableau suivant :

								Taux de croissance annuel moyen	
	2009	2010*	2015	2020	2025	2030	2040	2010-2030	2010-2040
TJMA	13500	13814	15500	17300	20200	23600	32200	2.71 %	2.68%
PL	945	967	1085	1364	1616	1888	2576	3.4%	3.32%

Note : Unité de volume est voiture/jour.

*trafic de volumes de l'année 2010 obtenue par l'interpolation

Tableau III.1 : taux de croissance annuel moyen (donné du projet)

III.5. Calcul de la capacité :

Selon l'ICTAAL, le débit horaire de la voie la plus chargée ne doit pas dépasser le débit de saturation, estimé à 1 800 uvp/h.

III.6. Le débit de pointe horaire normal :

D'après l'ICTAAL ce débit correspond au débit de la trentième heure

$$Q = \frac{1}{n} T_{effectif}$$

Le n varie de 6 à 8, on prend généralement n = 8 ce qui donne :

D'où :

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

III.7. Application sur notre projet

III.7.1. Les données du projet

- $\boldsymbol{TJMA_{2010}}$ = 13814 véhicules/jour pour les deux sens
- Taux de croissance $\boldsymbol{\tau}$ **= 2.68 %**
- **Z=7%** de poids lourd
- Durée de vie **n = 20 ans**
- Année de mise en service = 2023

III.7.2. Nombres de voies :

- **Le trafic journalier moyen annuel à l'année de mise en service :**

$$\mathbf{TJMA_{2023} = TJMA_{2010}(1+\tau)^{2023-2010}}$$

$$TJMA_{2023} = 13814(1 + 2.68\%)^{13}$$

$$TJMA_{2023} = 19482 \text{ véhicules/jour}$$

- **Le trafic journalier moyen annuel à la fin de vie du projet :**

$$\mathbf{TJMA_{2043} = TJMA_{2023}(1+\tau)^n}$$

$\mathrm{TJMA}_{2043} = 19482(1 + 2.68\%)^{20}$

$\mathrm{TJMA}_{2043} = 33064\ véhicules/jour$

- **Le trafic effectif** :

C'est le trafic traduit en unité de véhicules particulier (uvp), en fonction de l'environnement de la route. Pour cela on utilise des coefficients à d'équivalence pour convertir le passage des véhicules légers par rapport au poids lourds.

Le trafic effectif est donné par la formule suivante :

On a : $\boldsymbol{T_{eff}}\mathbf{n}$= [(1 – Z) + PZ]. $\boldsymbol{T_n}$

- $\boldsymbol{T_{eff}}$: Trafic effectif à l'année horizon en (uvp).
- Z : Pourcentage de poids lourd.
- P : Coefficient d'équivalence pour le poids lourds qui dépend de la nature de la route et l'environnement (Voir le tableau III.1 déduit du manuel B40).

Environnement	**E1**	**E2**	**E3**
Route a bonne caractéristique	2-3	4-6	8-12
Route étroite, ou à visibilité réduite	3-6	6-12	16-24

Tableau III.2 : Coefficient d'équivalence « P » (source : B40)

D'après le tableau, notre projet est dans un environnement E2 donc on prend : P = 4

$\boldsymbol{T_{eff}}$2043= [(1 – 0.07) + (4×0.07)] ×33064 = 40007 uvp/j

- **Le débit de pointe horaire normale :**

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

$\boldsymbol{Q_n}$= $\frac{1}{n}$ x $\boldsymbol{T_{eff}}$. Avec :

- $\boldsymbol{Q_n}$: Débit de pointe horaire
- $\frac{1}{n}$: Coefficient de pointe en générale égale à 0.12 (B40)
- $\boldsymbol{T_{eff}}$: Trafic effectif.

$\boldsymbol{Q_{2043}}$= 0.12 x 40007= 4801 uvp/h

- **Le débit horaire admissible :**

C'est le débit maximal accepté par la voie, il est donné par la formule suivante :

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

Environnement	E1	E2	E3
K1	0.75	0.85	0.9 à 0.95

Tableau III.3 : Coefficient « K1 »

	Catégorie de la route				
Environnement	C1	C2	C3	C4	C5
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 III.4 : Coefficient « K2 »

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

Tableau III.5 : Capacité théorique « Cth »

D'après ces 3 tableaux on a :

$\mathbf{K_1}$= 0.85, $\mathbf{K_2}$= 0.99

Donc on prend pour une approche sécuritaire : $\mathbf{C_{th}}$= 1800 uvp/h pour notre projet qui est une route a chaussée séparée.

Donc :

$\mathbf{Q_{adm}}$= 0.85 ×0.99×1800 = 1514.7 = 1515 uvp/h

- Nombre de voies :

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

- S : coefficient dissymétrie en général = 2/3.
- Q_{adm}: débit admissible par voie
- Q : débit de pointe horaire normal

$$N = \frac{\frac{2}{3} \times 4801}{1515} = 2.11 = 3 \text{ voies}$$

Donc, d'après le calcul de la capacité de l'Autoroute, on constate que son profil en travers est de 2×3 voies.

III.7.3. L'année de saturation :

$$Q_{sat} = Q \cdot (1+\tau)^n$$

Tel que $Q_{sat} = 3 \times Q_{adm}$

$Q_{\text{mis en service}} = 0.12 \times [(1-0.07) + (4 \times 0.07)] \times 19482 = 2829$ uvp/h

$Q_{\text{mis en service}} = \frac{2}{3} \times 2829 = 1886\ uvp/h/sens$

Donc : $Q_{sat} = 3 \times Q_{adm} = 3 \times 1515 = 4545\ uvp/h$

$Q_{\text{sat}} = Q_{\text{mis en service}} \cdot (1+\tau)^{n}$ ➔ $N = \frac{\log\left(\frac{Q_{sat}}{Q_{\text{mis en service}}}\right)}{\log(1+\tau)}$

- **Application numérique :**

$$\boldsymbol{N} = \frac{\log\left(\frac{4545}{2829}\right)}{\log(1+0.0268)}$$

N= 20.16 ans

Donc : Notre route sera saturée après 21 ans de service (dans l'année 2044), après une année de sa durée de vie.

CHAPITRE IV
ETUDE GEOMETRIQUE

IV.1. Tracé en plan :

IV.1.1. Introduction :

Le tracé en plan correspond à une représentation vue du dessus de la route, décrivant une succession de courbes et de tronçons rectilignes séparés par des transitions progressives ou des courbes circulaires.

Il est caractérisé par une vitesse de référence qui détermine les paramètres géométriques nécessaires à la conception de tout aménagement routier. L'objectif du tracé en plan est d'assurer des conditions optimales de sécurité et de confort adaptées à chaque catégorie de routes.

IV.1.2. Règles à respecter :

- Norme de conception à appliquer ICTAAL
- Utiliser les grands rayons si l'état du terrain le permet
- Eviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières
- Eviter le franchissement des oueds afin d'éviter le maximum d'ouvrages d'arts et cela pour des raisons économiques, si le franchissement est obligatoire essayer d'éviter les ouvrages biais
- Avoir le maximum d'adaptation au terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants
- Respecter la longueur minimale des alignements droits si c'est possible
- Topographie de la région
- Protection de l'environnement.

IV.1.3. Les éléments du tracé en plan :

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

Le raccordement entre les alignements droits et les courbes entre elle d'autre part, elle se fait à l'aide de clothoïdes qui assurent un raccordement progressif par nécessiter de sécurité et de confort des usages de la route

Un tracé en plans moderne est constitué de trois éléments :

- Des droites (alignement)
- Des arcs de cercle (rayon)
- Des courbes des raccordements de courbes progressives (clothoïdes)

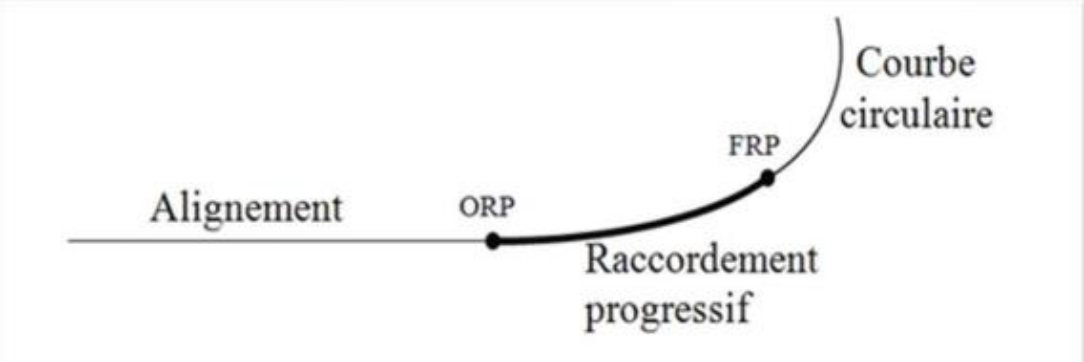


Figure IV.1 : les éléments du tracé en plan

IV.1.4. Les alignements droits :

Il est recommandé d'utiliser le maximum d'alignement car il représente le meilleur tracé qui convient à la route sur le plan technique, et cela pour le confort et la sécurité qu'il offre aux usagers.

Les alignements droits sont la disposition générale du tracé et serviront à la détermination des autres éléments (cercles, clothoïdes), il est recommandé d'alterner 40 à 60 % d'alignement droits.

La longueur des alignements dépend de :

- La vitesse de base
- Des sinuosités précédentes et suivantes à l'alignement
- Du rayon de courbure de ces sinuosités

Une longueur minimale d'alignement L_{min} dans un tracé en plan devra séparer deux courbes circulaires de même sens, cette longueur sera prise égale à la distance parcourue pendant cinq secondes à la vitesse maximale permise par le plus grand rayon de deux arcs de cercle

$$L_{min} = 5\frac{v_b}{3.6}$$

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

$$L_{max} = 60\frac{v_b}{3.6}$$

Tableau IV.1 : valeur extrêmes des alignements de tracé en plan (source : **ICTAAL2000)**

Catégorie		**L1**
La longueur minimale	L_{min}(m)	200

IV.1.5. Valeurs de rayons :

On essaie toujours de choisir des rayons les plus grands possibles pour éviter de descendre en dessous de rayon minimum préconiser.

Trois éléments interviennent pour limiter les courbures :

- Stabilité des véhicules en courbes.

- Visibilité en courbe.

- Inscription des véhicules longs dans les courbes de rayon faibles.

Les rayons en plan doivent respecter les valeurs minimales résumées dans la figure IV.2

Catégorie		L_1
Rayon minimal	(R_m)	600 m
Rayon minimal non déversé	(R_{nd})	1 000 m

Figure IV.2 : valeurs minimales des rayons de tracé en plan

IV.1.6. Les courbes de raccordement :

Pour les chaussées "non déversées", tous les cercles de rayon inférieur à RH' sont dotés d'arcs de courbe à courbure progressive (appelés clothoïdes), qui permettent une transition en douceur entre l'arc de cercle à rayon de courbure fini et l'alignement droit à rayon de courbure infini pour un confort optique et dynamique optimal. Les cercles de rayon plus grand que RH' peuvent également être dotés d'arcs de cercle.

La longueur L minimale de la transition progressive doit permettre une variation de dévers et dépend à la fois de la vitesse de référence et du rayon du cercle. Pour les cercles de rayon égal ou supérieur à RH', un raccordement direct à un alignement droit est possible sans entraîner de variation de dévers.

On fait des courbes de raccordement pour assurer :

- La stabilité transversale du véhicule.
- Le confort des passagers du véhicule.
- La Transition de la forme de la chaussée.
- Un Tracé élégant, souple, fluide, optiquement et esthétiquement satisfaisant.

La longueur des raccordements progressifs (clothoïdes) est au moins égale à la plus grande des deux valeurs : 14 $|\Delta\delta|$ et R/9 ; où R note le rayon de courbure (en m), et $\Delta\delta$ la différence des pentes transversales (en %) des éléments du tracé raccordés comme il est mentionné dans la figure IV.2.

Les éléments de la clothoïde sont :

- A : paramètre de clothoïde.
- R : rayon du cercle à l'abscisse curviligne.
- M : centre du cercle d'abscisse XM.
- K_A : Début de la clothoide.
- K_E : Fin de la clothoïde.
- X_M : Abscisse du centre de cercle.
- Y_M : Ordonnée du centre du cercle.
- τ: Angle de tangente.
- T : Grande tangente.
- σ: L'angle polaire.
- S_L : La corde à la clothoïde.
- ΔR : Ripage.

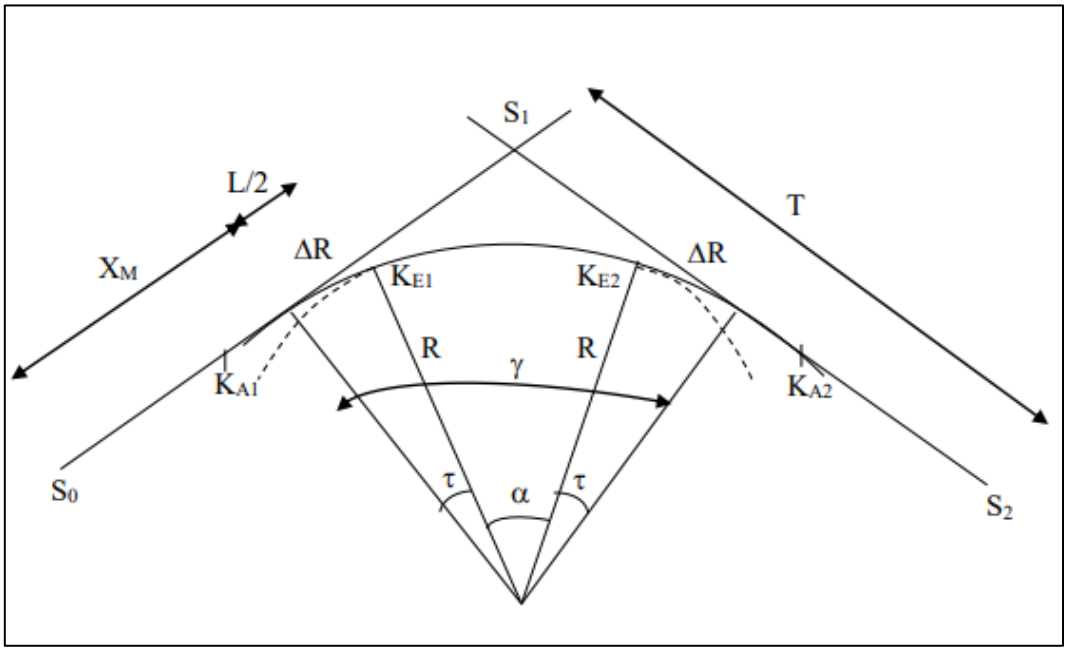


Figure IV.3 : géométrie de la Clothoïde.

NB : Application sur le projet dans l'annexe.

VI.2. Profil en long :

IV.2.1. Introduction :

Un profil en long représente graphiquement une coupe verticale suivant l'axe d'un projet linéaire tel qu'une route, une voie ferrée ou une canalisation. Il permet de visualiser tous les points du terrain naturel et de l'axe du projet, en indiquant les valeurs des pentes, des rampes et des rayons des sommets des côtes et des points bas.

Par convention, la ligne de référence du profil en long de l'autoroute est l'axe de la plateforme si le T.P.C est revêtu ou, dans le cas contraire, celui du bord gauche des chaussées. À moins de difficultés d'insertion dans le site, un profil en long en remblai, qui prend en compte les terrassements, les chaussées et le maintien des écoulements naturels, est préférable à un profil en long rasant.

IV.2.2. Règles à respecter dans le tracé du profil en long :

Pour la conception d'un projet routier, il est recommandé de :

- Respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par le règlement en vigueur.
- Adapter le tracé au terrain naturel pour minimiser les travaux de terrassement qui peuvent être coûteux.
- Rechercher l'équilibre adéquat entre le volume de remblais et de déblais.
- Éviter de dépasser une pente maximale préconisée par les règlements.
- Éviter de maintenir une forte déclivité sur une grande distance et les hauteurs excessives de remblais.
- Prévoir le raccordement avec les réseaux existants.
- Raccorder les alignements droits par des courbes paraboliques en cas de changement de déclivité (butte ou creux).
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.
- Rechercher un équilibre entre les volumes des remblais et des déblais.

IV.2.3. Les éléments du profile en long :

IV.2.3.1. Déclivité :

♦ **Déclivité minimale :**

La limitation inferieur des déclivités n'est pas imposée du fait qu'elles ne conditionnent pas le bon comportement des véhicules. Cependant certaine situation l'impose pour assurer le bon écoulement des eaux pluviales. Déclivité minimum : $Lmin = 0.2\%$

IV.2.3.2. Déclivité maximale :

La déclivité maximum dépend de :

- Condition d'adhérence entre pneus et chaussée.
- Vitesse minimum de PL.

- Condition économique.

Toute fois dans les sinuosités (dans une courbe en plan), il est nécessaire de réduire de déclivité maximum. Déclivité maximum : $Lmax = 5\%$.

Catégorie	L_1
Déclivité maximale	5 %
Rayon minimal en angle saillant	12 500 m
Rayon minimal en angle rentrant	4 200 m

Figure IV.4 : Valeurs maximale de la déclivité (Source : ICTAAL 2000)

IV.2.3.3. Raccordement en profil en long :

Les changements de déclivité constituent des points particuliers dans le profil en long. Ce changement doit être adouci par l'aménagement de raccordement circulaire qui y doit satisfaire les conditions de visibilité et de confort. On distingue donc deux types de raccordement :

♦ **Raccordement convexe (angle saillant) :**

Pour déterminer les rayons minimaux admissibles des raccordements paraboliques en angle saillant, il est nécessaire de prendre en compte la position de l'œil humain et des obstacles, ainsi que les distances d'arrêt et de visibilité. Dans ce contexte, la conception doit respecter deux conditions importantes :

- Condition de confort
- Condition de visibilité.

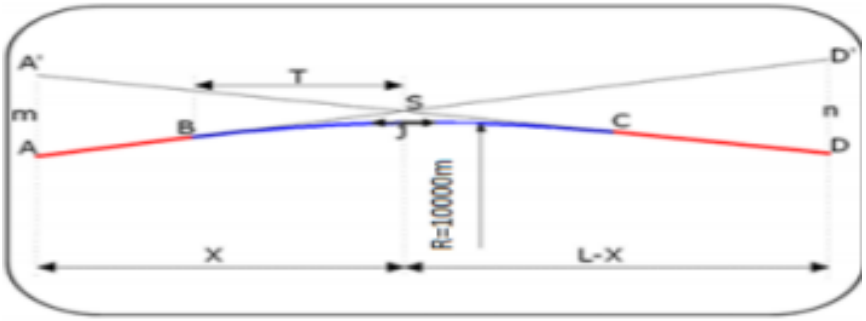


Figure IV.5 : Raccordement convexe (angle saillant)

♦ **Raccordement concave (angle rentrant) :**

Lorsque des raccordements sont situés dans les points bas, la visibilité diurne est peu significative en comparaison de la visibilité nocturne. Il est donc primordial de s'assurer que les phares des véhicules puissent éclairer suffisamment loin pour que les conducteurs puissent détecter les obstacles sur une distance appropriée.

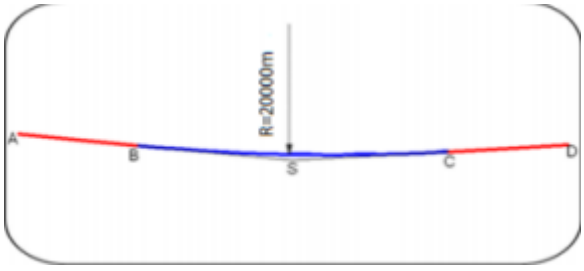


Figure IV.6 : Raccordement concave (angle rentrant)

IV.2.4. Coordination du tracé en plan et du profil en long :

Il est impératif de réaliser une étude d'ensemble pour assurer une bonne coordination du tracé en plan et du profil en long, afin d'obtenir une insertion harmonieuse dans le site, de respecter les règles de visibilité et d'assurer un certain confort visuel. Pour atteindre ces objectifs, certaines considérations doivent être prises en compte :

- Associer un profil en long concave, même légèrement, à un rayon en plan impliquant un dégagement latéral important.

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

R vertical > 6R horizontal, pour éviter un défaut d'inflexion.

- Supprimer les pertes de tracé dans la mesure où une telle disposition n'entraîne pas de surcoût sensible ; lorsqu'elles ne peuvent être évitées, on fait réapparaître la chaussée à une distance de 500 m au moins, créant une perte de tracé suffisamment franche pour prévenir les perceptions trompeuses.

IV.2.5. Profil en long de notre projet :

Dans notre profil en long, nous avons un terrain de difficulté variable, allant de facile à difficile, avec plusieurs intersections de routes que nous avons prises en considération pour créer des passages inférieurs. De plus, nous avons deux lignes électriques et nous avons respecté la hauteur minimale de passage aérien, qui est de 5,25 m par rapport au ligne rouge. Nous avons deux options pour les ouvrages d'art : l'un au-dessus de la ligne de chemin de fer et à côté de celui-ci se trouve un chemin de wilaya, et l'autre est un viaduc d'une longueur de 350 m au-dessus de l'Oued Seybouse.

Dans une partie où nous observons un changement brusque de hauteur du terrain, passant d'un terrain plat à un terrain vallonné, nous avons utilisé une pente maximale de 5% afin d'éviter de créer un grand remblai.

Présentant ci-dessous notre profil en long et les contraintes

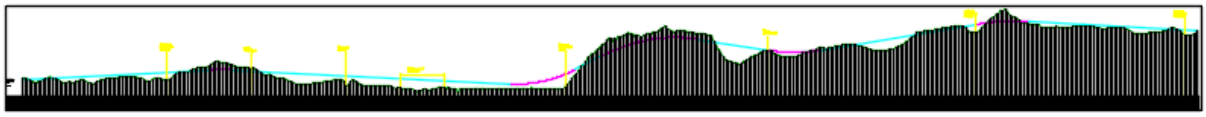


Figure IV.7 : profil en long du notre projet

NB : Application sur le projet dans l'annexe.

IV.3 Profil en travers :

IV.3.1. Introduction :

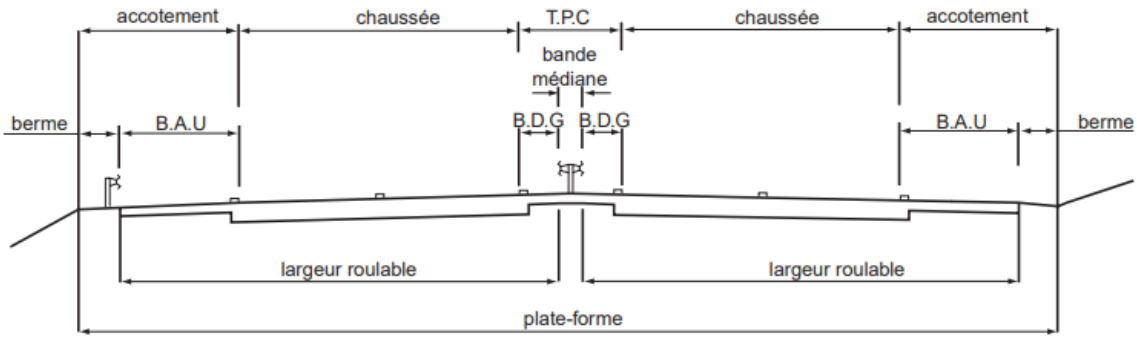
En conception routière, le profil en travers représente une coupe perpendiculaire à l'axe de la route de la surface délimitée par les points caractéristiques de cette dernière. Ce profil peut se baser sur le terrain naturel ou sur le projet lui-même, et généralement les deux sont représentés sur un même document pour faciliter la compréhension de l'intégration du projet dans l'environnement naturel.

Il y a deux types de profils en travers :

Le profil en travers courant : qui inclut tous les éléments de la route dans toutes les situations (remblai, déblai, etc.)

Le profil en travers type : qui est dessiné à des intervalles réguliers dépendant du terrain naturel.

L'ICTAAL a défini le profil en travers type comme suit :



T.P.C. : terre-plein central
B.A.U. : bande d'arrêt d'urgence
B.D.G. : bande dérasée de gauche

Figure IV.8 : Profil en travers type

IV.3.2. Les éléments du profil en travers :

- **Chaussée :**

Chaque chaussée comporte un nombre de voies de 3.5 m de larges.

- **Terre-plein central :**

Le terre-plein central constitue une mesure de sécurité visant à séparer physiquement les deux sens de circulation. Sa largeur est déterminée par la somme des largeurs des deux bandes dérasées situées de part et d'autre de la chaussée et de la bande médiane.

- **La bande dérasée gauche :**

Elle est destinée à permettre de légers écarts de trajectoire et à éviter un effet de paroi lié aux barrières de sécurité. Elle contribue dans les courbes à gauche au respect des règles de visibilité. Elle est dégagée de tout obstacle, revêtue et se raccorde à la chaussée sans dénivellation. Sa largeur est de 1,00 m.

- **La bande médiane :**

La fonction principale de la bande centrale de séparation est d'assurer une séparation physique entre les deux sens de circulation, ainsi que de permettre l'implantation d'équipements tels que des barrières de sécurité, des supports de signalisation, des ouvrages de collecte et d'évacuation des eaux, des piles d'ouvrages et des aménagements paysagers. Sa largeur minimale est déterminée en fonction des éléments qui y sont implantés.

- **L'accotement :**

La plateforme qui borde extérieurement la chaussée, ils comportent les éléments suivants : Bande d'arrêt d'urgence et la berme.

IV.3.3. Les pentes transversales

Les courbes de rayon inférieur à Rnd sont déversées vers l'intérieur de la courbe.

IV.3.3.1. En alignement et en courbe non déversée :

Tableau IV.3 : valeur de devers

Elément du profile en travers	**Valeur du devers**
Chaussée	2.5%
Bande d'arrêt d'urgence (B.A.U)	Identique à la chaussée adjacente si le devers de chaussée est<4%
Bande dérasée de gauche (B.D.G)	Identique à la chaussée adjacente
La berme extérieure	8% ou (25% dans le cas où elle est intégrée au dispositif d'assainissement

IV.3.3.2. En courbe déversée :

La pente transversale d'une chaussée varie linéairement en fonction de 1/R, entre 2,5 % pour Rnd et 7 % Pour Rm. La pente de la B.A.U. (ou la B.D.D.) intérieure à la courbe est la même que celle de la chaussée adjacente la pente de la B.A.U extérieure (ou la B.D.D.) reste la même qu'en alignement droit tant que le dévers ne dépasse pas 4 % au-delà, elle est de sens opposé au dévers et égale à 1,5 %.

IV.3.4. Le profile en travers type de projet :

L'autoroute Est-Ouest comportera un profil en travers type, qui contient les éléments constructifs suivants :

Description	Largeur (m)	Nombre	Largeur totale (m)
Voie de circulation :	3.5	6	21
Accotement			8
Bande d'arrêt d'urgence (B.A.U) **Berme**	3 1	2 2	6 2
Terre-plein central (T.P.C)			3
-Bande dérasée de gauche **-Bane médiane (BM)**	1 1	2 1	2 1

Les devers proposé pour chaque élément :

Devers proposé	
- **Chaussée**	2.5% vers l'extérieur
- **(BDG)**	2.5% vers l'extérieur
- **B.A.U**	4% vers l'extérieur
- **Berme extérieure**	8% vers l'extérieur

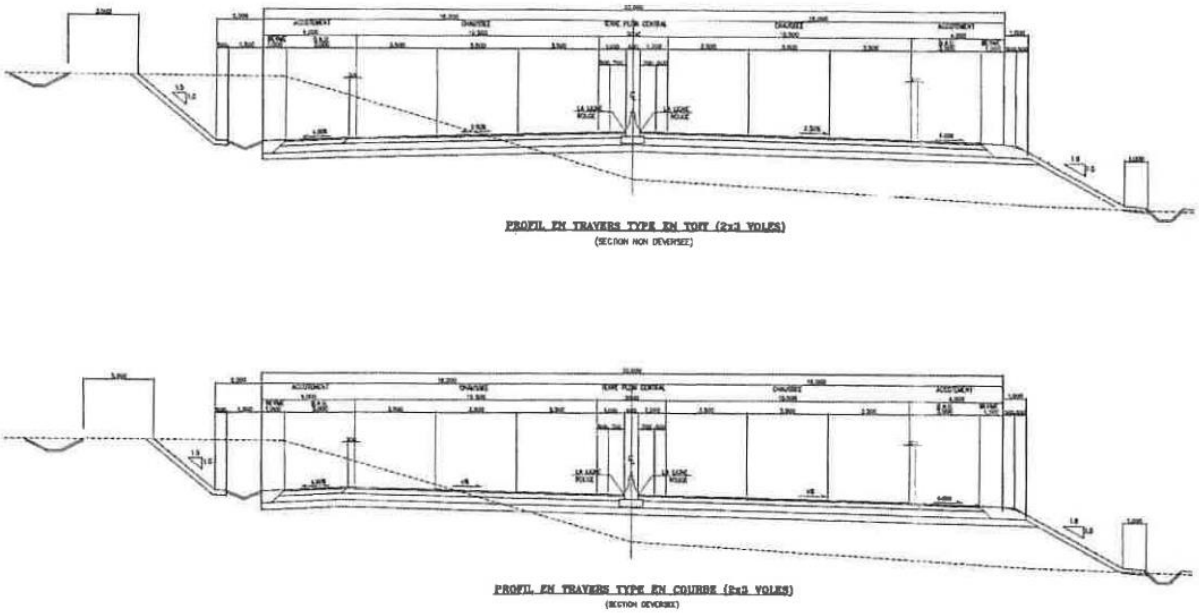


Figure IV.9 : Profil en travers type du projet

CHAPITRE V
ETUDE GEOTECHNIQUE

V. Etude géotechnique :

Dans ce chapitre, nous allons présenter la géotechnique du tronçon étudié, qui est une partie fondamentale dans toute étude d'un projet routier, pour connaitre la nature et les caractéristiques du sous-sol.

V.1. Introduction :

La géotechnique routière est une branche de la géotechnique qui se consacre aux problèmes spécifiques à la construction de routes, de l'étude des remblais à la construction des différentes couches de la chaussée en passant par les fondations. Elle permet de localiser les différentes couches et de fournir des informations sur leurs caractéristiques mécaniques et physiques.

Les objectifs principaux de l'étude géotechnique dans le cadre du projet Lot Route sont les suivants :

- Déterminer les mouvements de terres, à savoir les volumes de déblais et remblais nécessaires ;
- Assurer la stabilité des talus, des versants et des déblais de grandes hauteurs et/ou sur versant ;
- Définir les techniques de stabilisation des talus ;
- Finaliser la construction des corps de chaussée ;
- Reconnaître les matériaux d'emprunts pour les remblais, les couches de forme, les corps de chaussée, les bétons et les pavés.

V.2. Méthodologie de réalisation des études :

La méthodologie retenue pour la réalisation des études géotechniques a compris :

- La revue des informations géologiques et géotechniques disponibles
- L'inspection préliminaire du tracé
- La cartographie détaillée du tracé
- L'établissement d'un programme géotechnique in situ et en laboratoire
- La réalisation des essais in situ et en laboratoire
- La rédaction des rapports géotechniques.

V.3. Contexte géologique de la région :

La région d'étude se situe à l'extrême Nord-est algérien, limitée au nord par la mer méditerranée, à l'Est par la frontière tunisienne, à l'Ouest et au sud par les wilayas de Skikda, Guelma et souk Ahras.

C'est l'une des régions les plus arrosées d'Algérie. Elle est soumise au climat méditerranéen, caractérisé par une saison pluvieuse d'octobre à mai et un été sec et ensoleillé. Les moyennes annuelles des précipitations sont du Sud au Nord très variables de 450 à 1000 mm (plus de 1000 mm à Cap Rosa), celles de l'évapotranspiration varient de 500 à 540 mm/an avec une infiltration comprise entre 80 et 280 mm/an. Bien entendu l'infiltration est évaluée après estimation du ruissellement par la méthode de TIXERON-BERKALOFF (R-P³/3ETP et complétée par une comparaison des conditions environnantes de chaque zone du terrain étudié. Ainsi les facteurs pris en compte sont : la topographie, la végétation, la nature du sol et l'intensité de la pluie.

De ce fait la faible topographie, la présence de couverture végétale, la bonne perméabilité du sol et la faible intensité de la pluie influent avantageusement pour l'infiltration, le cas contraire agit positivement sur l'autre paramètre (ruissellement).

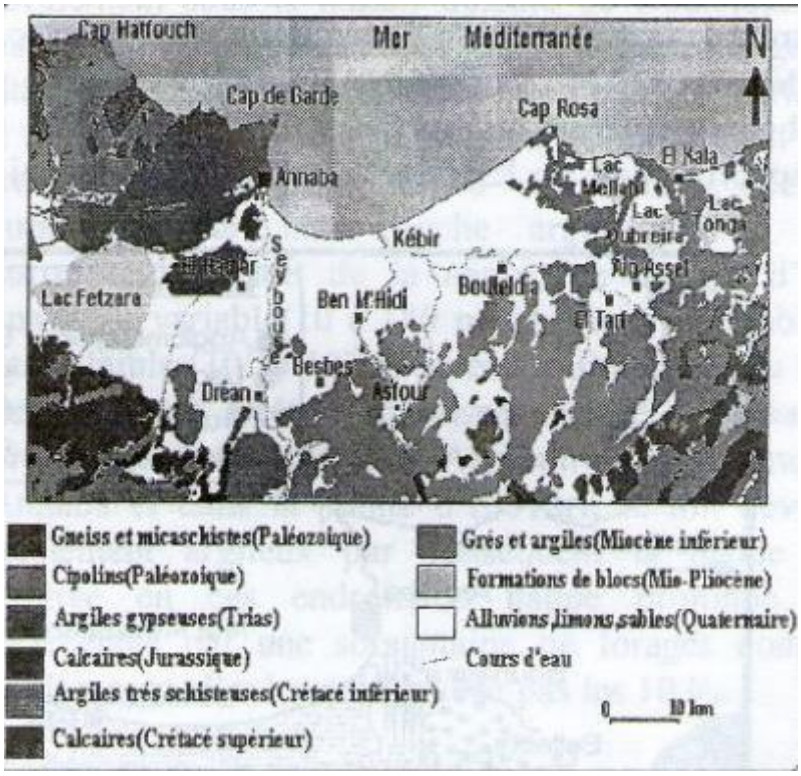


Figure V.1 : carte géologique de la zone d'Etude.

V.3.1. La géologie de la zone d'étude :

- **Profil géologique avec implantation :**

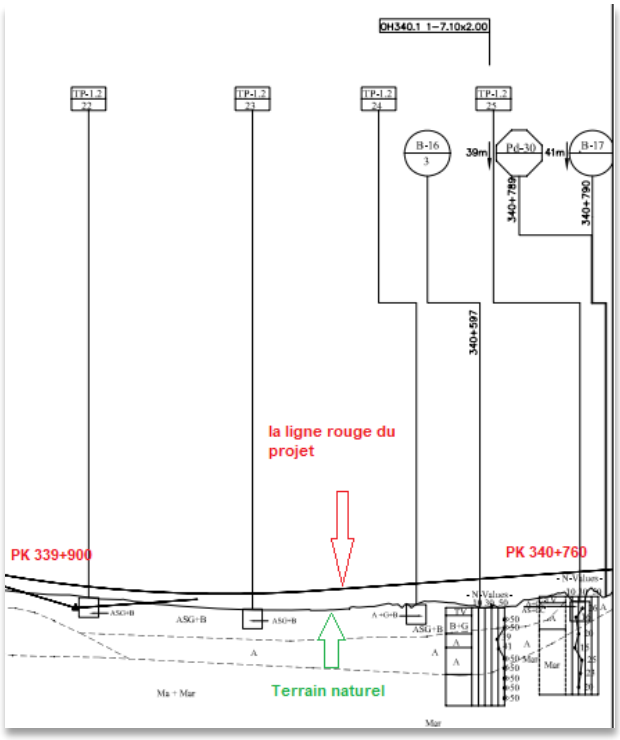
Les figures suivantes représentent le profil géologique effectuée sur la zone d'étude du PK339+900 jusqu'au PK349+900 sur un profil en long, ainsi la ligne rouge de la route et les zones de déblais et de remblais :

La topographie au long du trace consiste en des plaines basses et collines. Leur classification est comme suivant :

• Basses plaines (plaines alluviales), EL= 5-40m

• Colline EL= 50-120m

Un résumé de la stratigraphie est indiqué dans le tableau qui suit :



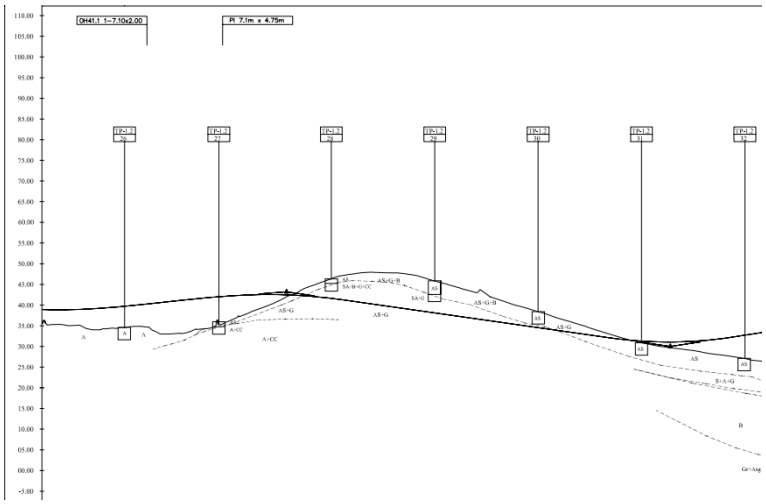


Figure V.3: profil en long géologique du PK340+800 au PK342+500

Figure V.2 : profil en long géologique du PK339+900 au PK340+760

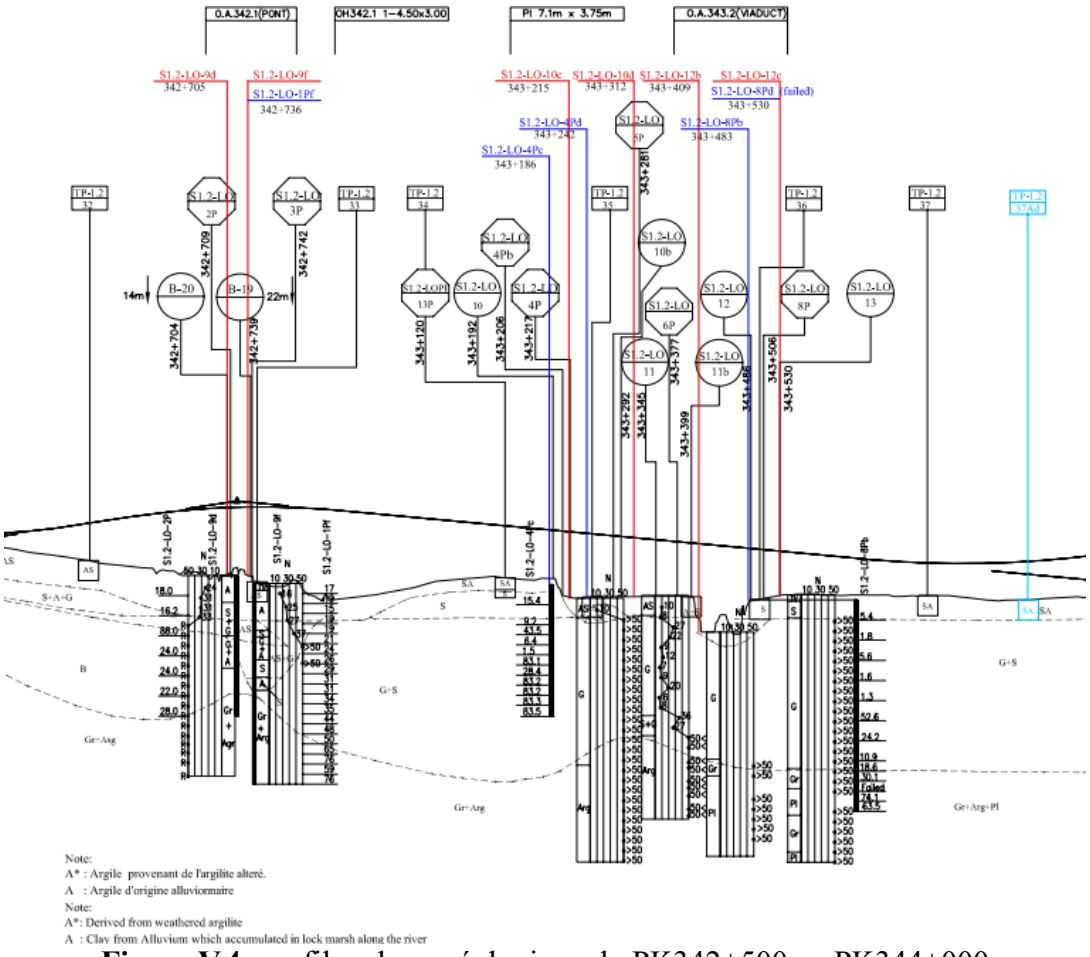


Figure V.4: profil en long géologique du PK342+500 au PK344+000

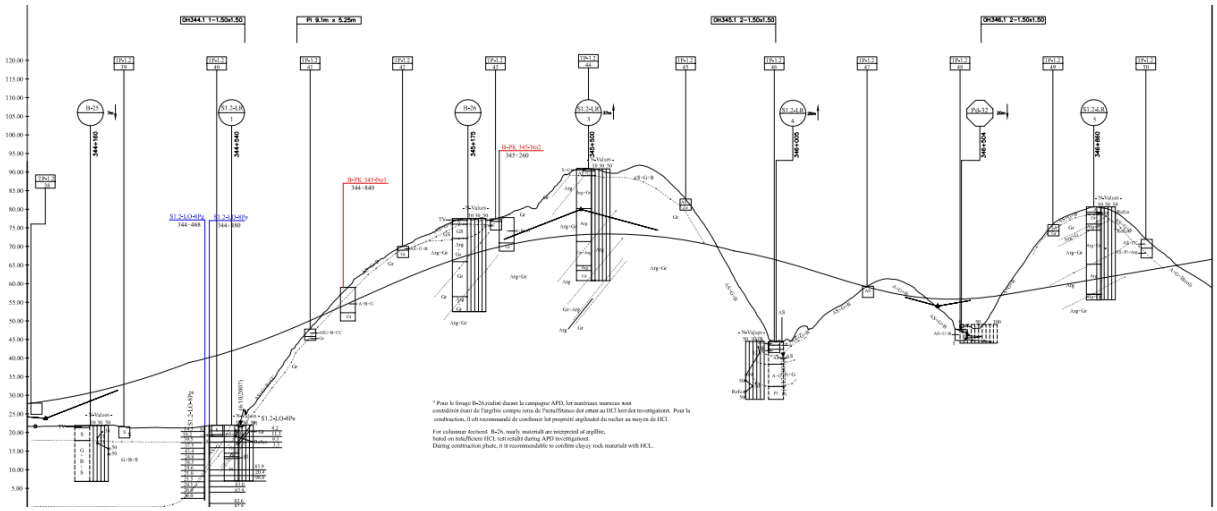


Figure V.5: profil en long géologique du PK344+000 au PK347+200

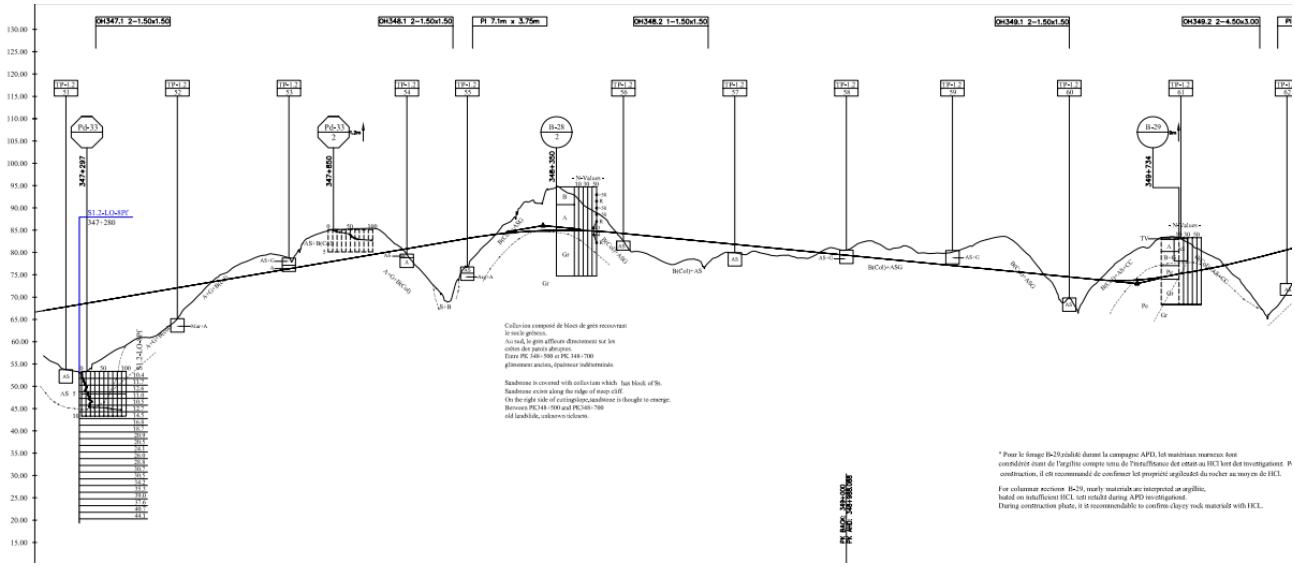


Figure V.6: profil en long géologique du PK347+200 au PK350+000

PK (km)	Géomorphologie	Géologie
350+670	Colline	Pelite
349+890	Basse plaine	Argile, Gravier
349+290	Colline	Alternance de grès et de pélite
348+270	Colline	Grès
347+410	Basse plaine	Sable, Argile
344+690	Colline	Grès
343+550	Colline	Zone hautement altérée (Argile, argile avec gravier)/ siltite
341+410	Colline	Alternance de grès et de grès fin
341+030	Colline	Alternance de grès et de grès fin
340+390	Colline	Alternance de grès et de pélite

V.4. La reconnaissance géotechnique :

V.4.1. Essais in situ :

Aux fins de déterminer d'une part, la nature géologique du terrain et d'autre part, les caractéristiques géotechniques des sols on a le programme de reconnaissance suivant :

- Forage
- Essais de Pénétration
- Essais au pressiomètre
- Essais à la plaque (PBT)

V.4.1.1. Forage :

83 forages ont été réalisés avec huit machines de forage rotatoire de grande puissance hydraulique. Des échantillons ont été prélevés dans les sols cimentés et rocheux avec des carottiers à double-tube et dans les dépôts non consolidés et les roches altérées avec des échantillonneurs à parois fendues. Les échantillons ont été stockés dans des boîtes à carotte après avoir été enveloppés dans du polyéthylène et identifiés par des entretoises et de l'encre indélébile.

Forage No.	P.K.	Coordonnées		Profondeur (m)	SPT (nombre)	Nombre d'échantillons pris pour essais de labo.	Elévation de surface
		Nord	Est				
B 57-2	350,790	415182.57	4065985.45	40	1	3	79
B 57	351,000	415372.00	4066083.00	40	15	5	66
B 58	349,670	416505.00	4066196.00	15	6	3	21
B 59	348,540	417327.00	4066948.00	55		7	92
B 60	348,540	417262.00	4066995.00	50			86
B 61	347,300	418353.00	4067535.00	15	9	5	3
B 62	343,470	421540.00	4069649.00	20	13	4	41
B 63	343,180	421820.00	4069723.00	20	10	6	43
B 64	342,850	422156.00	4069747.00	25	15	5	43
B 65	342,650	422350.00	4069752.00	22	14	6	38
B 66	342,070	422926.00	4069848.00	15	8	3	27
B 67	340,170	423796.00	4069887.00	20			45
B 68	340,250	424690.00	4069499.00	30			64
B 69	339,610	424647.00	4069591.00	39		2	65

Figure V.10 : Liste des forages effectués

V.4.1.2. Essais de Pénétration :

- Essai de pénétration dynamique :

Pour compléter les données de forage, des essais de pénétration dynamique ont été réalisés en utilisant un équipement de chute libre avec un mouton de 64 kg, une hauteur de chute de 0,75 m, une zone de bout de cône de 20 cm2 et un intervalle de comptage de coups de 20 cm.

Le dispositif de pénétration était constitué d'un bout conique fixé à une série de tiges en acier, mesurant ainsi la résistance de pénétration due au bout et au frottement latéral des tiges.

Pd No.	P.K.	Coordonnées		Profondeur (m)	Elevation de surface
		Nord	Est		
Pd-38-2	349,700	416453.25	4066241.89	6.6	17
Pd-38-3	349,650	416479.62	4066251.70	5.0	16
Pd-38-6	345,760	419628.85	4068393.08		6

Figure V.11 : Liste des essais de pénétration dynamiques (Pd)

V.4.1.3. Essais au pressiomètre

Les essais au pressiomètre ont été faits principalement aux lieux des ponts avec un pressiomètre de type Menard conformément à la norme NF P94-110 : reclassification et tests "essais au pressiomètre Me nard". Les essais ont été effectués à proximité des sites de forage à la carotte sélectionné, à environ 2 à 5 m de distance. Le forage exigé pour l'opération des essais au pressiomètre a été effectué avec une foreuse.

La profondeur des essais réels au pressiomètre varie entre 1.0 et 10 m.

No.	PK	BP	Type of Soil	Depth (m)	Pl (MPa)	E (MPa)	P0 (MPa)	Pf (MPa)	V (cm3)	V0 (cm3)	Vf (cm3)	K (MPa)	ΔP/ΔV (MPa)	Pf/Pl	E/Pl
Pr-32	348,89	B -58	Clay	3.0	0.4	1.9	0.05	0.18	535	176.7	313.8	2,075	0.0009	0.45	4.75
			Clay	6.8	0.3	2.5	0.04	0.07	535	153.3	174.9	1,860	0.0014	0.23	8.33

Figure V.12 : résultat d'essais au pressiomètre actuels (Pr)

V.4.1.4. Essais à la plaque (PBT) :

Les essais à la plaque ont été effectués au fond des puits d'exploration ; le mode opératoire a suivi le la norme NF P 94-117-1.

PBT No.	PK	Coordonnées		Profondeur (m)	Elévation (m)	Remarques (N°. de forage)
		Nord	Est			
PBT-8	346.460	418203.00	4067539.00	9	0.2	B-61

Figure V.13 : Liste des essais à la plaque actuels (PBT)

V.4.2. Essais laboratoires :

V.4.2.1. Programme des essais :

Les essais au laboratoire sont prévus pour la détermination des propriétés physiques et mécaniques des matériaux pour le dimensionnement des terrassements d'autoroute et de la structure de la chaussée.

Dans cette optique, et au vu des résultats des sondages et à l'identification visuelle de tous les échantillons collectés, une sélection d'échantillons représentatifs provenant des différentes formations et zones d'emprunt a été fait. Ces échantillons représentatifs ont été soumis à différents essais en laboratoire.

Les échantillons ont été analysés dans le laboratoire de l'est de LTP Annaba. La figure suivante récapitule ci-dessous le type et le nombre d'analyses de laboratoire effectués.

Désignation	Norme No.	Nombre d'essais
Laboratoire Teneur en humidité Analyse au tamis (y compris la teneur en humidité naturelle)	NF P94-040,94-050 NF P94-056	315
Analyse mécanique par sédimentation de matériaux fins tamis (y compris la teneur en humidité naturelle)	NF P94-057	203
Densités à la siccité du sol cimenté et cohésif	NF P94-062,064	73
Indice de Plasticité	NF P94-051	137
Gravité Spécifique	NF P94-054	194
Test de bleu de méthylène	NF P94-068	133
Test équivalent de sable	NF P18-598	1
Essai de compression non confine sur sol cohésif	NF P94-077	35
Essais de cisaillement directs consolidés sur sol cohésif	NF P94-071-1,2	19
Essai Proctor	NF P94-093	5
Détermination du ratio de portance de Californie (CBR) 4 jours absorbés y compris le test de compactage	NF P94-078	5
IPI		5
Essai de laboratoire sur matériaux fins et rugueux Teneur en eau, porosité, absorption,		4
gonflement, et durabilité étanche sur échantillon de roche	NF P94-410-1,2,3	
Analyse au tamis		
Dureté et abrasivité de la roche (essai Los Angeles)	NF P18-573	
Essai Micro-Deval	NF P18-572	
Essais de compression uni axiale sur carottes de roche y compris la densité de volume et la détermination de la teneur en humidité	NF P94-420	11
Analyse chimique du sol et de la nappe d'eau Teneur en Sulfate	NF T90-009	50
Teneur en chlorures	NF P18-583	12
Valeur du pH	NF T94-048	43
Teneur en carbonate de calcium su sol et de la roche	NF P94-048	86
Matières organiques	NF P94-055	10

Figure V.7 : liste des essais de laboratoire avec référence de normes

V.4.2.2. Résultats de la reconnaissance en laboratoire :

- **Essais physiques :**

Tableau V.1 : Les essais physiques

PK	Profondeur (m)		Granulats (mm)					VBS	ω (%)	Sr (%)	Limite d'Atterberg		
	De	À	20	2	0.08	0.002	$80\mu m$				W_L	Wp	Ip
340+170	1	2	1.5	21.7	40.8	36	76.8	3.83	21.4	80	39	21	18
342+070	5.35	5.7	59.8	10.4	28.9	1.9	30.8		21.6	92			
	9	9.5	59.6	9.5	28.4	2.5	30.9		15.4		47	23	24
	12.2	12.6	49.4	10	27.8	12.8	40.6		19.3	93	32	19	13
342+650	1	1.5	2.5	33.7	35	28.8	63.8	5	5.5		63	19	44
	9.05	9.5	46	25.3	18.3	10.4	26.7		15.7	100	39	14	25
	13.55	14	8.4	15.3	27.3	49	76.3		15.4	83	48	22	26
343+180	8.15	8.30	10.9	10.7	34.8	35.6	70.4	6.5	18.3	100	51	25	26
	14.7	19.7	10.6	6.1	46.2	37.1	83.3	5.33	23.2	90	60	27	33
343+470	4.55	5.00	28.1	18.0	24.3	29.6	53.9	7	23.8	100	80	22	58
	15.05	15.5	6.8	18.9	37.6	36.7	74.3		21	93	48	19	29
347+300	4.1	4.5	0.5	3.9	39.2	56.4	95.6		9.1	42	43	22	21
348+540	1	2	33.2	6	49.5	11.3	60.9	7.66	22.3	95	55	26	29
	2	3	20	2.3	39.4	36.3	77.7	8.83	21.3	89	57	26	31
	8.6	8.9	9.4	11.3	37.6	41.7	79.3	4.33	14.7	97	41	21	20
	22.5	22.8	40.9	10.5	37.8	10.8	48.6	5.33	15.6	100	26	17	9
	48.38	48.75	6.5	24.1	41.5	27.9	69.4	3.66	7.4	91	34	19	15
349+670	3	3.5	1.7	21.1	34.5	42.7	77.2		20.1				
	3.5	4						3.83	19.1	30	20	18	

- **Les essais mécaniques**

PK	Dr. No.	No.Puits d'exploration	Profondeur (m)	Essai de cisaillement				Essai de compression triaxiale		Essai de compression simple		Teneur en carbonate de calcium
			Moyenne	Ccu kN/m2	φ (deg)	Cuu kN/m2	φ (deg)	Cuu kN/m2	φ (deg)	qu (kN/m2)	C (kN/m)	%
351+000	F57-2		12.35							60	30	9.97
348+540	F59		22.65							327	164	17.97
			31.22							1578	789	
			32.95							1662	831	12.5
			48.57							875	438	16.4
348+540	F60 R	TP15	1.50	30	11					159	80	
		TP15	2.50			100	12	45	0	171	86	
		TP15	2.50	0	12							
347+300	F61		4.30							588	294	
			14.55							791	395	
342+070	F66		5.53							212	106	
			12.40							33	16	
340+170	F68	TP16	1.50	16	22					262	131	

Figure V.8 : Les essais mécaniques

V.4.3. Classification des sols :

V.4.3.1. CLASSIFICATION GTR :

Selon le Guide des terrassements routiers (GTR – SETRA/LCPC- Fascicules I et II), les paramètres retenus pour la classification des sols se rangent en deux (2) catégories :

- Paramètres de nature, Ce sont la granularité et l'argilosité ;
- Paramètres d'état :
  - État humide (h) ;
  - État très humide (th) ;
  - État humide moyenne (m) ;
  - État sec (s) ;
  - État très sec (ts).

Tableau V.2 : Classification GTR

PK	Profondeur moyenne	Classification	
	(m)	Type de sol	Symbole
340+170	1.5	Argile et marnes peu plastique	A_2h
342+070	5.53	Gravier argileuse (peu argileuse)	B_4
	12.4	Argile et marnes peu plastique	A_2h
347+300	4.3	Argile et marnes peu plastique	A_2ts
	14.55	Limon peu plastique	A_1
348+540	1.5	Argile marneuse avec gravier	A_3m
	2.5	Argile marneux	A_3s
348+540	22.65	Limon peu plastique	A_1
	31.22	Argile et marnes peu plastique	A_2s
	32.95	Argile et marnes peu plastique	A_2ts
	48.57	Argile et marnes peu plastique	A_2ts

V.4.3.2. CLASSIFICATION DU SOL SELON LCPC :

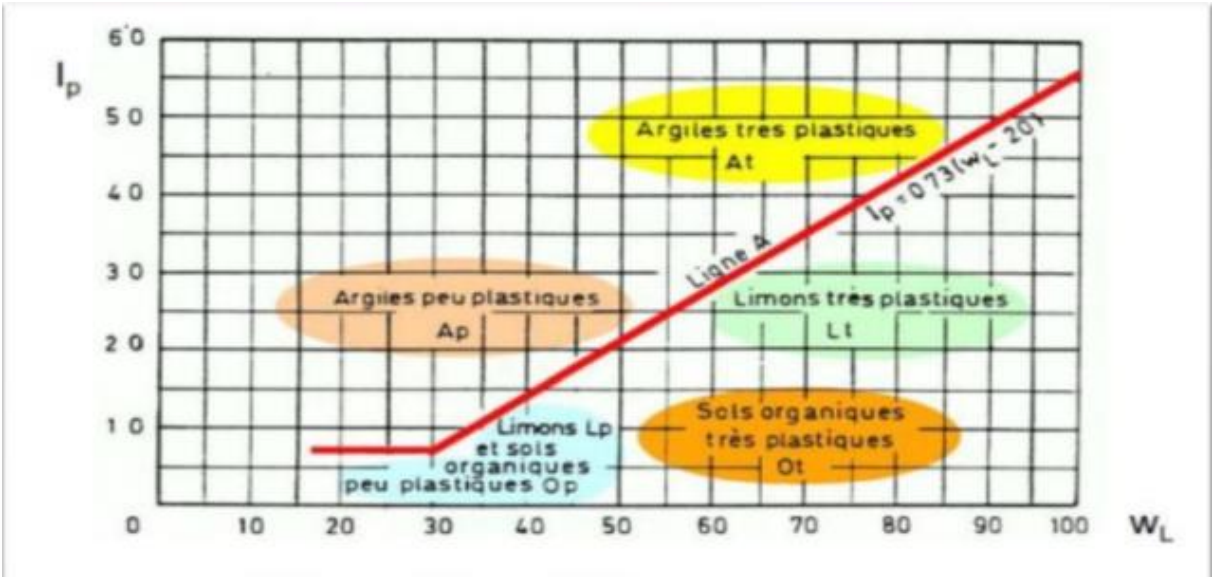


Figure V.9 : Diagramme de CASAGRANDE

Tableau V.3 : Classification LCPC

Pk	Condition	Classification	Nature de sol
340+170	$(W_L, I_P) =$ (39%, 18%)	A_P	Argile peu plastique
342+070	$(W_L, I_P) =$ (32%,13%)	A_P	Argile peu plastique
347+300	$(W_L, I_P) =$ (34% ,21%)	A_P	Argile peu plastique
348+540	$(W_L, I_P) =$ (57%,31%)	A_P	Argile peu plastique
348+540	$(W_L, I_P) =$ (34%,15%)	A_P	Argile peu plastique

V.5.CONCLUSION

Une attention particulière doit être apportée au niveau des terrassements lors de la construction par l'entrepreneur. Des dispositions doivent être prises pour ne pas remanier l'argile, assurer un bon drainage par des moyens adéquats.

Les recommandations suivantes doivent être prises en compte lors de la réalisation des terrassements :

- Drainage de la nappe avant les travaux d'excavation ;
- Excavation de la terre végétale et des matériaux de remblai avec présence de matériaux délétères et de matières organiques sur toute leur profondeur ;
- Protéger la plate-forme argileuse par une couche drainante de nature graveleuse de 20cm d'épaisseur ou une nappe de géotextile ;
- Protéger tous les talus de déblais par des masques drainant sableux ou par des nappes de géotextiles drainantes.

CHAPIRE VI

Dimensionnement du corps de chaussée

VI.1 Introduction :

Lors de l'étude d'un projet routier, le dimensionnement des structures de chaussée est une étape cruciale. Cette étape consiste à sélectionner les matériaux adéquats avec les caractéristiques requises et à déterminer l'épaisseur des différentes couches de la structure pour garantir de bonnes propriétés mécaniques et résister à toutes les charges tout au long de la durée de vie de la chaussée. Ce processus dépend principalement de trois facteurs fondamentaux : le trafic, les conditions environnementales, en particulier le climat, et la nature du sol de support.

VI.2 Les chaussées :

VI.2.1. Définition de la chaussée :

La chaussée est la surface de la route sur laquelle les véhicules circulent et est formée par plusieurs couches de matériaux superposées conçues pour résister aux charges extérieures.

VI.2.2. Différents types de chaussée :

Du point de vue constructif, les chaussées peuvent être groupées en trois grandes catégories :

- **Chaussée souple :**

Les chaussées souples sont constituées de différentes couches de matériaux ayant des propriétés mécaniques spécifiques. Les couches supérieures sont conçues pour être plus résistantes et moins déformables que les couches inférieures. La construction d'une chaussée nécessite généralement plusieurs couches de matériaux différents, chacune ayant un rôle spécifique et une épaisseur déterminée. En général, une chaussée comprend les couches suivantes :

A- La couche de roulement (surface) : Cette couche de surface est conçue pour protéger la couche de base en offrant une surface dure et imperméable. Elle doit également offrir une certaine rugosité pour assurer la sécurité et le confort des usagers. La couche de roulement est en contact direct avec les pneumatiques des véhicules et doit être capable d'encaisser les efforts de cisaillement provoqués par la circulation. La couche de liaison assure la transition avec les couches inférieures plus rigides. En général, l'épaisseur de la couche de roulement varie entre 6 et 8 cm.

B. La couche de base : Cette couche joue un rôle crucial en résistant aux déformations permanentes causées par le trafic et la compression du sol. Elle est conçue pour redistribuer les charges verticales et les contraintes normales sur les couches inférieures. L'épaisseur de la couche de base varie généralement entre 10 et 25 cm.

C. La couche de fondation : Composée de matériaux non traités (en Algérie), elle est utilisée pour homogénéiser les contraintes transmises par le trafic. Elle contribue également à la portance de la chaussée en répartissant les charges verticales et les contraintes normales sur les couches inférieures. En général, la couche de fondation a le même rôle que la couche de base.

D. La couche de forme : Cette couche est utilisée pour adapter les caractéristiques des matériaux de remblai ou de terrain naturel aux caractéristiques mécaniques, géométriques et thermiques requises pour optimiser les couches de chaussée. Elle permet également de corriger les défauts géométriques et d'améliorer la portance à long terme du sol support. L'épaisseur de la couche de forme varie généralement entre 40 et 70 cm.

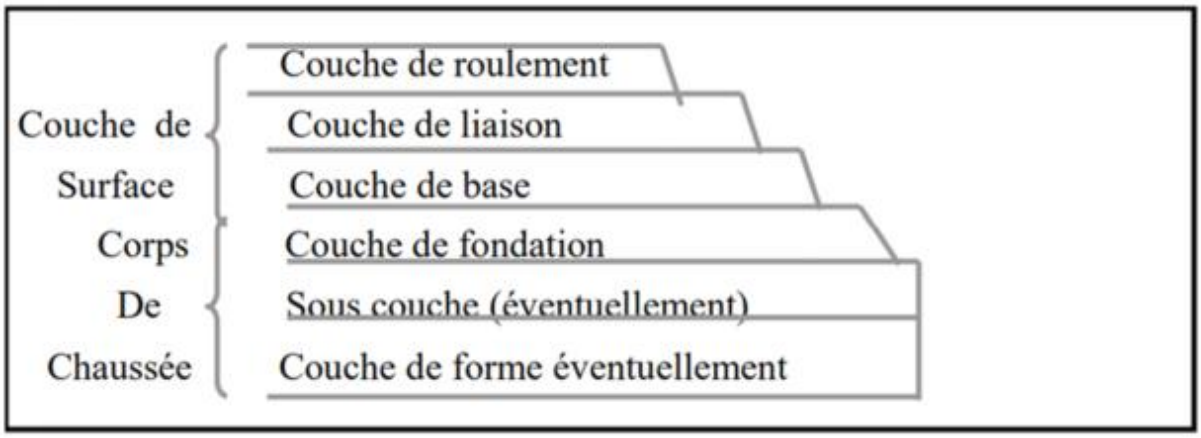


Figure VI.1 : Coupe type d'une chaussée souple

- **Chaussée rigide :**

Une chaussée rigide est constituée d'une dalle de ciment Portland qui fléchit élastiquement sous les charges. Elle repose sur un sol compacté ou sur une mince fondation de pierre ou de gravier concassé, ou encore sur une fondation stabilisée.

- **Chaussée semi-rigide :**

La chaussée semi-rigide est un type de chaussée qui se situe entre les chaussées souples et les chaussées rigides en termes de rigidité et de résistance. Elle est généralement composée d'une couche de surface en béton bitumineux et d'une base en béton maigre ou en grave-ciment.

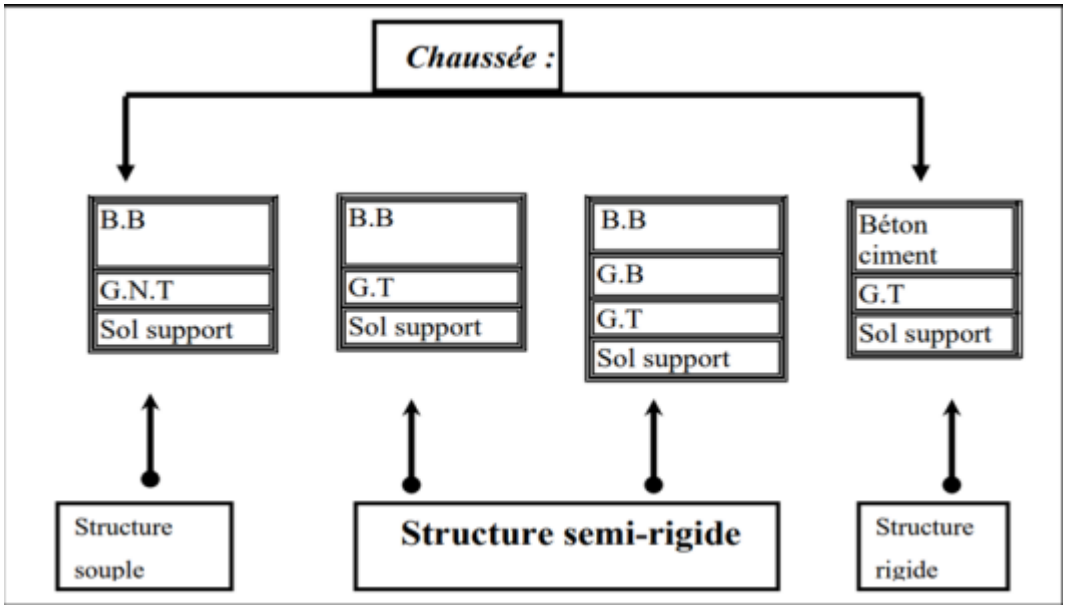


Figure VI.2 : Schéma récapitulatif des types de chaussée

VI.3 Méthodes de dimensionnement :

On distingue deux familles des méthodes :

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

Pour dimensionner la structure de chaussée, on appliquera les deux méthodes les plus utilisées en Algérie qui sont :

➢ **La Méthode CBR** (méthode empirique basée sur des études expérimentales) ;

➢ **La Méthode du catalogue** Algérien de dimensionnement des chaussées neuves (méthode rationnelle basée sur des études théoriques).

Ces méthodes basées sur la connaissance de certains paramètres fondamentaux liés aux facteurs suivants :

- Trafic
- Durée de vie
- Données climatiques
- Sol support
- Risque de calcul considéré
- Caractéristiques de matériaux

VI.3.1. METHODE DE C.B.R (CALIFORNIA–BEARING–RATIO) :

Cette méthode semi-empirique repose sur l'utilisation d'un essai de poinçonnement réalisé sur un échantillon représentatif du sol support, qui a été compacté selon les normes d'essai requises, avec un angle de 90° à 100° par rapport à l'optimum Proctor modifié.

Afin de déterminer l'épaisseur totale du corps de chaussée, il est nécessaire que la contrainte verticale répartie, en accord avec la théorie de Boussinesq, reste inférieure à une contrainte limite qui est proportionnelle à l'indice CBR. L'épaisseur peut être calculée en utilisant la formule suivante :

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

- e : épaisseur équivalente
- N : désigne le nombre moyen des camions dépassant 1500 Kg à vide
- P : charge par roue P = 6.5 t (essieu 13 t)
- ICBR : indice portant C.B.R (sol support).

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante :

$$e_{eq} = a1 \times e1 + a2 \times e2 + a3 \times e3.$$

- a1, a2, a3 : coefficients d'équivalence de matériau par référence à une grave concassée
- e1, e2, e3 : épaisseurs réelles des couches.

Tableau VI.1 : les coefficients d'équivalence pour chaque matériau

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux BB ou enrobé dense	2.00
Grave ciment, grave laitier	1.50
Grave bitume GB	1.20-1.70
Grave concassée GNT	1.00
Grave roulée, grave sableuse, TVO	0.75
Tuf	0.60
Sable	0.50

VI.3.1.1. Application au projet :

- ICBR= 4.11
- N=TPL2043
- TJMA2010=13814v/j
- TJMA2023=19482v/j
- TPL2043vpc=0.07×0.8×19482× $(1 + 0.0268)^{20}$ =1852 PL/j/sens la plus chargé
- P=6.5t

$$e = \frac{100 + \sqrt{6.5}\,(75 + 50log\frac{1852}{10})}{4.11 + 5} = 63.69cm$$

e=64cm

Pour proposer le dimensionnement de la structure de la chaussée, il faut résoudre l'équation suivante : $a_1 \times e_1 + a_2 \times e_2 + a_3 \times e_3 = 64cm$.

- $a_1 \times e_1$: couche de roulement ;
- $a_2 \times e_2$: couche de base ;
- $a_3 \times e_3$: couche de fondation.

Tableau VI.2 : les épaisseurs des couches de matériaux

	Epaisseur réelle	C équivalent	Epaisseur équivalente
Couche de roulement BB	8	2	16
Couche de base GB	14	1.5	21
Couche de fondation GNT	27	1	27
Total	49	/	64

Structure de chaussée retenue avec la méthode CBR : 8BB + 14GB +27GNT.

Epaisseur réelle Total=49cm.

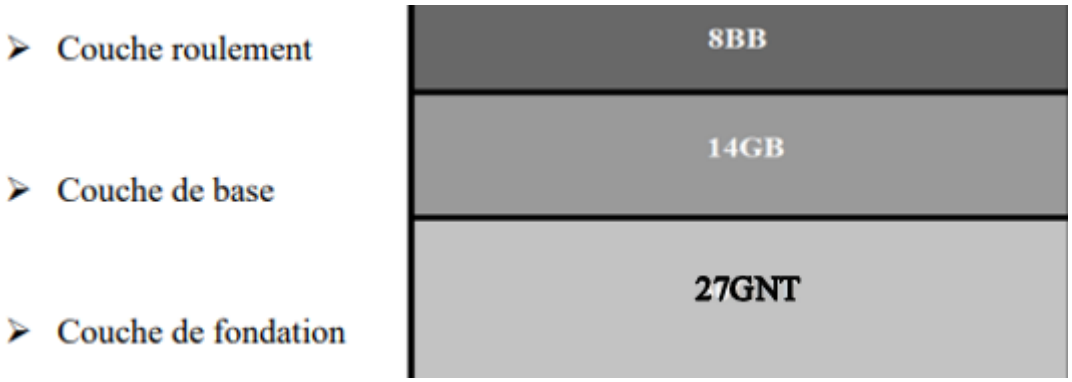


Figure VI.3 : structure du corps de chaussée selon méthode C.B.R

La méthode CBR a tendance à proposer des corps de chaussée peu économiques. Ainsi, pour ce projet, la méthode retenue est celle du catalogue Algérien, qui offre les avantages suivants :

- Elle prend en compte les performances des matériaux
- Les déformations admissibles et la fatigue des matériaux. En outre
- Cette méthode est conçue par le CTTP et a été validée par le ministère des travaux publics.

VI.3.2. Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves :

VI.3.2.1. Description de la méthode :

Le catalogue de dimensionnement des chaussées se présente sous forme de fiches précalculées pour différentes structures. Ces fiches font appel à divers documents d'accompagnement tels que des normes, des guides techniques et des recommandations.

Les paramètres utilisés pour le dimensionnement, tels que le trafic, les matériaux, le sol support et l'environnement, sont similaires à ceux utilisés dans d'autres méthodes. Ces paramètres constituent souvent les données d'entrée pour le dimensionnement, qui permettent de sélectionner une structure de chaussée appropriée.

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

- Une approche théorique
- Une approche empirique.

VI.3.2.2. Les données climatiques :

Le dimensionnement de corps de chaussée s'effectue avec une température consistante, c'est à-dire température équivalente θ_{eq}, en tenant compte du cycle de variation de température de chaque année.

La température équivalente est généralement déterminée selon le zonage climatique du site d'après le « catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP 2001) », le site de projet est classé en zone II (Wilaya de Taref), avec :

Tableau VI.3 : Choix de la température équivalente (Fascicule 2)

	Zone climatique		
Température équivalente θeq (°C)	I et II	III	IV
	20	25	30

On prend une température équivalente égale à 20°C.

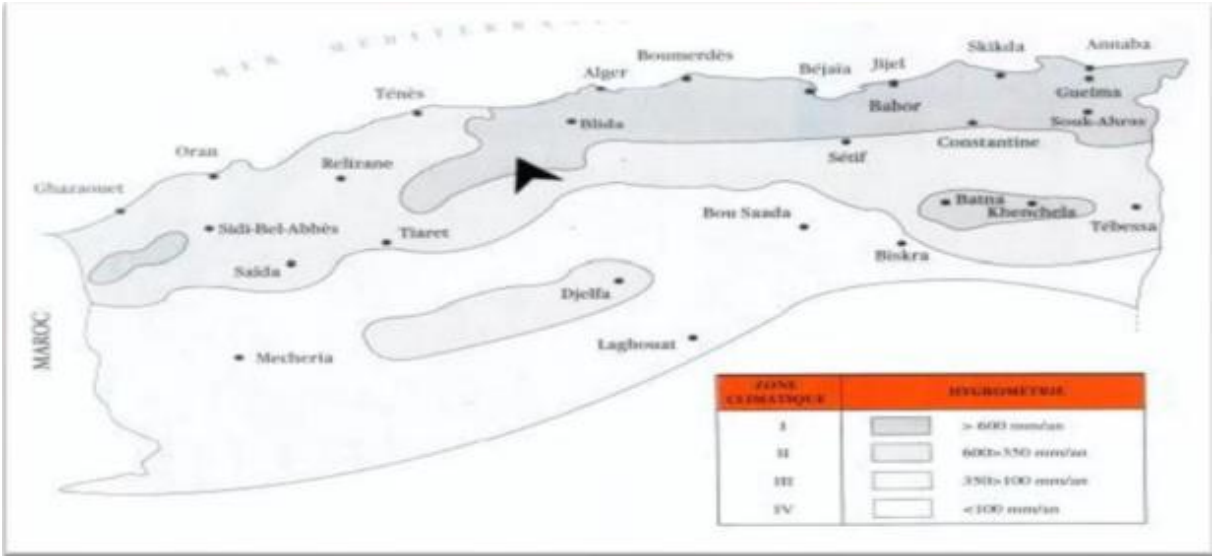


Figure VI.4 : Position du projet dans la carte climatique de l'Algérie

La Pluviométrie entre 350 et 600 mm\an.

VI.3.2.3. Les données du trafic :

- **Détermination du type du réseau principal :**

Tableau VI.4 : Détermination du type du réseau principal

Réseau principale	Trafic (véhicule/jour)
RP1	>1500
RP2	<1500

TJMA2023=19482v/j dans les deux sens > 1500(V/j) Le réseau principal de notre est RP1.

- **Classe De Trafic (TPLi) :**

Le trafic sera calculé et classifié avec les recommandations de « catalogue algérien du dimensionnement des chaussées neuves (version 2001) ».

Le trafic été considéré comme équilibré (identique) dans les deux sens.

- TJMA2010=13814v/j
- TJMA2023=19482v/j

$$TPL_{2023} = TJMA_{2023} \times \%PL$$

$TPL_{2023} = 19482 \times 0.07 = 1363.75$PL/j/sens

Pour une chaussée unidirectionnelle à trois voies, on prend 80% du trafic PL sur la voie lente de droite (la voie plus chargé), donc $TPL_{2023} = 1363.75 \times 0.8 = 1091$ PL/j/voie plus chargée

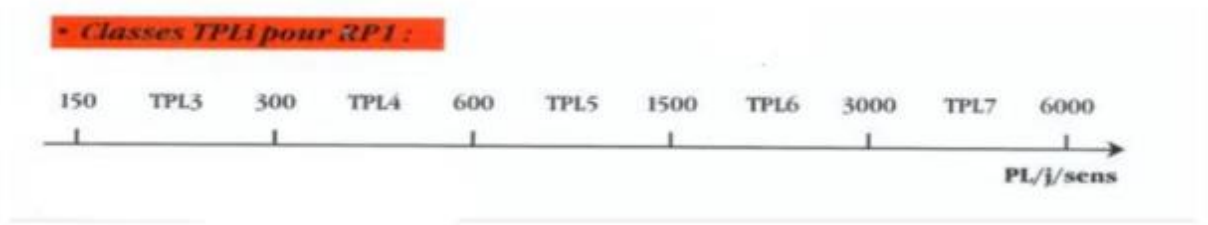


Figure VI.5 : classes de TPLi pour PR1.

Donc la classe de trafic est : TPL5.

- **Le trafic cumulé de poids lourd (TC_i)**

Le TC_i est le trafic de PL sur la période considérée pour le dimensionnement (durée de vie), il est donné par la formule suivante :

$$TC_i = TPL_i \times 365 \times \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

i : taux d'accroissement

n : durée de vie.

$$TC_{2043} = 1091 \times 365 \times \frac{(1+0.0268)^{20} - 1}{0.0268} = 10.36 \times 10^6\ PL/j/voie\ le\ plus\ chargée$$

- **Trafic cumulé équivalent (TCE_i) :**

Il correspond au nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes sur la durée de vie considérée.

$$\mathrm{TCE_i} = \mathrm{TC_i} \times A$$

A : coefficient d'agressivité de poids lourd par rapport à l'essieu de référence de 13 tonnes. En fonction de réseau principal $\mathrm{RP_i}$.

Tableau VI.5 : Valeurs de coefficient d'agressivité selon le réseau principal (CTTP, 2001)

Niveau de réseau principal (RPi)	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 traités au bitume : SB/SG	0,4
RP1 et RP2	Sol support (Calcul de $\varepsilon_{z,ad}$)	0,6

La structure type sera en matériaux traité au bitume, d'après le tableau le coefficient A=0.6.
Donc : $TCE_i = 10.36 \times 10^6 \times 0.6 = 6.216 \times 10^6$

VI.3.2.4. Le risque de calcul :

Tableau VI.6 : Risque adopté pour le réseau RP1 (fascicule N° 2)

	Clase de trafic TPLi(PL/j/sens)	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	TPL7
Risque (%)	GB/GB GB/GNT	20	15	10	5	2
	GL/GL	15	10	5	2	2

C'est la probabilité pour qu'apparaissent au cours de la durée de vie de la chaussée des dégradations structurelles qui impliqueraient des travaux de renforcement de la chaussée. Pour RP1 et un trafic TPL5 on a : r=10%.

VI.3.2.5. Détermination de la portance du sol support :

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

Le tableau suivant regroupe les classes de portance des sols par ordre de S4 à S0. Cette classification sera également utilisée pour les sols-supports de chaussée

TableauVI.7 : Présentation des classes de portance à long terme du sol-support (fasiculeN°1)

Portance (SI)	S4	S3	S2	S1	S0
CBR	<5	5-10	10-25	25-40	>40

A partir de la relation empirique : E(MPa)=5×CBR, on a les valeurs des modules indiqués sur le tableau ci-dessous :

Tableau VI.8 : Classe de portance de sol-supports(fasiculeN°1)

Classes de sol-supports	S3	S2	S1	S0
Module (MPa)	25 - 50	50 - 125	125 - 200	> 200

On a CBR < 5

La portance de sol support est de S4

Donc : on ajoute une couche de forme de 60 cm d'épaisseur en matériaux sélectionnés (TUF) en deux couches de 30 cm, compacté en deux couches conformément aux résultats du Proctor modifié.

- **Amélioration de la portance du sol support :**

Pour améliorer la portance d'un sol, on a recours aux couches de formes. Le (CTTP) a fait des recherches sur la variation du CBR selon les différentes épaisseurs de CF, 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 CF. Le tableau donne des indications sur le choix de la couche de forme à réaliser :

Tableau VI.9 : Classement avec couche de forme en matériau non traité

Classe de portance de sol terrassé (Si)	Matériau de couche de forme	Epaisseur de matériau de couche de forme	Classe de portance de sol-support visée (Sj)
< S4	Matériaux non traités (*)	50 cm (en 2 couches)	S3
S4	//	35 cm	S3
S4	//	60 cm (en 2 couches)	S2
S3	//	40 cm (en 2 couches)	S2
S3	//	70 cm (en 2 couches)	S1

On a proposé la structure suivante :

- Couche de roulement BB
- Couche de base GB
- Couche de fondation GB

- **Choix de dimensionnement**

  - Le réseau principal (RP1) ;
  - La zone climatique IIa ;
  - Durée de vie de 20 ans ;
  - Taux d'accroissement (2.68%) ;
  - Portance de sol S2 ;
  - Classe de trafic TPL5.

Avec toutes ces données, le catalogue Algérien (fascicule 3) propose la structure suivante :

TPLi / Si / PL/j/sens	S2 50 MPa	S1 125 MPa	S0 200 MPa
6000 TPL7 3000	8 BB 14 GB 15 GB	8 BB 12 GB 13 GB	8 BB 11 GB 11 GB
3000 TPL6 1500	8 BB 12 GB 13 GB	8 BB 11 GB 11 GB	8 BB 10 GB 10 GB
1500 TPL5 600	6 BB 11 GB 12 GB	6 BB 10 GB 10 GB	

Figure VI.6 : Les Choix de dimensionnement par la méthode du catalogue

- Couche de roulement
- Couche de base
- Couche de fondation
- Couche de forme



Figure VI.7 : Structure du corps de chaussée selon CTTP

VI.4 Calcul des déformations admissibles :

VI.4.1. Calcule de la déformation admissible sur le sol support ξz,ad :

A partir les études sur des chaussées algériennes on a la relation empirique suivante :

$$\xi z, \mathrm{ad} \;=\; 22 \times 10^{-3} \times (TEC_i)^{-0.235}$$

$$\xi z, \mathrm{ad} \;=\; 22 \times 10^{-3} \times (6.216 \times 10^{6})^{-0.235} = 557.12\ 10^{-6}$$

VI.4.2. Calcule de la déformation admissible ξt,adm a la base de GB :

Les déformations admissibles de traction ξt,adm à la base des couches bitumineuses est donnée par la relation suivante :

$$\boldsymbol{\xi t,adm} = \boldsymbol{\xi 6(10°C, 25Hz)} \times \boldsymbol{kne} \times \boldsymbol{k\theta} \times \boldsymbol{kr} \times \boldsymbol{kc}$$

- KΘ : facteur lie à la température, kΘ = $\sqrt{\frac{E(10C°)}{E(\theta eq)}}$,avec :
  - E(10°C) : Module complexe de matériau bitumineux à 10°C ;
  - E(θeq) : Module complexe du matériau bitumineux à la température équivalent.
- Kne: facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents supporté par la chaussée,

Kne = $(\frac{TEC_i}{10^6})^b$

- Kr: facteur lié au risque et aux dispersions, kr =$10^{-tb\delta}$, avec :
- δ: f (dispersion), δ = $\sqrt{SN^2 + (\frac{c}{b}S_h)^2}$, avec :

- SN : dispersion sur la loi de fatigue ;
- Sh : dispersion sur les épaisseurs (en cm) ;
- C : coefficient égal à 0.02 ;
- t : fractile de la loi normale, en fonction du risque adopté (r%).

- Kc: facteur lié au calage des résultats du modèle de calcul avec le comportement absorbé sur la chaussée avec
- ξ6(10°,25Hz): déformation limite détenue au bout de 106 cycles avec une Probabilité de rupture de 50% à 10°C et 25Hz.

VI.4.3. Application numérique :

Tableau VI.10 : Performances mécaniques des matériaux bitumineux (fascicule 2)

Materiau (MTB)	E (30°C,10Hz) (Mpa)	E(25°, 10Hz) (Mpa)	E(20°, 10Hz) (Mpa)	E(10°,10Hz) (Mpa)	ε_6(10°, 25Hz) (10^{-6})	-1/b	SN	Sh (cm)	υ	kc Calage
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

- ξ6(10°C,25Hz)=100
- Kne = $(\frac{TEC_i}{10^6})^b$ tq: $-\frac{1}{b}$=6.84, b=-0.146 → Kne = $(\frac{6.216\times10^6}{10^6})^{-0.146}$= 0.77
- KΘ = $\sqrt{\frac{E(10C°)}{E(\theta eq)}}$ tq: Θeq=20°C, E(25C°,10Hz) =7000Mpa
  Et E(10C°,10Hz) =12500Mpa
- KΘ = $\sqrt{\frac{12500}{7000}} = 1.336$
- kr =$10^{-tb\delta}$ tq : t=-1.282 (10%)

Tableau VI.11 : risque adapté le réseau RP1

r%	2	3	5	7	10	12	15
T	-2.054	-1.881	-1.645	-1.520	-1.282	-1.175	1.036
r%	20	23	25	30	35	40	50
T	-0.842	-0.739	-0.674	-0.524	-0.385	-0.253	0

$$\delta = \sqrt{SN^2 + (\frac{c}{b}S_h)^2} = \sqrt{0.45^2 + (\frac{0.02}{-1.146}3)^2} = 0.61$$

Kr=$10^{-1.282\times0.146\times0.61} = 0.77$

Kc= 1.3

Donc : $\boldsymbol{\xi t, adm} = 100 \times 10^{-6} \times 0.77 \times 1.336 \times 0.77 \times 1.3$

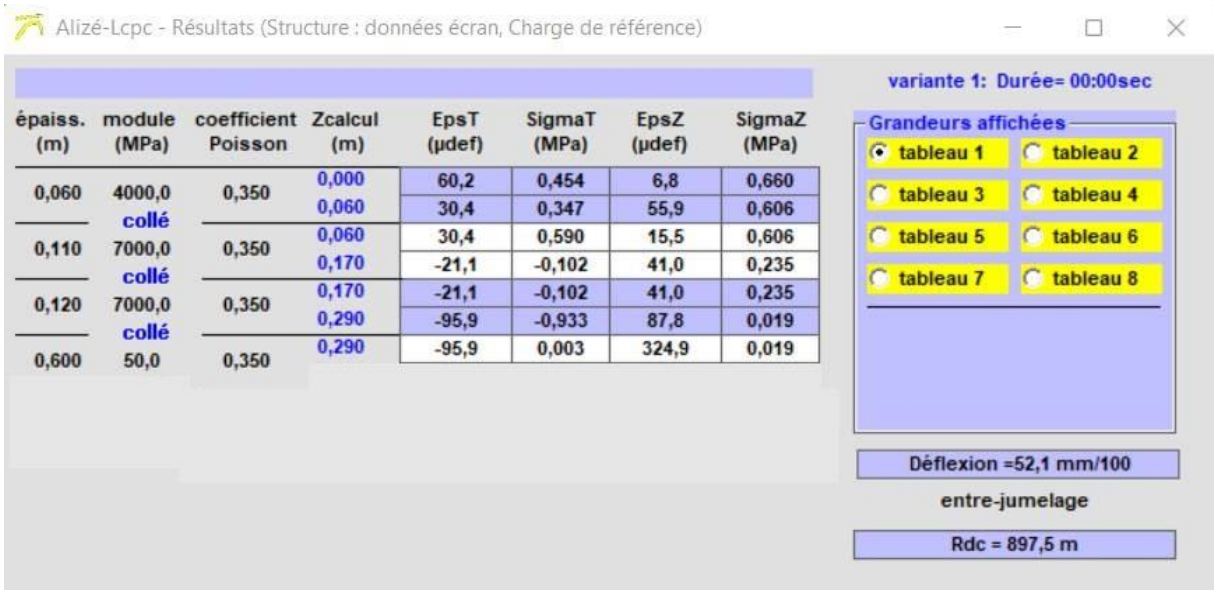
$\boldsymbol{\xi t, adm}$ =104.82×10^{-6}

VI.4.4. Vérification des résultats de calcul par Alize-LCPC :

Le logiciel ALIZE-LCPC est le programme de référence utilise pour les calculs de dimensionnement des chaussées. Donc à l'aide d'Alizé LCPC, on vérifie que :

ξt < ξt,adm

-ξz < ξz,ad



épaiss. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,060	4000,0	0,350	0,000	60,2	0,454	6,8	0,660
	collé		0,060	30,4	0,347	55,9	0,606
0,110	7000,0	0,350	0,060	30,4	0,590	15,5	0,606
	collé		0,170	-21,1	-0,102	41,0	0,235
0,120	7000,0	0,350	0,170	-21,1	-0,102	41,0	0,235
	collé		0,290	-95,9	-0,933	87,8	0,019
0,600	50,0	0,350	0,290	-95,9	0,003	324,9	0,019

FigureVI.8. Résultats de la simulation (ALIZE-LCPC)

Tableau VI.12 : Les valeurs des déformations

	Déformations calculées	**Déformations admissibles**
ξz	324.9×10^{-6}	557.12×10^{-6}
ξt	95.9×10^{-6}	104.82×10^{-6}

La structure est donc vérifiée

VI.5 CONCLUSION :

La méthode CBR conduit à la conception du corps de chaussée la moins économique, avec des épaisseurs inacceptables compte tenu de l'importance de la route, sans tenir compte de la fatigue des matériaux ni de l'influence du climat sur ces derniers.

Ainsi, la méthode adoptée est celle du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP), car :

- Elle se base sur les performances des matériaux.
- Elle prend en compte les déformations admissibles.
- Elle considère la fatigue des matériaux.
- Il s'agit d'une méthode algérienne établie et développée par le CTTP, validée par le ministère des travaux publics.

2 × 3
6BB+11GB+12GB+60TUF

CHAPITRE VII
ETUDE D'ASSAINISSEMENT

VII.1 INTRODUCTION

L'eau représente la principale menace pour les routes, car elle pose de nombreux problèmes complexes et multiples sur la chaussée. Par conséquent, l'assainissement routier est un élément essentiel de la conception, de la construction et de l'exploitation des infrastructures linéaires. L'assainissement des routes consiste en tous les dispositifs nécessaires pour collecter et évacuer toutes les eaux de surface et souterraines, notamment :

- L'assèchement de la surface de la chaussée par des pentes transversales et longitudinales, des fossés, caniveaux, cunettes, rigoles, gondoles, etc.
- Les dispositifs de drainage : des ouvrages enterrés qui collectent et évacuent les eaux souterraines (tels que les tranchées drainantes et les canalisations de drainage)
- Les canalisations : l'ensemble des ouvrages destinés à l'écoulement des eaux de surface (telles que les conduites, les chambres, les cheminées, les sacs, etc.).

VII.2 OBJECTIFS DE L'ASSAINISSEMENT :

Dans la conception de l'assainissement des routes, les objectifs suivants doivent être pris en compte :

- Assurer une évacuation rapide des eaux tombant et s'écoulant directement sur le revêtement de la chaussée pour prévenir les risques d'aquaplaning.
- Maintenir une bonne condition de viabilité.
- Réduire les coûts d'entretien.
- Prévenir les problèmes d'érosion.
- Assurer l'évacuation des eaux d'infiltration à travers le corps de la chaussée pour éviter le ramollissement du terrain sous-jacent et l'effet de gel.
- Evacuer les eaux s'infiltrant dans le terrain en amont de la plate-forme pour éviter la diminution de son importance et l'effet de gel.

VII.3 LES TYPES DE DEGRADATIONS PROVOQUEES PAR LES EAUX :

- **Pour les chaussées sous forme de :**

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

- **Pour les talus sous forme de :**

- Glissement ;
- Érosion ;
- Affouillements du pied de talus.

VII.4 OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT :

L'objectif de la conception des ouvrages d'assainissement est de garantir l'évacuation efficace et économique des eaux de la chaussée et de l'emprise routière. Les dalots et les buses à section circulaire sont les ouvrages souterrains les plus fréquemment utilisés pour évacuer les petits débits. Il existe trois types d'ouvrages destinés à l'écoulement des eaux :

VII.4.1. LES RESEAUX DE CANALISATION LONGITUDINAUX :

- **Fossé de pied talus en déblai :**

Ces fossés sont aménagés au pied des pentes de remblais ou de déblais pour collecter les eaux de ruissellement et les diriger vers des exutoires. En général, ces fossés sont de forme trapézoïdale et construits en terre. Cependant, lorsque la pente longitudinale est supérieure à 3%, ils sont revêtus de béton.

- **Fossé de crête de talus de déblai :**

Le fossé en béton est systématiquement utilisé dans le cas où le sol en crête de talus est incliné vers l'emprise de la route, dans le but de préserver les talus de déblai contre l'érosion provoquée par l'écoulement des eaux de pluie, tout en empêchant ces eaux d'atteindre la plate-forme de la route.

- **Fossé de pied de talus en remblai :**

Ce fossé peut être en terre ou en béton, selon la vitesse d'écoulement. Il est installé dans les zones où les terrains adjacents ont une pente vers la plate-forme, afin de recueillir les eaux de ruissellement provenant de la chaussée et des remblais, via les descentes d'eau.

- **Fossé de crête de talus de remblai :**

L'objectif de ce type de fossé est de prévenir l'érosion du talus causée par le ruissellement des eaux de pluie lorsque la chaussée est inclinée vers l'extérieur, et de bloquer l'accès de ces eaux à la plate-forme.

- **Réseau de terre-plein central (TPC) :**

On utilise ce type de réseau pour collecter et évacuer les eaux provenant du TPC et de la demi-chaussée déversée. En alignement, il est essentiel sous les TPC non revêtus pour prévenir les infiltrations et protéger les chaussées et les plates-formes. Il est composé d'un drain longitudinal qui est souvent décalé par rapport à l'axe du TPC en raison de la présence de glissières ou de zones plantées.

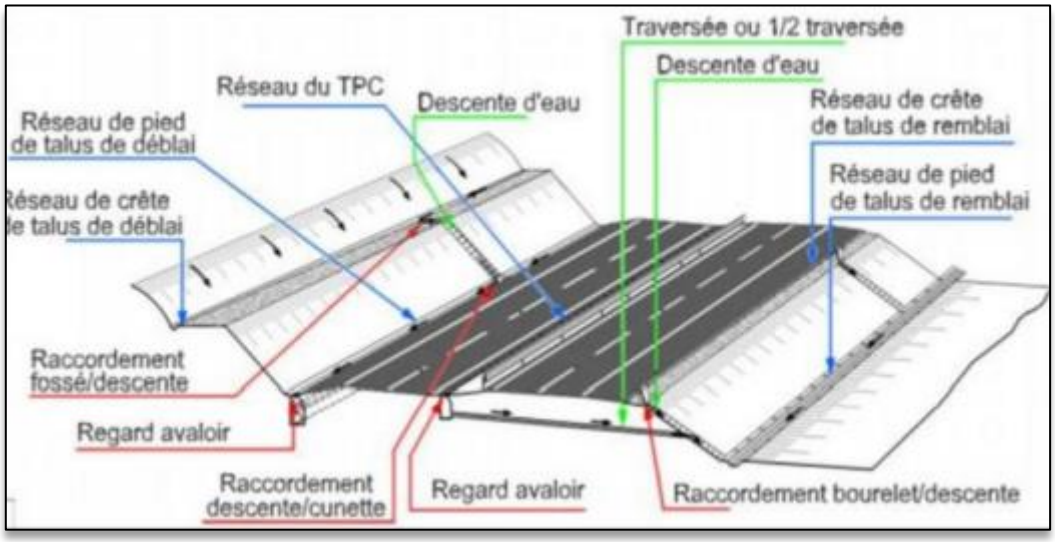


Figure VII.1 : Les réseaux de canalisation longitudinaux

VII.4.2. Les ouvrages transversaux :

- **Les buses et dalots :**

Les buses et les dalots sont des éléments clés pour la protection de la chaussée contre les risques d'inondation. Leur emplacement et leur dimension sont établis après une analyse approfondie des caractéristiques topographiques de la zone et de l'hydrologie locale, ainsi qu'à partir du calcul des débits.



Figure VII.2 : Les ouvrages transversaux.

VII.5 CHOIX DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT :

Le choix et le dimensionnement de ces ouvrages sont faits en tenant compte des précipitations prévisibles, des caractéristiques géométriques et physiques de la route, et des contraintes de sécurité.

Les dispositions de principe à prévoir sont généralement les suivantes :

- **En remblai** : lorsque l'érosion des talus est à craindre, il est recommandé de prévoir en crête un dispositif longitudinal recueillant les eaux et les conduisant à des descentes spécialement aménagées, en des points convenablement choisis.
- **En déblai :** les eaux sont collectées et évacuées latéralement par des ouvrages superficiels (cunettes, fossés, caniveaux) associés, lorsque cela est nécessaire à des collecteurs enterrés.

VII.6 CRITERES DANS LA CONCEPTION DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT :

VII.6.1. CRITERES DE BASE :

La conception des ouvrages d'assainissement et de drainage se base sur des critères de base qui sont :

- La conservation de la géométrie naturelle des cours d'eau dans la mesure du possible
- Le maintien d'une vitesse minimale dans les ouvrages pour prévenir la sédimentation
- La limitation des vitesses maximales pour éviter l'érosion dans les cours d'eau et à l'intérieur des ouvrages
- La gestion adéquate des eaux de ruissellement pour éviter l'érosion des talus
- La protection des fossés contre l'érosion
- La construction des ouvrages à l'abri des crues centenaires
- La réduction des risques d'inondation en amont et en aval des ouvrages
- La planification de pentes minimales pour faciliter le curage des ouvrages
- L'évitement des problèmes d'affouillement autour des ouvrages
- L'uniformisation des ouvrages pour accélérer leur construction

- Le respect des exigences environnementales
- La facilitation de l'entretien des ouvrages.

VII.6.2. CRITERES HYDRAULIQUES :

Les critères de conception hydraulique sont les suivants :

- Débits avec une période de retour de cent (100) ans pour le dimensionnement des ouvrages de rétablissement des écoulements transversaux
- Débits avec une période de retour de dix (10) ans pour le dimensionnement des dispositifs d'assainissement de plateformes.

VII.7 CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES :

L'étude environnementale a permis d'identifier les dispositifs à mettre en place en fonction de l'étude de sensibilité du milieu récepteur. Les mesures sont basées principalement sur les risques de pollution de la ressource eau et de son impact sur les populations, la faune et la flore.

Les zones de sensibilités sont divisées en quatre (4) catégories et pour chaque catégorie, des dispositifs de protection sont prévus

TableauVII.1 : les dispositifs de protection selon la zone de sensibilité

CATEGORIE	ZONE DE SENSIBILITE	DISPOSITIF DE PROTECTION
1	Très fortement sensible	Bassin de traitement
2	Fortement sensible	Fosse subhorizontale enherbée (FSH)
3	Moyennement sensible	Bief de confinement
4	Peu ou pas sensible	Aucun dispositif, le rejet devra de préférence être diffus

VII.8 ETUDE HYDROLOGIQUE :

VII.8.1. DELIMITATION DES BASSINS VERSANTS :

Le bassin versant est défini comme la région géographique délimitée par les lignes de crête ou de partage des eaux. Il s'agit de la surface totale de la zone qui peut être alimentée en eau de pluie, de manière naturelle, nécessitant ainsi un point de canalisation en un point bas désigné comme exutoire.

Le bassin de drainage d'un cours d'eau joue un rôle de collecteur, en recevant les précipitations et en les transformant en un écoulement qui se dirige vers l'exutoire. La transformation est influencée par les conditions climatiques et les caractéristiques physiques du bassin versant.

Les bassins versants concernés par le tracé de la section étudié sont au nombre de 11 bassins versants, et présentent des superficies qui varient entre 0.243 km² et 5840 km² (Oued Seybouse).

Les informations concernant la superficie des bassins versants, pente, couverture végétale, type de sol, ont été estimées pour préparer les calculs hydrologiques, et ce en s'appuyant sur les cartes topographiques et les données géologiques disponibles.

VII.8.2. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES BASSINS VERSANTS :

Tableau VII.2 : Caractéristiques morphométriques des bassins versants.

No BV	PK	Surface (Km^2)	Longueur du court d'eau (Km)	Elévation (m)			Pente (%)
				H_{min}	H_{max}	ΔH	
1	340+593	1.44	1.99	35	130	95	4.77
2	341+043	1.152	1.74	35	150	115	6.62
3	342+510	1.729	1.89	35	110	75	3.98
4	343+160 Oued Seybouse	5840	200				
5	345+995	0.5	0.61	50	130	80	13.16
6	346+546	0.401	0.53	50	130	80	15.24
7	347+299	0.701	0.7	50	90	40	5.76
8	348+107	0.628	0.63	70	150	80	12.62
9	348+879	0.451	0.45	80	160	80	17.7
10	349+518	0.243	0.43	75	150	75	7.44
11	349+943	0.761	0.78	80	160	80	10.26

VII.9 DIMENSIONNEMENT DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT A PROJETER :

VII.9.1. Estimation des débits de crue :

La détermination des débits de crue dans les bassins versants naturels du projet dépend de plusieurs facteurs tels que la topographie, la climatologie, la morphologie des bassins versants, la géologie, etc. Il existe différentes méthodes de calcul pour estimer ces débits, mais les résultats restent toujours incertains. Pour ce projet, la formule suivante sera appliquée pour estimer le débit maximum instantané $Qmax$ pour différentes fréquences de retour, en utilisant des formules empiriques adaptées aux conditions de l'Algérie.

- **La formule rationnelle :**

$$Q = K.C.I.A\ (m^3/s)$$

Avec :

- C : coefficient de ruissellement
- I : Intensité de pluie pour le temps de concentration du BV (mm/h)
- A : Surface du bassin versant (km2)
- K : Coefficient de conversion des unités K=0.278.

VII.9.1.1. Coefficients de ruissellements C :

Le coefficient de ruissellement d'une surface donnée est le rapport du volume d'eau qui ruisselle de cette surface au volume d'eau tombée sur elle, Le coefficient dépende de plusieurs facteurs à savoir :

- La pente du bassin versant
- La nature du sol
- La couverture végétale du bassin versant.

Les valeurs de coefficient de ruissellement sont données par le tableau suivant :

Couverture végétale	Morphologie	Pente %	Terrain sable grossier	Terrain limoneux	Terrain argileux
Bois	presque plat ondulé montagneux	p < 5 5 ≤ p < 10 10 ≤ p < 30	0,10 0,25 0,30	0,30 0,35 0,50	0,40 0,50 0,60
Pâturage	presque plat ondulé montagneux	p < 5 5 ≤ p < 10 10 ≤ p < 30	0,10 0,15 0,22	0,30 0,36 0,42	0,40 0,55 0,60
Culture	presque plat ondulé montagneux	p < 5 5 ≤ p < 10 10 ≤ p < 30	0,30 0,40 0,52	0,50 0,60 0,72	0,60 0,70 0,82

Figure VII.3 Tableau de valeurs de coefficient de ruissellement

VII.9.1.2. Intensité de la pluie :

Les intensités de pluie pour l'estimation des débits de récurrence sont établies par la formule de MONTANA en mm/h :

$$I(T,t) = a(t) \times T_c^{-b}$$

-t : période de retour en ans ;

-T_c : temps de concentration en min ;

- a, b : paramètres de Montana.

Les coefficients de la formule de Montana sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau VII.3 : coefficient de la formule Montana

Station pluviométrique de PONT BOUCHET					
t	10	20	25	50	100
a	315.86	353.41	.61.73	392.37	342.06
b	0.6248	0.6183	0.6125	0.6046	0.6030

VII.9.1.3. Temps de concentration :

La durée de l'averse qui génère le débit maximum Q est établie en prenant en compte le temps de concentration, qui dépend des caractéristiques du bassin versant. Le temps de concentration peut être estimé en utilisant différentes formules telles que celles de Ventura, Kirpich, Espagnole, chacune ayant son domaine d'application valide.

FORMULE DE KIRPICH

$$Tc = 0.0195 * L^{0.77} * P^{-0.385}$$

Tc = temps de concentration en minute
L = distance en m entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin
P = pente moyenne en m/m

FORMULE CALIFORNIENNE

$$Tc = 60 * 0.1452 * (L/P^{0.5})^{0.77}$$

Tc = temps de concentration en minute
L = distance en km entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin
P = pente moyenne en m/m

FORMULE ESPAGNOLE

$$Tc = 60 * 0.3 * (L/P^{0.25})^{0.77}$$

Tc = temps de concentration en minute
L = distance en km entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin
P = pente moyenne en m/m

FORMULE TURAZZA

$$Tc = 60 * 0.108 * (S * L)^{0.333} * P^{-0.5}$$

Tc = temps de concentration en minute
S = surface du bassin versant en km2
L = distance en km entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin
P = pente moyenne en m/m

FORMULE VENTURA

$$Tc = 76.3 * (S/P)^{0.5}$$

Tc = temps de concentration en minute
S = surface du bassin versant en km2
P = pente moyenne en %

VII.9.1.4. Le débit de saturation Q_s :

Il est donné par la formule de MANING STRIKLER :

$$Qs = K_{st} \times {R_h}^{2/3} \times I^{1/2} \times S_m$$

Avec :

- S_m: section mouillée ;
- K_{st} Coefficient de STRICKLER qui dépend de la nature de parois de l'ouvrage, $K_{st} = \begin{cases} 80 \text{ en bétons (buses préfabriquées)} \\ 70 \text{ en bétons (dalots)} \end{cases}$
- R_h : rayon hydraulique en (m). Avec $R_h = S_m/P_m$;
- I : pente longitudinale du canal en (m/m).

VII.9.1.5. Prédimensionnement des ouvrages :

L'objectif de l'étude des ouvrages hydrauliques est de déterminer les dimensions en fonction du débit de projet, de la configuration de la route et du terrain naturel, tout en garantissant une bonne circulation de l'eau. Trois types d'ouvrages hydrauliques couramment utilisés sont :

- Buses : conduites circulaires en béton armé
- Dalots : ouvrages en béton armé de section carrée ou rectangulaire
- Pont.

Le dimensionnement de ces ouvrages hydrauliques suit les critères suivants :

- Le nombre de cellules est limité à deux pour les dalots et les buses.
- Les vitesses maximales à la sortie des buses et des dalots ne doivent pas dépasser 5,0 m/s en cas d'écoulement non permanent.
- Des têtes amont et aval sont prévues respectivement à l'entrée et à la sortie de chaque ouvrage, avec des angles appropriés.
- La hauteur d'eau amont doit être inférieure à 1,2 fois la hauteur de l'ouvrage (Ham < 1.2H).
- La méthode de dimensionnement retenue est celle du guide SETRA d'assainissement routier.

En fonction des débits centennaux, les prés dimensionnements suivants peuvent être retenus :

Tableau VII.4 : prédimensionnement des ouvrages transversaux

Débit de crue	*Type*	*Dimensionnement*
Q_{50}<1.25	Buse	1-1Φm
1.25<Q_{50}<2.25	Buse	1-1.2Φm
2.25<Q_{50}<5.5	Buse	1-1.5Φm
4.25<Q_{50}<5.5	Dalot	1-1.5×1.5m
5.5<Q_{50}<9.5	Dalot	1-2×2m
9.5<Q_{50}<14	Dalot	1-3×2m
14<Q_{50}<28	Dalot	1-4×2m

- **Note :**

-Les buses seront dimensionnées pour une période de retour 10 ans

-Les ponceaux (dalots) seront dimensionnés pour une période de retour 50 ans

-Les ponts dimensionnées pour une période de retour 100 ans.

VII.9.2. Application au projet :

♦ **Calcul débit :**

Tableau VII.5 : Résultat de calculs de débits

Bassin versant	PK	Temps de concentration Tc(min)	Intensité de pluie I(mm/h)	Débit total à évacuer $Q(m^3/s)$	Type d'ouvrage	Largeur b(m)	Hauteur H(m)
BV1	340+593	41,70	40,86	8,17	Dalot	2,50	2,00
BV2	341+043	33,10	47,00	9,02	Dalot	2,50	2,00
BV3	342+510	45,02	39,00	9,37	Dalot	3,00	2,00
BV4	343+200	Oued Seybouse			OA	/	
BV5	345+995	12,82	83,53	8,35	Dalot	2,50	2,00
BV6	346+546	10,88	92,29	7,38	Dalot	2,00	2,00
BV7	347+299	20,17	63,46	7,40	Dalot	2,00	2,00
BV8	348+107	13,74	80,09	10,01	Dalot	3,00	2,00
BV9	348+879	9,62	99,41	8,97	Dalot	2,50	2,00
BV10	349+518	8,44	107,64	5,04	Dalot	2,00	2,00
BV11	349+943	17,21	69,88	10,64	Dalot	3,00	2,00

- **Exemple cas des dalots :**

On prend le cas du BV08 (A= 0.628km², P= 12.62 %, L=0.63 km, C=0.72)

- **Détermination du temps de concentration Tc :**

BV	Surface	L	ΔH	P	Tc (min)					
	km²	Km	m	%	Kirpich	Californienne	Espagnole	Turazza	Ventura	Adopté
8	0,628	0,63	80,00	12,698	6,17	13,51	18,76	13,33	16,93	13,74

Tel que :

$$Tc\ Adopté = \frac{\sum Tc}{5}$$

- **Détermination de débit Q :**

Le débit calculé est pour une période de retour 50 ans

Donc a= 392,37, b= 0,6064.

En utilisent la méthode rationnelle on trouve :

Calcul de l'intensité de la pluie :

$$I(Tc, 50) = a \times Tc^{-b} = 392.37 \times 13.74^{-0.664} = 80.09 mm/h$$

$$Q_{T} = \frac{C_{T} \times I(tc, T) \times A}{3.6}$$

$$Q_{50} = \frac{0.72 \times 80.09 \times 0.63}{3.6} = 10.1\ {}^{m^3}/_{s}$$

D'après le Tableau de prédimensionnement des ouvrages, l'ouvrage Préconisé est dalot.

Remarque : le reste de calcul a été fait en utilisent l'Excel

- **Détermination des dimensions du dalot :**

Le dimensionnement des dalots est en fonction du débit maximum des eaux de ruissellement captées pendant le temps de concentration Tc

- La surface mouillée : Sm = 0.8H×B
- Le périmètre mouillé : Pm =1.6×H+B
- Le rayon hydraulique $Rh = \frac{Sm}{Pm}$

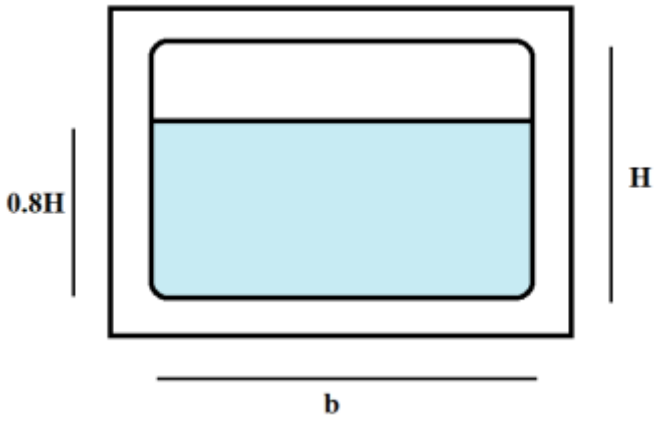


Figure VII.4. Schéma d'un dalot

$2/3 \times I\ ½Qa = Qs = Kst \times \mathrm{Rh}^{2/3} \times I^{1/2}$

D'où $H = \frac{1}{0.8b} \times (\frac{\mathrm{Qa}}{Ks \times \sqrt{I}})^{3/5} \times (0.6 \times H + b)^{2/5}$

- Qs : débit de saturation en m3 /s.
- Kst : coefficient de Strickler Ks= 70.
- I : Pente de dalot, On donne I=1% (pente naturelle de lit de l'écoulement)

On fixe b=3 m et on fait varier le H pour trouver la valeur proche. On trouve H=2m. Le dalot sera dimensionné en 3×2 m.

Vérification avec méthode de Delorme :

Méthode de DELORME

$Qc = 2{,}464 \times R \times H^{1,5}$ pour les buses,

$Qc = 1{,}50 \times L \times H^{4/3}$ pour les dalots.

Qc	= débit critique évacué en m^3/s
R	= rayon des buses en m
L	= ouverture droite des dalots en m
H	= hauteur des piédroits sous dalles pour les dalots en m, diamètre intérieur pour les buses en m.

Figure VII.5 : méthode de Delorme

$$Qc = 1.5 \times 3 * 2^{\frac{4}{3}} = 11.34\ m^2/s$$

B donné = 3m

$$H_{critique} = \sqrt[\frac{4}{3}]{\frac{10.01}{1.5 \times 3}} = 1.82m < 2m$$

Vérifié.

Vérification du régime d'écoulement

$$Nombre\ de\ froude\ = \frac{v}{\sqrt{g \times h}} = \frac{\frac{11.34}{0.8 \times 2 \times 3}}{\sqrt{10 \times 2}} = 0.53 < 1$$

Vérifié.

Le reste des résultats de dimensionnement des dalots sont résumés dans le tableau au-dessus.

- **Conditions d'Auto-curage :**

La saturation des dispositifs d'évacuation des eaux de ruissellement peut détériorer la route et augmenter le coût de son entretien, donc il faut choisir des ouvrages qui donnent une vitesse d'écoulement faible tout en assurant l'auto-curage.

Pour se faire, on calcule débit Qps et vitesse à pleine section Vps correspondant à Q/Qps =0.1 et 0.01.

On doit vérifier les conditions d'auto-curage :

- Vps<4m/s
- V > 0.6 m/s pour Q=0.1 Qps ;
- V > 0.3 m/s pour Q=0.01 Qps

Pour le BV8 :

Qps=11.34 $\frac{m^2}{s}$

$$\text{Vps} = \frac{\text{Qps}}{\text{Sm}} = \frac{11.34}{4.8} = 2.36\ m/s$$

La vitesse est fonction du type de l'écoulement (inondations, écoulement fluvial…) et peut être calculé en utilisant la relation empirique entre la vitesse et la pente :

$$v = 10 \cdot k \cdot S^{0.5}$$

Où:

v : Vitesse d'écoulement (m/s)
S : Pente (m/m)
K : paramètre adimensionnel de couverture végétale

Figure VII.6 : vitesse d'écoulement

$$v = 10 \times 0.1262^{0.5} \times 0.45 = 1.59\ m/s$$

$\frac{v}{v_{pS}} = \frac{1.59}{2.36} = 0.67 > 0.6$ Vérifié.

VII.10 DIMENSIONNEMENT DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT :

Les fossés récupèrent les eaux issues de la chaussée, de l'accotement et des talus, il y en a plusieurs formes de fossé ; on choisit de faire un fossé trapézoïdal.

Dans les zones de déblais, les fossés sont doubles par des collecteurs lorsqu'ils s'avèrent insuffisants et le contact (collecteur-fossés) se fait au moyen d'avaloirs. Afin de protéger la chaussée et la plate-forme des infiltrations, on a prévu une pente déversée vers l'extérieur, c.à.d. vers les fossés.

Le dimensionnement se fait dans le cas le plus défavorable, où il y a une hauteur importante du déblai qui s'étende sur une longueur importante avec l'inclinaison du terrain vers le déblai, le présent cas situé au PK345+960 avec une hauteur de 16.32m

Les fossés sont dimensionnés pour évacuer le débit apporté par l'ensemble des bassins versants de la chaussée et la berme et le talus. Ces dispositifs sont dimensionnés comme suit :

Tableau VII.6 : les caractéristiques des sous bassins versants concernes

SVB	Largeur (m)	Surface (km^2)	Pente (%)
Chaussée + B.A.U + B.D. G	15	0.003	2.5
Berme	1	0.002	4
Talus en déblai	24.49	0.004898	66.7

♦ **Calcul de débit d'apport Qa :**

Tableau VII.7. Le débit équivalent des bassins versants

SVB	A (km^2)	Tc (min)	I(Tc,t) (mm/h)	C	Q (m^3/s)	Qtotale (m^3/s)
Chaussée + B.A.U + B.D.G	0.003	6,78	122,88	0.9	0,18	0.46
Berme	0.002	5,30	142,79	0.7	0,06	
Talus en déblai	0.004898	2,27	238,48	0.7	0,22	

♦ **Dimensions de fossé :**

- **Section mouillée**

Sm = b.h +eh Avec : e=m.h et m=Cotg α.

Sm= h (b+mh)

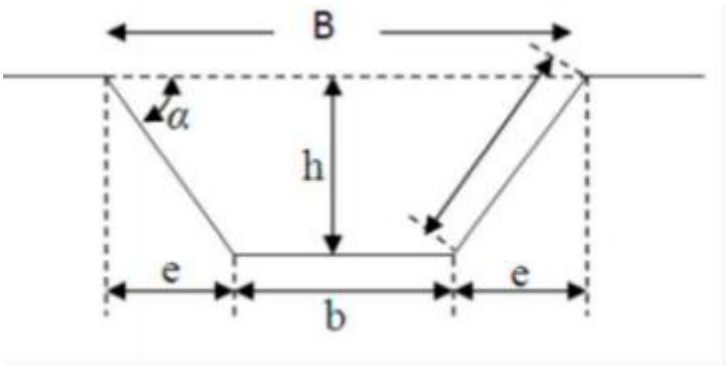


Figure VII.7: Fossé trapézoïdal

- **Périmètre mouillé**

$$Pm = b + 2\sqrt{h^2 + e^2} = b + 2\sqrt{h^2 + (mh)^2}$$

$$Pm = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$$

- **Rayon hydraulique**

$$Rh = \frac{Sm}{Pm}$$

- **Débit de saturation**

$$Qs = Kst \times \sqrt{I} \times Rh^{\frac{2}{3}} \times Sm$$

Qeq = Qs on obtient la formule suivante :

$$h = \left(\frac{Qa}{Kst \times b \times \sqrt{I}}\right)^{3/5} \times \frac{\left(1 + 2\sqrt{2} \times \frac{h}{b}\right)^{2/5}}{1 + \frac{h}{b}}$$

Le calcul se fera par itération, on fixe les paramètres b et m et on fait varier h et on calcule à chaque fois le débit de réception qui doit être légèrement supérieur ou égal au débit d'apport :

On pose : m=1.5, b = 0.5 m et un angle de 45°

VII.10.1.1. Après un calcul itératif, On trouve : h = 0.43m

Donc on prend : b=0.50 m, h=0.5m et e=0.75m.

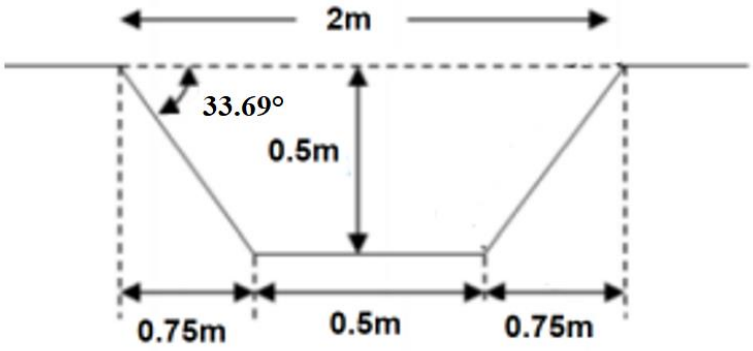


Figure VII.8 : Fossé trapézoïdal

VII.11 CONCLUSION :

L'étude hydraulique a traité principalement le dimensionnement des ouvrages hydrauliques et des principes de calcul des dispositifs de drainages adoptés pour assainir l'infrastructure. On a répertorié 11 ouvrages sur l'axe, dont 10 dalots de différentes dimensions et un viaduc permet le franchissement d'oued Seybouse.

CHAPITRE VIII

STABILITE DES PENTES ET CUBATURES

VIII.1 Stabilité des pentes :

VIII.1.1. INTRODUCTION :

L'évaluation de la stabilité des talus est une étape cruciale lors de l'étude d'un projet routier, car il est nécessaire de surveiller les mouvements de masse de sol. La méthode de calcul utilisée est celle de Bishop, qui consiste en une analyse de rupture effectuée à l'aide du logiciel GeoStudio.

Ce dernier fournit un coefficient de sécurité (Fs) à court et à long terme, ainsi que dans le cas dynamique. Un talus est considéré comme stable si Fs> 1,3 à court terme, Fs> 1,5 à long terme et Fs> 1 en cas dynamique.

VIII.1.2. DESCRIPTION DES PRINCIPAUX TYPES DE MOUVEMENTS :

VIII.1.2.1. Les glissements :

Les glissements se caractérisent par l'apparition de surfaces de cisaillement relativement bien définies à l'intérieur du milieu. La forme des surfaces de rupture observées permet de classer ces glissements en trois catégories :

- Glissement plane.
- Glissement circulaire.
- Glissement quelconque.

VIII.1.2.2. Principales causes de glissement :

♦ **Naturelle :**

- Forte pluies et fonte des neiges qui entrainent une augmentation des pressions interstitielles ; •
- Affouillement des berges ;
- Charges sismiques.

♦ **Anthropique :**

- Une augmentation des charges en tête d'un talus déjà instable ;
- Une diminution des appuis en pied de pente (suppression d'une butée stabilisatrice) ;
- Rejets d'eau ;
- Déboisement.

VIII.1.3. ANALYSE DE LA STABILITE :

Les calculs à la rupture sont des calculs dans lesquelles on suppose que lors d'un glissement de terrain, il y a séparation d'une masse mobile, du massif stable et sain le long d'une surface de rupture. Pour évaluer la stabilité des talus par une méthode à l'équilibre limite, il existe des méthodes linéaires et non linéaires.

Les méthodes linéaires sont des méthodes directes de calcul de FS, on détermine les forces motrices et les forces stabilisatrices à la fin on calcule le coefficient de sécurité par la formule suivante :

$$Fs = \frac{force\ de\ stabilatrice}{force\ motrice}$$

Tel que :

- FS =1 : équilibre limite ;
- FS >1 : équilibre stable ;
- FS<1 : équilibre instable.

VIII.1.3.1. ANALYSE DE STABILITE DU DEBLAI :

L'inclinaison des talus de déblais a été définie en fonction de plusieurs aspects comme la hauteur des déblais, la nature et résistance du terrain, la stabilité à court et long terme.

On va traiter le cas du déblai le plus défavorable, qui a une hauteur de 8.0m situé au PK 344+990

Les calculs de stabilité des déblais ont été effectués en se basant sur les données et les considérations suivantes :

- Le déblai a été représenté avec une pente de 3H/2V.
- Les surfaces de rupture supposées sont de forme circulaire.
- Le niveau de la nappe phréatique a été pris en compte.
- Les aspects sismiques ont été pris en compte et modélisés. Les paramètres géotechniques des sols sont déterminés en fonction des essais géotechniques réalisés et de l'expérience acquise lors des travaux antérieurs.

Tableau VIII.1 : caractéristiques de la section étudier

LITHOLOGIE	PROFIL	HAUTEUR H(M)	POIDS VOLUMIQUE $\gamma(KPa)$	COHESION NON DRAINEE CU (KPA)	L'ANGLE DE FROTTEMENT $\varphi(°)$
ARGILE	344+990	8.46	20.6	16	22

Les résultats des calculs de stabilité effectués par le logiciel GeoStudio pour chaque cas s'incluent dans les graphiques suivants :

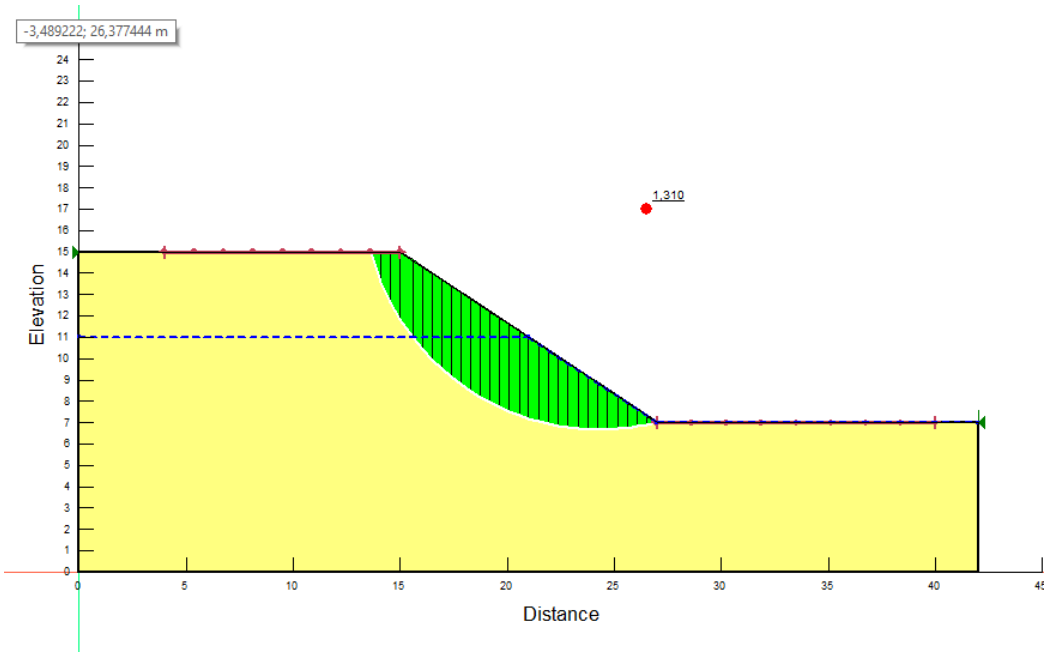


Figure VIII.1 : calcul de stabilité pour le déblai excavé (court terme)

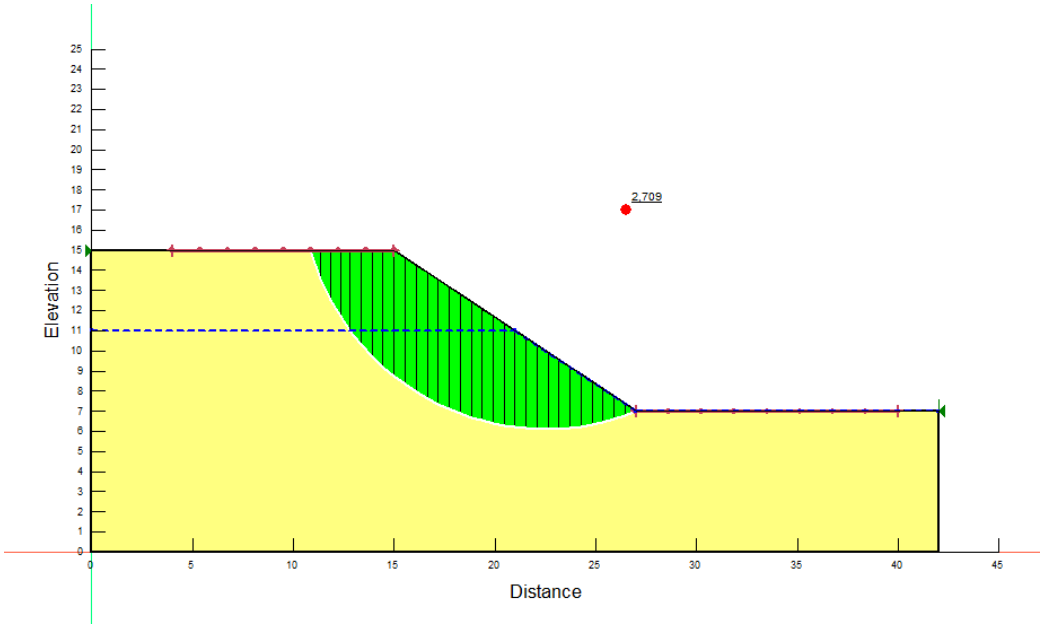


Figure VIII.2 : calcul de stabilité pour le déblai excavé (long terme)

Les coefficients séismiques (calculés selon la méthode introduit par l'RPOA 2008) ont été pris égaux aux valeurs suivantes :

K_H	0.125
Kv	0.04

Figure VIII.3 : coefficients sismique

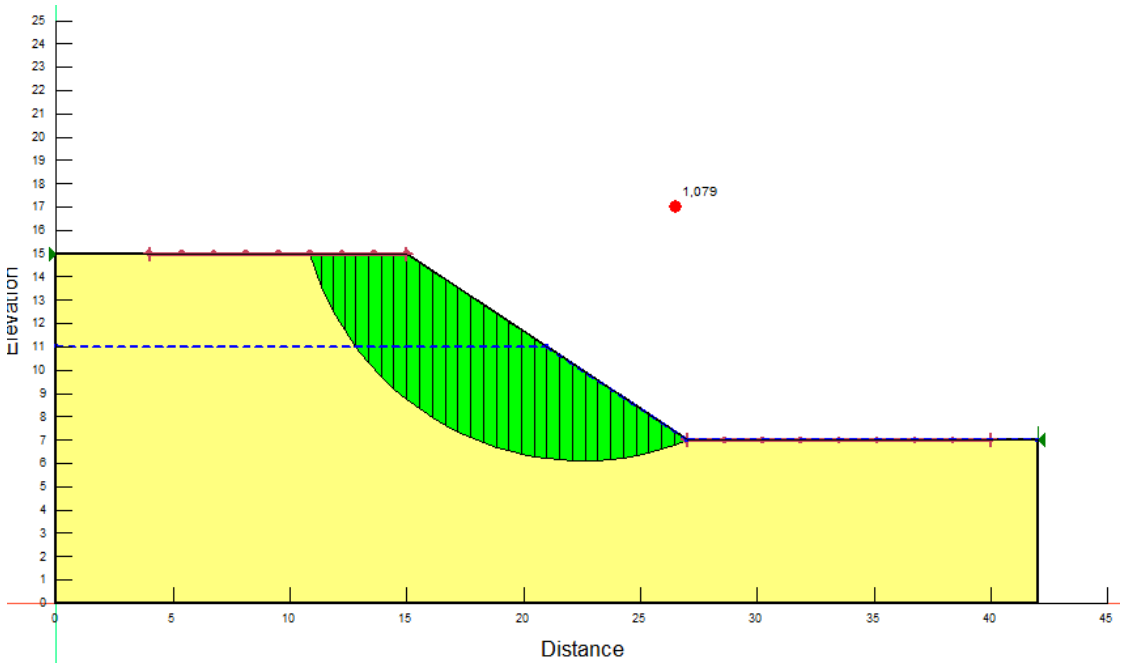


Figure VIII.4 : calcul de stabilité pour le déblai excavé (séisme)

Tableau VIII.2. Résultats des calculs de FS(déblai)

Terrassement	**Hauteur (m)**	**Pente Appliquée**	**Facteur de sécurité**		
			Court terme	Long terme	Séisme
Déblai	8.46	3H/2V	1.31	2.7	1.079

On a constaté que la valeur du coefficient de sécurité obtenus lors des analyses effectuées est acceptée comme limite de sécurité pour que les pentes restent stables à long terme, à court terme et avec séisme, donc le talus est stable.

VIII.1.3.2. ANALYSE DE STABILITE DU REMBLAI :

Dans le corps des remblais, on peut envisager l'utilisation des matériaux de qualité inférieure. Les matériaux marneux et Marno-argileux exigent la prise de mesures dans sa réutilisation, basées sur une analyse spécifique.

On va vérifier la stabilité du profil qui présente la hauteur de remblais la plus importante, à savoir au PK 346+030, cette hauteur est de 16.76m, pour cela on va analyser la stabilité vis-à-vis au glissement. En tenant en compte des paramètres de calcul obtenus, les calculs de stabilité des remblayages ont été menés en prenant comme base les données et les considérations suivantes :

- Les remblayages ont été modélisés avec une inclination de 3H/2V ;
- Les surfaces de ruptures supposées circulaires ;
- Le niveau phréatique est pris en considération.

Les paramètres géotechniques des sols sont obtenus en fonction des essais géotechniques réalisés et des expériences des travaux :

Tableau VIII.3 : caractéristiques de la section étudier

Lithologie	**Profil**	**Hauteur H(m)**	**Poids volumique $\gamma(KPa)$**	**Cohésion non drainée Cu (KPa)**	**L'angle de frottement $\varphi(°)$**
Argile	344+990	16.76	20.2	30	11

Les résultats des calculs de stabilité effectués par le logiciel Geo-slope pour chaque cas s'incluent dans les graphiques suivants :

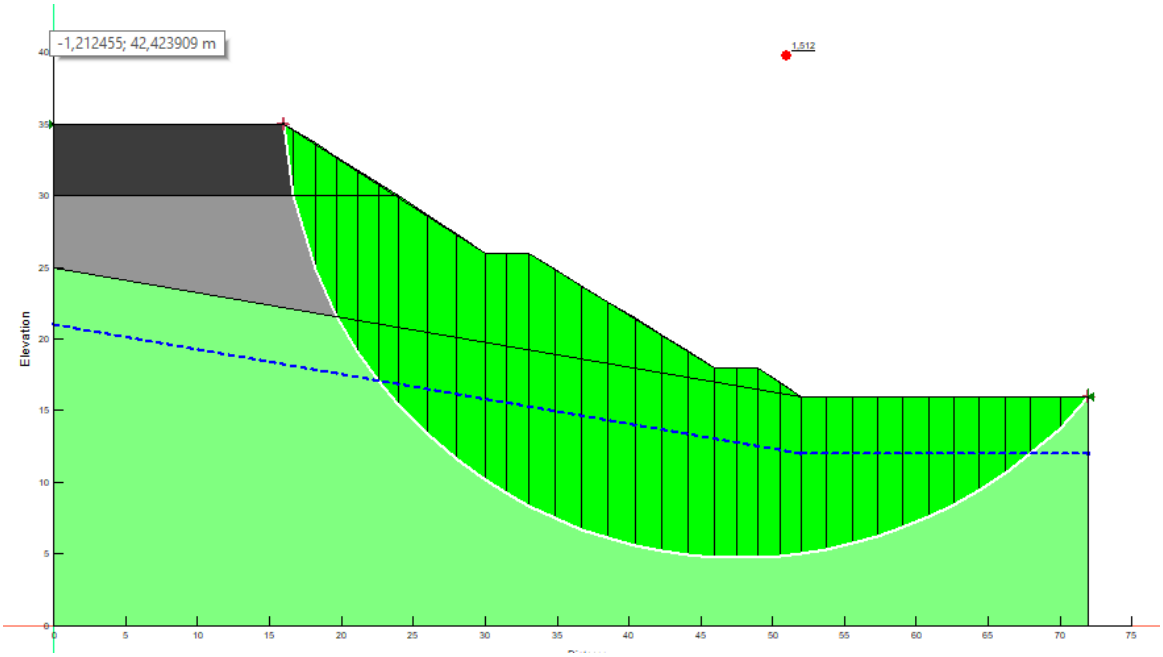


Figure VIII.5 : calcul de stabilité pour le remblai (court terme)

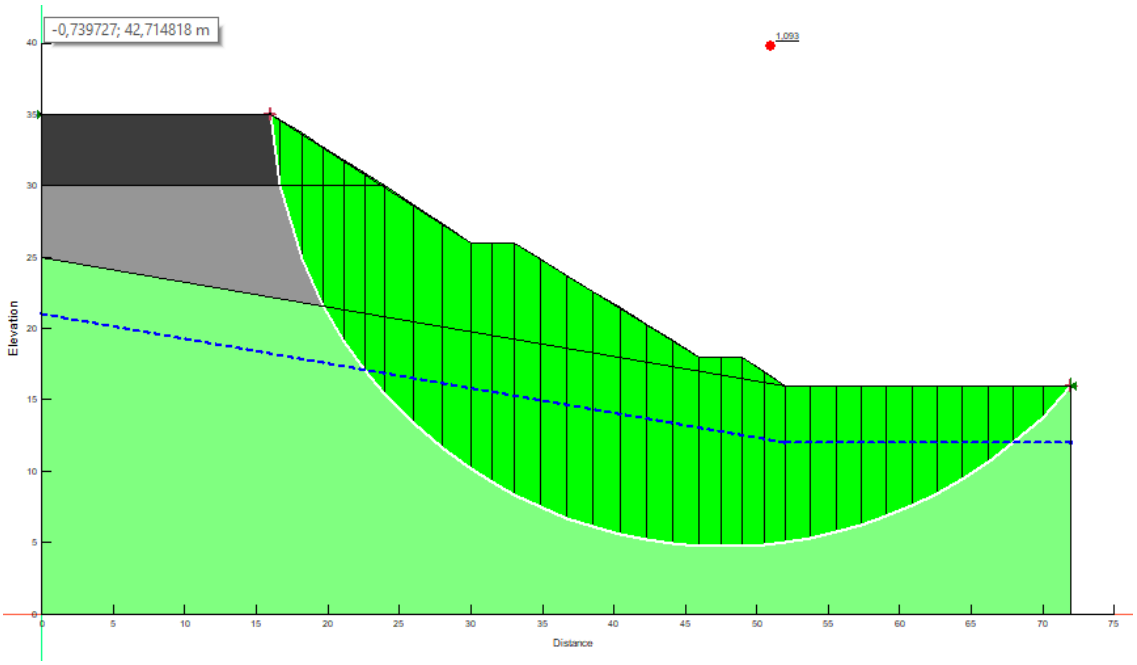


Figure VIII.6 : calcul de stabilité pour le remblai (séisme)

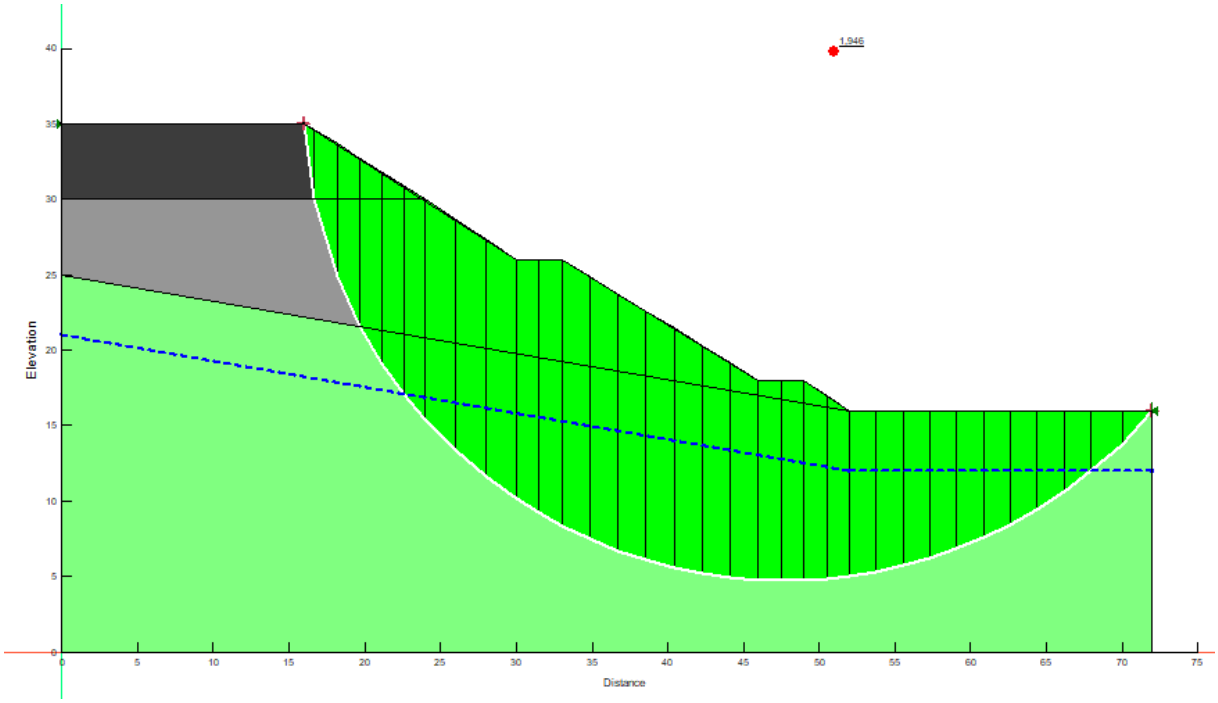


Figure VIII.7 : calcul de stabilité pour le remblai (long terme)

Tableau VIII.4. Résultats des calculs de FS (remblai)

Terrassement	Hauteur (m)	Pente Appliquée	Facteur de sécurité		
			Court terme	Long terme	Séisme
Déblai	8.46	3H/2V	1.51	1.946	1.093

VIII.1.4. CONCLUSION :

L'étude d'un talus comporte, outre la reconnaissance du site et le choix des caractéristiques mécaniques des sols, un calcul de stabilité pour déterminer d'une part la courbe de rupture le long de laquelle le risque de glissement est le plus élevé, d'autre part la valeur correspondante du coefficient de sécurité.

• Cas déblai : Avec la pente proposée (3H/2V), les coefficients de sécurité sont tous acceptables sous les charges normales (à court terme et à long terme) et le séisme selon le calcul de stabilité.

• Cas remblai : Avec la pente proposée (3H/2V), les coefficients de sécurité Sont tous acceptables sous les charges normales et le séisme selon le calcul de stabilité.

VIII.2 CUBATURES :

VIII.2.1. Introduction :

Les travaux de terrassement, appelés les mouvements des terres, visent à modifier la configuration du terrain naturel afin de le rendre apte à accueillir des ouvrages de manière générale. Ces opérations sont courantes et nécessaires pour l'aménagement des profils en long et en travers. Le calcul des volumes de terres à déplacer ou à ajouter, connu sous le nom de cubature des terrassements, consiste à déterminer la quantité de terres à évacuer pour les déblais et à ajouter pour les remblais dans un projet de construction routière.

VIII.2.2. Définition des cubatures :

Les cubatures de terrassement correspondent à l'ensemble des volumes de déblais nécessaires pour obtenir une surface uniforme et parfaitement alignée avec la ligne de projet. Ces volumes sont déterminés en se basant sur :

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

Ces éléments sont essentiels pour planifier et réaliser les travaux de terrassement de manière précise et efficace.

VIII.2.3. Les méthodes de calcul :

Il existe plusieurs méthodes de calcul des volumes remblai-déblai, parmi lesquelles nous citerons :

- Méthode de la moyenne des aires (méthode par excès).
- Méthode de l'aire moyenne : (méthode par défaut).
- Méthode de la longueur applicable.
- Méthode approchée.

Pour cette étude, la méthode de l'aire moyenne a été utilisée. Bien que simple, cette méthode comporte une marge d'erreur. Afin d'obtenir des résultats plus précis, il est recommandé de majorer les résultats trouvés de 10 % en utilisant un coefficient de sécurité.

VIII.2.3.1. Description de la méthode :

Le principe de la méthode de la moyenne des aires est de calculer le volume compris entre deux profils successifs par la formule suivante :

$$V=\frac{H_m}{6}\times(S1+S2+4S_m)$$

- H_m : Hauteur moyenne entre deux profils.
- S_m : Surface limitée à mi- distances des profils.
- S1 : Surface de profil en travers P1.
- S2 : Surface de profil en travers P2.

La figure ci-dessous représente les sections de profil d'un tracé donné

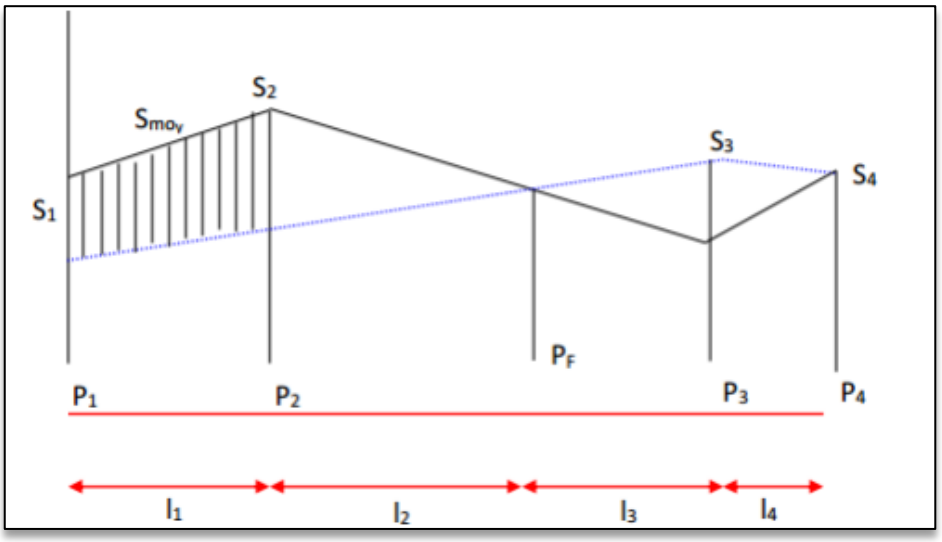


Figure VII.8 : les positions des sections dans un profil en long donné

Pour un calcul plus simple, le volume compris entre deux profils en travers Pi et Pi+1 de section Si, Si+1 est égal à :

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

Le volume total VT : $V_T = \sum V_i$

VIII.2.4. Application sur le projet :

Le calcul des cubatures est fait par le logiciel autopiste et joint dans l'annexe.

CHAPITRE IX
LES OUVRAGES D'ART

IX.1 INTRODUCTION :

Un ouvrage d'art est une construction majeure qui permet de surmonter un obstacle sur une voie de communication, qu'il s'agisse d'une route, d'une voie ferrée ou d'une voie navigable (tels que des ponts ou des tunnels). Ces constructions servent également de dispositifs de protection contre les forces de la nature, telles que la terre ou l'eau (comme les murs, les tranchées couvertes ou les digues). En outre, ils jouent le rôle de points de transition entre différents modes de transport (comme les quais et autres infrastructures portuaires). Selon leur fonction, on peut les classer en ponts-routes, ponts-rails ou ponts-canaux.

Pour résumer, le terme "pont" désigne tout ouvrage de franchissement élevé, construit sur place, excluant ainsi les conduits préfabriqués, qu'ils soient entièrement ou partiellement préfabriqués.

IX.2 CONCEPTION DES OUVRAGES D'ARTS :

Lors de la conception d'un ouvrage d'art, il est essentiel de répondre à un certain nombre d'exigences afin de fournir un service optimal aux utilisateurs. On distingue les exigences fonctionnelles, qui sont les caractéristiques nécessaires pour assurer la fonction de franchissement de l'ouvrage, et les exigences naturelles, qui regroupent tous les éléments de l'environnement qui influencent sa conception.

Les critères fondamentaux dans la conception des structures d'ouvrages sont les suivants :

- La sécurité ;
- L'économie ;
- La stabilité ;
- Les délais de réalisation ;
- Le respect de l'environnement.

IX.3 GABARIT A RESERVER :

On appelle gabarit le minimum à dégager au-dessus de la voie franchie, mesuré perpendiculairement à cette voie. En Algérie, il est réglementé que le passage sur :

- Les autoroutes et les routes express doivent respecter un gabarit de 5.25m ;
- Les routes ordinaires doivent respecter un gabarit de 4.50 à 4.80 m ;
- Pour le chemin de fer on doit respecter un gabarit de 6.2 m.

IX.4 PRESENTATION DES OUVRAGES :

Tableau IX.1 : Les ouvrages au niveau du tracé

PK	Type d'ouvrage	Remarque
341+228	Passage inferieur	Route rural
342+730	Pont	Chemin de fer + chemin de wilaya
343+200	Viaduc	Oued Seybouse
344+600	Passage inferieur	Chemin de wilaya
348+150	Passage inferieur	Route rural
349+980	Passage inferieur	Route rural

IX.5 CHOIX DES TYPES D'OUVRAGE :

L'objectif est de choisir le type d'ouvrage le plus approprié d'un point de vue technique et économique, en satisfaisant au mieux toutes les conditions requises (à la fois économiques et techniques). Les principaux facteurs qui influencent le choix du type d'ouvrage sont les suivants :

- La nature du sol ;
- Le gabarit à respecter
- Le profil en long de la chaussée ;
- La portée de l'ouvrage ;
- Position possible des appuis

Pour une portée d'ordre de 50 m avec une largeur de 11 m plusieurs types de pont peuvent être envisagés qui sont :

- Ponts à poutres ;
- Ponts voûtés ;
- Pont en arc ;
- Ponts suspendus ;
- Ponts haubanés.

IX.6 SOLUTION TECHNIQUE RETENUE :

Vu les conditions techniques exiger par le site, le choix de nos ouvrages récapitulé dans le tableau suivant :

Tableau IX.2 : types de ouvrages retenus

OA	**Solution recommandée**	**Longueur (m)**	**Gabarit (m)**	**Nombre de travée & longueur du poutre**
Pont	Pont à poutre précontrainte	33.4	5.25	Une travée & 33.0m
Viaduc	Pont à poutre précontrainte	340.58	5.25	Onze travée & 30.5m

IX.7 CONCLUSION :

En conclusion, après avoir examiné tous les types d'ouvrages possibles, il a été décidé d'opter pour des ponts-poutres en béton précontraint pour tous les ouvrages. Cette décision repose sur les nombreux avantages qu'ils offrent, tels que la facilité de construction et le large choix de matériaux disponibles.

CHAPITRE X
CONCEPTION DE L'ECHANGEUR

X.1 Introduction :

Un échangeur est une structure routière complexe qui facilite les transferts de trafic entre différentes routes, en particulier les autoroutes. Il est conçu de manière à séparer et à canaliser les flux de circulation à l'aide de bretelles autoroutières dédiées. Les échangeurs sont généralement situés aux intersections entre autoroutes ou entre une autoroute et une autre route.

Il existe différents types d'échangeurs, chacun ayant une fonction spécifique :

- Les nœuds : ils relient une autoroute à une autre autoroute à grande vitesse.
- Les diffuseurs : ils relient une autoroute au réseau de routes urbaines conventionnelles.
- Les échangeurs mixtes : ils permettent non seulement la connexion entre deux autoroutes, mais également des raccordements supplémentaires.

Lors de la conception des échangeurs, plusieurs règles doivent être respectées :

- Favoriser les conceptions simples pour faciliter la compréhension et la circulation des usagers.
- Séparer les échanges de trafic autoroutiers des échanges locaux afin de minimiser les conflits et les ralentissements.
- Éviter d'implanter les échangeurs dans des endroits présentant des caractéristiques géométriques problématiques, comme des courbes de rayon inférieur à 1.5 fois le rayon de la voie, des pentes fortes, etc.
- Éviter les emplacements dans des courbes inclinées pour prévenir les problèmes de stabilité et de sécurité.
- Éviter les interférences fonctionnelles entre les différentes voies d'accès pour maintenir un flux de circulation fluide et sûr.

Le projet consiste d'étude d'un échangeur qui relie l'autoroute Est-Ouest a la station essence des Aures.

X.2 Rôle de l'échangeur :

Les échangeurs doivent assurer la fluidité du trafic, éviter les points de conflits dangereux et minimiser les perturbations qui peuvent entraîner des retards pour les usagers. Cela contribue à améliorer la sécurité routière, à optimiser le temps de déplacement et à offrir une expérience de conduite plus confortable.

X.3 Les éléments de l'échangeur :

Tout échangeur quel que soit son importance, sa classe ou sa forme, est constitué d'un assemblage de trois éléments qui sont :

- L'ouvrage d'art (pont) ;
- Les carrefour (s) plan (s) (cas de raccordement routiers ordinaires) ;
- Les bretelles.

X.4 Type de l'échangeur :

- Échangeur majeur : raccordement Autoroute- Autoroute. (Trèfle complet, bifurcation « Y ».
- Échangeur mineur : raccordement Autoroute -Route. (Losange, Demi-trèfle, Trompette)

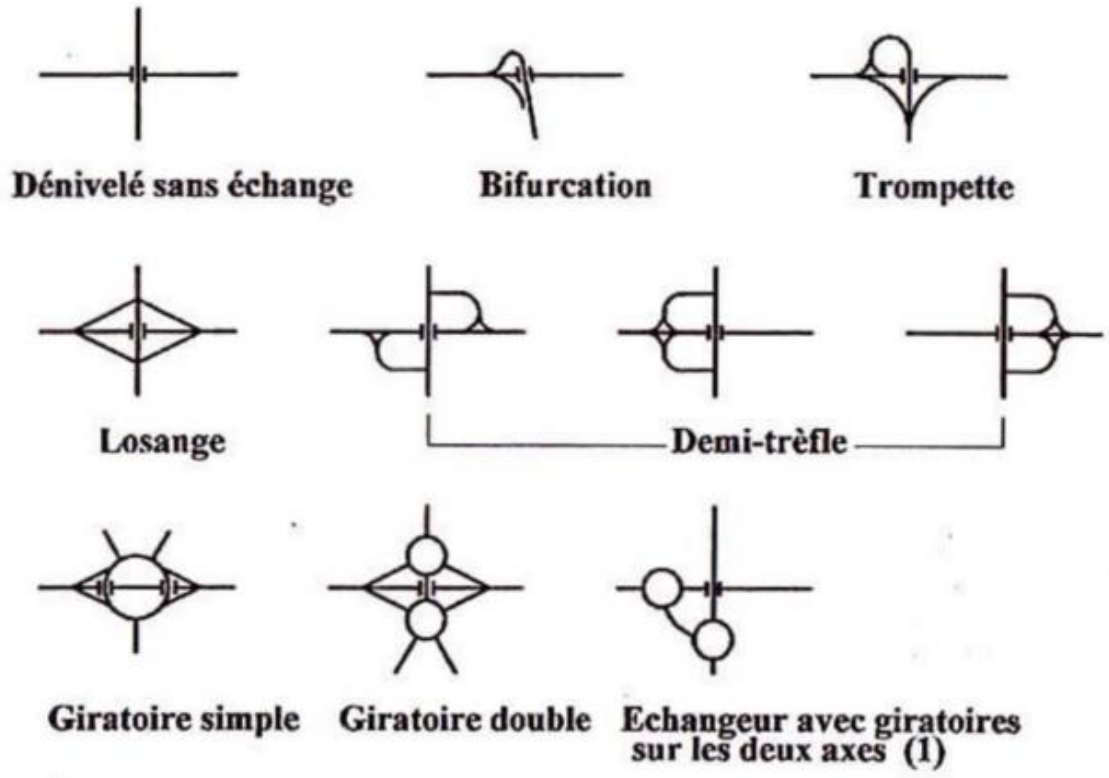


Figure X.1 : Différents types d'échangeur

X.5 Choix de type de l'échangeur :

Pour choisir la configuration d'un échangeur la plus adaptée à une situation donnée, il est essentiel de connaître les différents types d'échangeurs existants, ainsi que leurs avantages, inconvénients et limites d'utilisation. Une fois ces informations acquises, le choix du type d'échangeur devient automatique en fonction de paramètres spécifiques tels que le trafic, le site d'implantation et les objectifs à atteindre.

Pour atteindre cet objectif, les étapes suivantes sont généralement suivies :

$1^{ére}$ Etape : Détermination du tracé à partir de :

- Type de route et nombre de branches à raccorder.
- Présentation du site d'implantation.
- Distribution du trafic avec les différents sens de parcours.
- Vitesse d'approche pratique qui détermine les caractéristiques sur la bretelle.

2^{eme} Etape : : Configuration du tracé à adopter :

L'échangeur à préconiser doit aussi assurer un haut niveau de sécurité et de service, et ceci est garant en respectant les normes de l'art de la conception qui se résume en :

- Un tracé respectant les valeurs limitées de conception (valeur de rayon, d'alignements)
- Des longueurs des voies réglementaires (Insertion & décélération).

3^{eme} Etape Analyse :

C'est cette dernière étape qui valide le choix sous la base que le futur échangeur doit assurer les meilleures conditions de visibilité, de confort et de sécurité.

X.6 Application à notre projet :

Le choix du type de l'échangeur dépend essentiellement des paramètres suivants :

- Type de terrain : le terrain de notre projet est un terrain vallonné.
- Type de route a raccordé : L'échangeur qu'on va réaliser doit raccordée notre autoroute à la station Des Aures. Donc l'échangeur est de type mineur.
- Distribution du trafic L'échangeur distribue le trafic dans trois directions.
- Vitesse sur les bretelles : - La vitesse maximale sur l'autoroute est de 120 km/h.
  - La vitesse sur l'échangeur est 40 Km/h.
  - On va prendre la vitesse sur les bretelles VB=60 Km/h.

Donc, l'échangeur qui répond à toutes ces critères est l'échangeur Trompette.

Le choix de cet échangeur est justifié par le fait qu'il va relier une voie principale à une voie transversale sur le PK 339+920 où on va l'implanter.

X.7 Caractéristiques géométriques des bretelles :

X.7.1. Tracé des bretelles :

Les valeurs limites des rayons à utiliser pour le tracé des bretelles d'après le guide des échangeurs (complément de l'ICTAAL2000) sont les suivantes :

Tableau X.1 : Valeurs limites des rayons des bretelles.

Rayon	**Symbole**	**Voie de sortie**	**Voie de boucle**
Rayon minimal	$R_m(m)$	40 (7%) et 100 (le premier rayon)	40 (7%)
Rayon minimal non déversé	$R_{nd}(m)$	300	
Rayon maximal dans la boucle	$R_{max}(m)$	/	60
Dévers entre R_{nd} et R_m	$d(m)$	$d = (675/R) + 0.25$ Entre 300 et 100	

Dans une courbe de rayon inférieur à 100 m, une sur largeur de 50/R par voie est à introduire à l'intérieur de la courbe.

X.7.2. Enchainement des éléments du tracé en plan :

- Une boucle comporte un arc circulaire unique encadré par des arcs de clothoïdes ;
- Deux courbes successives de sens contraire doivent satisfaire à la condition : R1≤ 2R2, où R1 et R2 notent les rayons de la première et de la seconde courbe rencontrée ;
- Deux courbes successives de même sens doivent être séparées par un alignement droit de longueur correspondant à 3s à la vitesse autorisée hors clothoïdes.

X.7.3. Raccordements progressifs :

- Une courbe circulaire est encadrée par deux arcs de clothoïde de longueur égale à la plus grande des deux valeurs : 6R0,4 et 7|**Δ**δ |; où R note le rayon de courbure (m), et Δδ la différence des pentes transversales (en %) des éléments du tracé raccordés.
- Il s'agit de longueurs minimales, mais il n'est pas recommandé de recourir à des valeurs supérieures qui peuvent rendre l'appréciation de la courbure finale plus difficile pour l'usager.

X.7.4. Zones d'accélération et de décélération :

X.7.4.1. Zone de décélération :

Les sorties à 1 voie c'est le cas le plus courant pour les diffuseurs. Le dispositif de sortie comporte successivement :

- Une section de manœuvre qui est un biseau contigu à l'autoroute, longue de 150 m jusqu'à l'endroit où le musoir de divergence atteint une largeur de 1 m ;
- Une section de décélération, dont la longueur permet de passer de la vitesse conventionnelle (70 km/h, pour un rayon de la bretelle inférieur à 120 m) à la fin de la section de manœuvre, à la vitesse associée au rayon de la première courbe rencontrée, avec une décélération en palier de 1,5 m/s2.

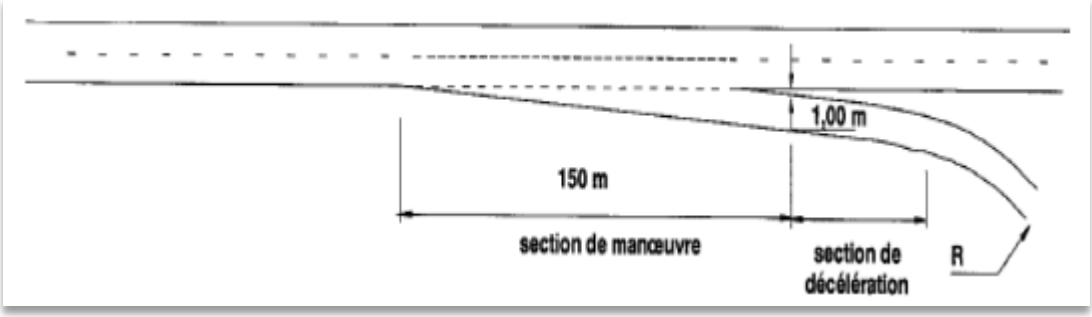


Figure X.2 : Dispositif de sortie de l'autoroute.

X.7.4.2. Zone d'accélération :

Le dispositif d'entrée comprend successivement :

- Une section d'accélération dont l'obliquité avec l'axe de l'autoroute est comprise entre 3 et 5%. Sa longueur qui dépend du rayon de la dernière courbe de la bretelle, doit permettre d'atteindre au point "E = 1,00 m", la vitesse conventionnelle de 55 km/h avec une accélération en palier de 1 m/s2 ;
- Une section de manœuvre adjacente à la chaussée de l'autoroute, longue de 200 m et large de 3,50 m ;
- Un biseau long de 75 m.

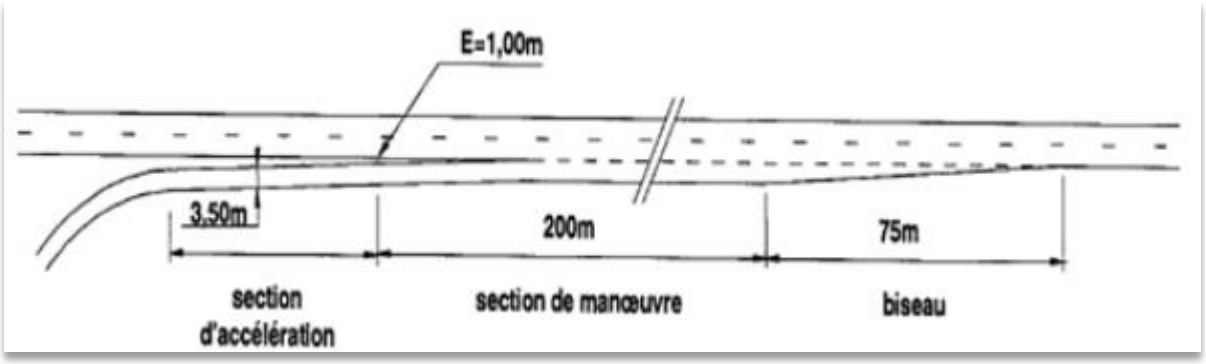


Figure X.3 : Dispositif d'entrée sur l'autoroute

X.7.5. Profil en long d'une bretelle :

Les paramètres du profil en long doivent respecter les valeurs limites arrêtés par l'ICTAAL donné dans le tableau suivant :

Tableau X.2 : caractéristique géométrique du profil en long.

Nombres de voies	**1 voie**
Déclivité maximale	6%
Rayon minimal en angle saillant	1500m
Rayon minimal en angle rentrant	800m

X.7.6. Profil en travers d'une bretelle :

La chaussée est bordée de part et d'autre par une bande d'arrêt d'urgence et par une berme qui peut être intégrée au dispositif d'assainissement si ce dernier est non agressif (pente transversale < 25%). La largeur de la berme est normalement égale à 1 m et en présence d'un dispositif de retenue elle est définie par sa largeur de fonctionnement.

Tableau X.3 : profil en travers d'une bretelle unidirectionnelle à une voie.

Berme	**Band dérasée de gauche**	**Band dérasée de droite**	**Chaussée**
1m	0.5m	1m	3.5m

CHAPITRE XI
SIGNALISATION, ÉCLAIRAGE ET SÉCURITÉ

XI.1 SIGNALISATION :

XI.1.1. Introduction :

La signalisation routière fait partie intégrante du paysage routier. Elle est un outil de communication essentiel pour l'usager de la route. Elle doit, par conséquent être conçue et installée d'une manière à aider les usagers tout au long de son parcours en lui permettant d'adapter sa conduite aux diverses situations qui se présentent à lui, et ce en lui évitant hésitations et fausses manœuvres.

En connaissant la forme des divers panneaux de signalisation, un conducteur peut évaluer d'avance leur message. La normalisation des couleurs et des symboles des panneaux aide aussi le conducteur à reconnaître leur signification. Les panneaux ne sont peut-être pas exactement comme ils sont indiqués dans ce chapitre et celle-ci ne donne qu'un échantillon représentatif.

XI.1.2. Objectif de la signalisation :

- Rendre plus sécuritaires et faciliter les déplacements en régissant la circulation entre les différents usagers de la route.
- Faire connaitre ou rappeler la réglementation par les règles de conduite prévues au code de la sécurité routière ou celles qui sont précisées par des règlements municipaux.
- Signaler des dangers en soulignant les particularités de la route qui demandent une attention des usagers
- Assurer la sécurité des travailleurs et des usagers de la route durant l'exécution de travaux sur un chemin public ou aux bords de celui-ci.
- Donner des indications ou des renseignements utiles aux usagers, notamment en précisant les destinations ou les services accessibles le long de la route

XI.1.3. Les principes fondamentaux d'une signalisation efficace :

Il est nécessaire de concevoir une bonne signalisation tout en respectant les critères suivants :

- Cohérence entre la géométrie de la route et la signalisation (homogénéités) ;
- Cohérence avec les règles de circulation ;
- Cohérence entre la signalisation verticale et horizontale ;
- Simplicité, elle s'obtient en évitant une surabondance de signaux qui fatigue l'attention de l'usager ;
- Eviter la publicité irrégulière

XI.1.4. Les catégories de signalisation :

On distingue :

- La signalisation par panneaux ;
- La signalisation par feux ;
- La signalisation par marquage des chaussées ;
- La signalisation par balisage ;
- La signalisation par bornage.

XI.1.5. Type de signalisation :

Les équipements de signalisation envisagés sont de nature statique, qu'ils soient verticaux ou horizontaux.

La signalisation horizontale implique l'utilisation de marquages complets au sol, couvrant les axes, les bordures et les hachures.

Quant à la signalisation verticale, elle peut être classée comme suit :

- Réglementaire, similaire aux différents panneaux de danger, d'interdiction ou d'obligation.
- Orientée vers la direction, servant à indiquer les directions à suivre.
- Relative à la localisation, permettant d'identifier un emplacement spécifique.

XI.1.5.1. Signalisation horizontale :

Le marquage des chaussées doit indiquer clairement les parties de la chaussée réservées aux différents sens de la circulation.

Les marquages horizontaux se divisent en trois types :

- **Marquages longitudinaux :**

- Lignes axiales, on distingue les lignes continues infranchissables, lignes discontinues, lignes de dissuasion.
- Lignes de rive.
- Lignes de délimitation de vitesse.

- **Marquages transversaux :**

- Lignes d'arrêt.
- Lignes « céder le passage ».
- Passage pour piétons.

- **Marquages complémentaires :**

- Flèches de sélection de rives.
- Flèches de rabattement.
- Indications particulières

❖ Caractéristiques générales des marques :

Le blanc est la couleur utilisée pour les marquages sur chaussée définitive et le jaune pour les marques temporaires

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

U = 7.5cm sur les autoroutes et voies rapides urbaines.

U = 6cm sur les routes et voies urbaines.

U = 5cm pour les autres routes.

U = 3 cm pour les lignes tracées sur les pistes cyclables.

Tableau XI.1 : Type de modulation.

Type de modulation	Longueur du trait (m)	Intervalle entre traits successifs (m)	Rapport plein vide
T1	3.00	10.00	1/3
T'1	1.50	5.00	
T2	3.00	3.50	1
T'2	0.50	0.50	
T3	3.00	1.33	3
T'3	20.00	6.00	
T4	39	13	

XI.1.5.2. Signalisation horizontale du projet :

Le dispositif qui a été adopté pour le présent projet est :

- Peinture en bande discontinue de type T1 2U : Elle est prévue à l'axe de la chaussée et sur tout le linéaire.
- Peinture en bande continue 3U : Elle est prévue en rive du côté des ilots séparateurs et centrale.
- Peinture en bande discontinue de type T2 3U : Elle est prévue en rive sur tout le linéaire où la chaussée est bordée par un accotement.
- Peinture en bande discontinue de type T'2 5U : Elle est prévue aux entrées du giratoire pour matérialiser la zone de perte de priorité « cédez le passage ».

Marquage en section courante :

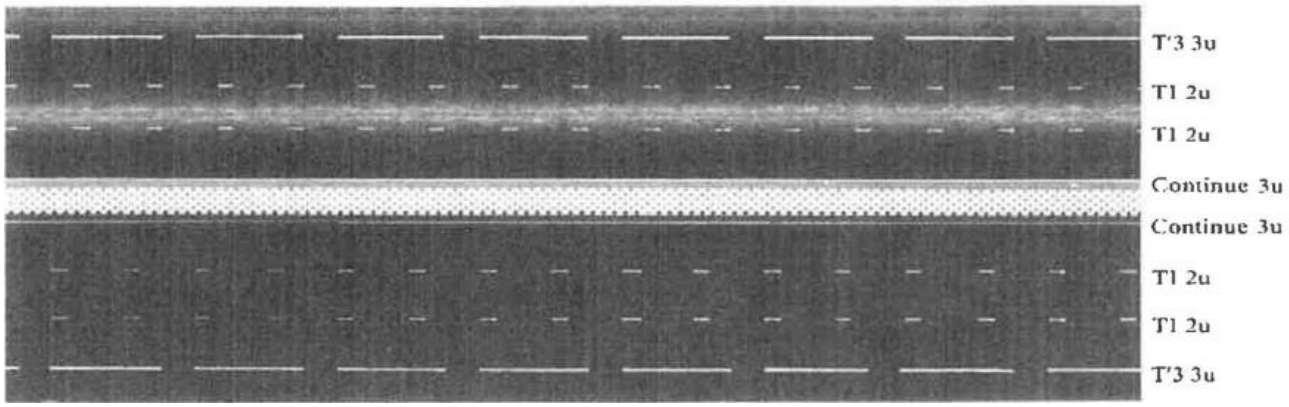


Figure XI.1 : Marquage longitudinales pour l'autoroute.

La largeur des lignes est déterminée à partir de « U ». Pour une autoroute, 7.50cm est adopté comme « U ».

- Ligne axiale : Ligne continue avec 22.5cm de largeur.
- Ligne de délimitation de voie : Ligne discontinue (3m pour la ligne et 10 m d'intervalle) avec 15cm de largeur.
- Ligne de rive : Ligne discontinue (20m pour la ligne et 6m d'intervalle) avec 22 cm de largeur.

❖ **Les marques transversales :**

- Ligne continue d'arrêt ;
- Ligne discontinue de « Cédez le passage » ;
- Ligne discontinue d'effet des feux de circulation.

Les autres marques Il s'agit là de tous les marquages spéciaux qui donnent une information, une prescription ou spécifiques à certains carrefours. On distingue :

Les flèches de pré signalisation ; les lignes parallèles ou obliques ; les lignes zigzag ; les marquages spécifiques.

XI.1.6. Signalisation verticale :

La signalisation verticale est l'ensemble des signaux conventionnels implantés verticalement sur le domaine routier et destinés à assurer la sécurité des usagers de la route. Elle est divisée en deux grandes catégories :

- Signalisation de danger, de prescription et d'indication.
- Signalisation de direction.

Il existe différents types de panneaux de signalisation qui peuvent avoir plusieurs fonctions :

❖ Les panneaux de danger informent les usagers d'éventuels dangers qu'ils peuvent rencontrer et contribuent ainsi à rendre plus sûre la circulation routière.
❖ Les panneaux directionnels facilitent cette circulation en indiquant par exemple les directions à suivre.
❖ Les panneaux de prescription ou d'obligation indiquent ou rappellent diverses prescriptions particulières de police en vigueur localement.
❖ Les panneaux d'indication enfin donnent des informations relatives à l'usage de la route.

À part les panneaux et les panonceaux, utilisés pour la signalisation verticale, la signalisation de danger est réalisée avec des balises de plusieurs types :

- Balise de virage.
- Balise de limite de chaussée.
- Balise de musoir, balise pour les gares de péages, etc.

La taille des panneaux est comme suit et représentée dans tableau 1 :

- Sur autoroute : Très Grande Gamme (TGG)
- Sur entrées et sortie : Grande Gamme (GG)
- Bretelle d'accès aux gares de péage et rétablissements : Gamme Normale (GN)

Tableau XI.2 : les dimensions des panneaux.

Dimensions	Côté du triangle (mm)	Diamètre du rond (mm)	Double de l'apothème de l'octogone (mm	Côté du carré (mm)
TGG	1500	1250	1200	1050
GG	1250	1050	1000	900
GN	1000	850	800	700

XI.1.6.1. Signalisation de danger :

Les panneaux de forme triangulaire (type A) indiquent un danger à venir, et demandent à ralentir, ils sont placés à droite chaussée. Comme ils peuvent être répétés à gauche.

- **Virages :**
  Un panneau de type A 1 est installé pour signaler des sections en virages.

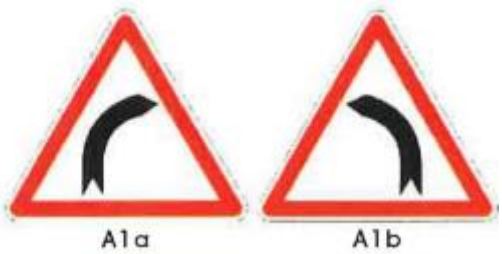


Figure XI.2 : panneaux des virages

- **Passage gabarit de passage inférieurs :**



Figure XI.3 : Accès interdit au véhicule (la hauteur supérieure à 5.25 m)

XI.1.6.2. Signalisation de Prescription :

L'objet de la signalisation de prescription est de porter à la connaissance des usagers de la route les interdictions et obligations particulières résultant de mesures réglementaires complétant le code de la route, ce sont des panneaux de type B.



Figure XI.4 : panneaux des interdictions

- **Limitation de Vitesse :**



Figure XI.5 : panneau de limitation de vitesse

- **Péage :** Un panneau est implanté à l'approche d'un poste de péage.



Figure XI.6 : panneau de péage

XI.1.6.3. Signalisation d'indication :

Les signaux d'indication sont placés aux endroits les plus appropriés. Ce sont des Panneaux de signalisation : type C.



Figure XI.7 : Accès et fin de l'autoroute.

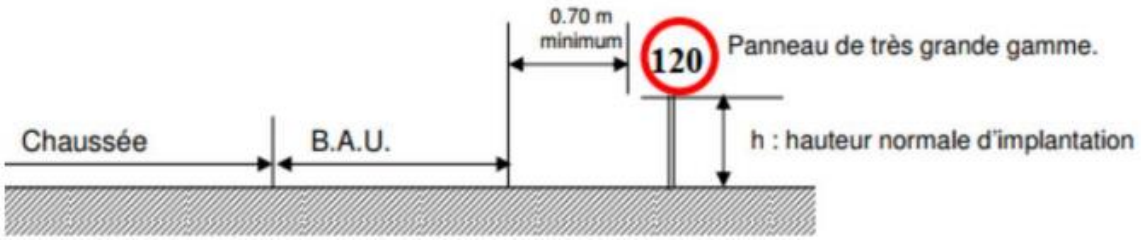


Figure XI.8 : Exemple de l'implantation de panneau

XI.1.6.4. Signalisation de direction :

La signalisation de direction tient compte des destinations importantes pour le tronçon à étudier :

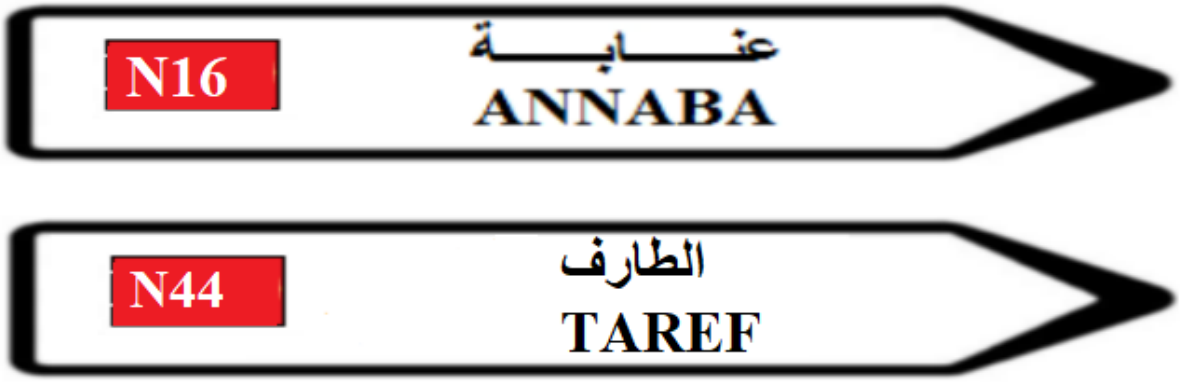


Figure XI.9 : signalisation de direction.

XI.1.6.5. Panneaux de pré signalisation :

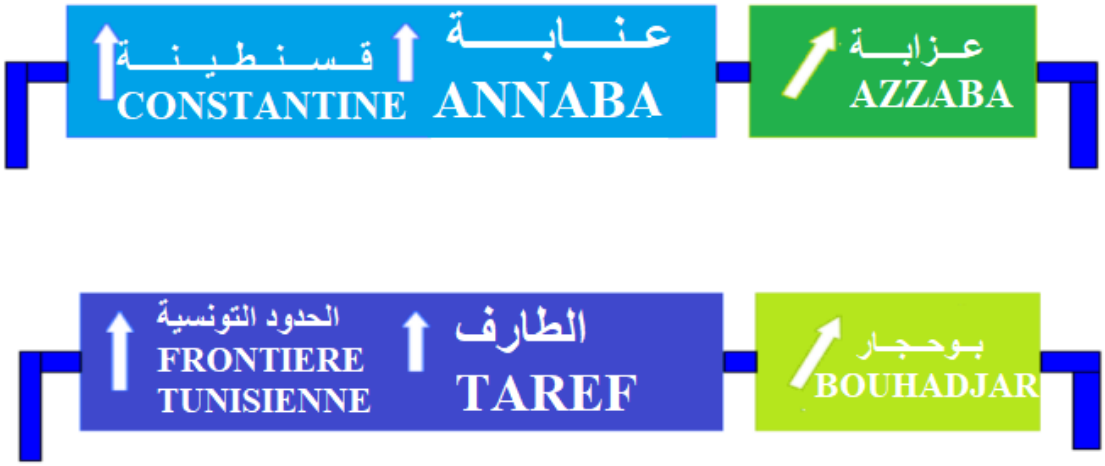


Figure XI.10 : Panneaux de pré signalisation.

XI.2 L'ECLAIRAGE :

XI.2.1. Introduction :

L'éclairage public est généralement un éclairage de chaussée offrant une amélioration de la visibilité. Il est utilisé lorsqu'il y a fréquemment coexistence de piétons et de véhicules, c'est à dire à l'intérieur des localités en zones bâties. Il s'agit principalement de créer dans ces espaces, des conditions permettant aux usagers de la circulation de s'identifier mutuellement rapidement. En outre, l'éclairage des rues doit donner un sentiment de sécurité et contribuer à la prévention des accidents.

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

XI.2.2. Critères fonctionnels en éclairage public :

Principaux critères à retenir sont :

- Les types d'usages et d'usagers (type de voie) ;
- Le la vitesse de déplacement ;
- Le type de chaussée ;
- Les contraintes (risques d'accident, sentiment de sécurité…).

XI.2.3. Catégorie d'éclairage :

On distingue quatre catégories d'éclairages publics :

- Eclairage général d'une route ou une autoroute, catégorie A ;
- Eclairage urbain (voirie artérielle et de distribution), catégorie B ;
- Eclairage des voies de cercle, catégorie C ;
- Eclairage d'un point singulier (carrefour, virage…) situé sur un itinéraire non éclairé, Catégorie D

Pour le présent projet on a utilisé catégorie A (autoroute).

XI.2.4. Paramètres d'implantation des liminaires :

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

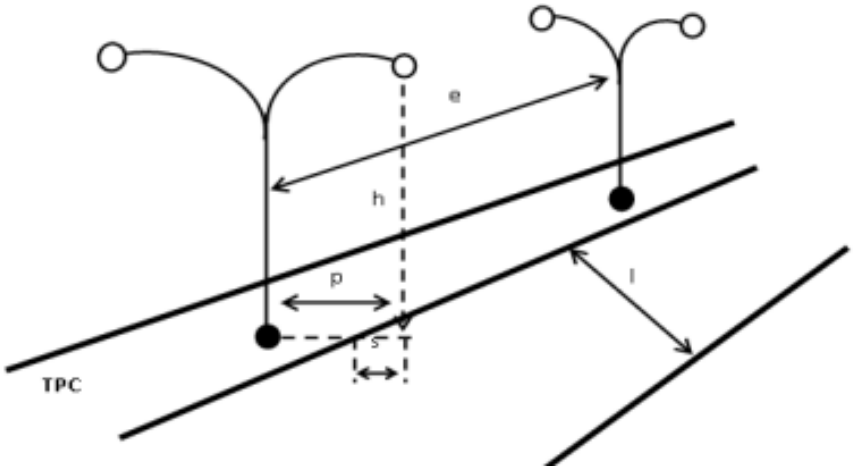


Figure XI.11 : Paramètres de l'implantation des luminaires

XI.2.5. Application sur le projet :

Dans notre projet on ne va pas mettre d'éclairage vu que c'est une autoroute, on se contentera d'éclairer les zones particulières comme les points où il y a des échangeurs et sur les ouvrages d'art (pont, viaduc). Sur ces points particuliers, la bordure du TPC doit être parfaitement visible, on adopte à cet effet des dispositifs lumineux en place, ensuite, les foyers doivent être suffisamment rapprochés pour que les plages d'éclairement se raccordent sans discontinuité. La hauteur des foyers est en général de 8 à 12 m et l'espacement des supports de 20 à 30 m de façon à avoir un niveau d'éclairage équilibré pour les deux sens de notre autoroute.

XI.3 SECURITE :

XI.3.1. Introduction :

La route une fois réalisée aura besoin des équipements qui serviront à assurer la sécurité d'un côté et à guider les usagers de la route d'un autre côté.

XI.3.2. Dispositif de retenue :

Les dispositifs de retenue sont des équipements de sécurité destinés à retenir les véhicules dans la plate-forme de la route lors des sorties accidentelles. En plus de cette fonction, ils permettent aussi d'isoler les obstacles singuliers ou les dénivellations importantes et de protéger les zones riveraines contre les intrusions des véhicules. L'emploi des dispositifs de retenue est lié étroitement à la notion de la zone de sécurité définie par l'ICTAAL 2000 qui est de 8.5 m pour les catégories respectives L1.

A l'intérieur de cette zone, doit être isolé tout dispositif agressif constitué par des obstacles suivants :

- Les arbres, les poteaux, maçonneries, appui d'ouvrages d'art, etc. Caniveaux non couverts ;
- Fossé de plus de 50 cm de profondeur ;
- Talus de déblai et de remblai selon des cas conventionnels.

XI.3.3. Type de dispositifs retenue :

Les dispositifs de retenue utilisés sont les suivants :

XI.3.3.1. Glissières de sécurité :

Elles sont classées en trois niveaux, suivent leurs performances de retenue :

- Les glissières de niveau 1 : sont testées avec un véhicule léger de masse de 1.250 kg heurtant la glissière à une vitesse de 80 km/h sous un angle de 30° ou 100 km/h sous un angle de 20°, sont particulièrement adoptées pour les routes principales ;
- Les glissières de niveau 2 et 3 : sont envisageable lorsque les vitesses pratiquées, à leurs endroits, sont faibles (de l'ordre de 60 Km/ h).

XI.3.3.2. Murettes de protection en béton armé :

L'implantation de ce type d'ouvrage nécessite des prescriptions spéciales dont il faut tenir compte dès la conception des projets. Leurs implantations (au lieu d'une simple glissière) sont envisagées lorsque le danger potentiel représenté par la sortie d'un véhicule lourd de la chaussée, et notamment d'un véhicule de transport en commun, est important, en particulier dans les cas suivants :

- Les sections où la route surplombe directement sur la mer ;
- Lorsque la hauteur de la dénivellation est supérieure à 10 m.



Figure XI.12 : Types des dispositifs agréés

CHAPITRE XII
IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XII.1 Introduction :

Dans ce contexte, le terme "environnement" est utilisé dans un sens large pour englober tous les aspects liés aux habitats des espèces animales et végétales. Lors de l'évaluation d'impact, il est nécessaire d'aborder toutes les thématiques directement liées à l'environnement, telles que l'eau, l'air, la faune, la flore, ainsi que l'environnement de l'être humain. Selon le code de l'environnement, il est désormais obligatoire d'inclure une évaluation de l'impact du projet sur la santé humaine.

Il est donc important, pour chaque thème étudié, de définir le périmètre pertinent. Les effets spatiaux varient en fonction du paramètre affecté, et il peut y avoir des effets indirects en raison des relations fonctionnelles entre les différents compartiments de l'environnement.

XII.2 Objectifs de l'étude d'impact sur l'environnement :

L'étude d'impact sur l'environnement permet de mesurer les effets du projet sur l'environnement et de proposer des mesures d'atténuation adéquates pour réduire, supprimer et si possible, compenser les effets nocifs sur l'environnement et la santé. Elle a pour objectif :

- D'insérer le projet dans l'environnement bâti et de préserver les conditions de vie de riverains.
- De sauvegarder le patrimoine religieux, culturel, architectural et archéologique de la zone d'étude.
- De préserver les conditions de vie des générations futures.
- De définir les incidences du projet et surtout les principes de mesures envisagées pour réduire, supprimer, voire compenser les conséquences dommageables du projet.

XII.3 Principale composante de l'étude d'impact sur l'environnement :

XII.3.1. Délimitation de la zone d'étude :

Le projet d'autoroute se situe dans la région Nord-Est du schéma national d'aménagement du territoire et plus particulièrement dans la zone comprenant les wilayas de Skikda, Annaba, Guelma et El Tarf. Cette zone se caractérise par un environnement montagneux qui se prolonge par des plaines de grande étendue, un réseau hydrographique dense et des sites naturels aux richesses exceptionnelles. Celle-ci est dotée par ailleurs d'un réseau d'infrastructures très ramifié et bénéficie de conditions économiques des plus favorables notamment des terres agricoles à haut rendement et du pôle industriel de Annaba.

XII.3.2. Identification des impacts du projet :

XII.3.2.1. Impacts positifs du projet :

L'autoroute est-ouest en Algérie présente plusieurs impacts positifs sur différents aspects :

- Amélioration de la connectivité : L'autoroute est-ouest permet de relier différentes régions du pays de manière plus rapide et efficace. Elle favorise la circulation des personnes, des biens et des services, ce qui stimule le commerce et l'économie en facilitant les échanges entre les régions.
- Réduction des temps de trajet : L'autoroute permet de réduire considérablement les temps de trajet entre les villes et régions traversées. Cela permet aux personnes de se

déplacer plus rapidement et plus facilement, ce qui peut contribuer à une meilleure qualité de vie en économisant du temps précieux.

- Sécurité routière accrue : Les autoroutes sont généralement conçues avec des normes de sécurité élevées, ce qui réduit les risques d'accidents par rapport aux routes nationales. L'amélioration des conditions de sécurité routière sur l'autoroute est-ouest peut contribuer à sauver des vies et réduire les blessures liées aux accidents de la route.
- Décongestion du trafic : En offrant une alternative aux routes nationales souvent encombrées, l'autoroute est-ouest contribue à la décongestion du trafic routier. Cela peut réduire les embouteillages, améliorer la fluidité du trafic et réduire les temps d'attente, ce qui est bénéfique pour les usagers de la route.
- Facilitation du transport de marchandises : L'autoroute est-ouest facilite le transport de marchandises à travers le pays. Cela peut stimuler le commerce intérieur et extérieur en permettant un acheminement plus rapide et plus efficace des biens, ce qui est bénéfique pour l'économie du pays.

XII.3.2.2. Impacts Positifs indirects :

- La création de nouveaux emplois : L'augmentation d'activités par la création d'emplois temporaires (du fait de la construction du projet autoroutier au profit de la main d'œuvre locale) et permanents (pour les besoins d'exploitation de l'autoroute) ;
- Développement régional : L'autoroute est-ouest favorise le développement des régions traversées en encourageant l'implantation d'infrastructures, d'entreprises et d'activités économiques le long de son tracé. Cela peut créer des opportunités d'emploi et contribuer à l'équilibre régional en réduisant les disparités entre les différentes zones du pays.

XII.3.2.3. Impacts négatifs du projet :

La construction et l'exploitation d'une autoroute peuvent également entraîner certains impacts négatifs. Voici quelques exemples courants :

- Impact sur l'environnement naturel.
- Dégradation des ressources naturelles.
- Pollution de l'air et du bruit.
- Effets socio-économiques.
- Barrières physiques et sociales.

De façon plus détaillée, on distingue les impacts en phase travaux et ceux intervenant en phase exploitation de notre projet :

EN MILIEU HUMAIN ET PHYSIQUE :

❖ **L'impact lié à l'exploitation et l'utilisation de la route :**

L'acquisition des terrains pour l'implantation de la route résulte implique un transfert de la propriété des terrains et des capitaux immobiliers à l'intérieur du périmètre routier tout au long du tracé. Ceci entraîne différents impacts tels que :

a) réinstallation des ménages qui sont situés dans le périmètre routier ;

b) déplacement des sites héritage/historique ;

c) relocation du réseau (utilité publique) ;

d) déplacement des puits et des servitudes d'alimentation en eau potable.

- **Déplacement des réseaux d'équipements d'utilité publique :**

Le tracé de l'Autoroute traverse un réseau de voies d'accès et d'équipements collectifs publics. Ces équipements incluent entre autres des routes, des lignes électriques, conduites de gaz naturels, et des sources d'eau. L'exécution du tracé de l'Autoroute proposés peut causer l'obstruction et la relocation de ces réseaux, ceci causera des perturbations possibles des services de transport et des réseaux d'utilité publique ainsi qu'aux établissements commerciaux.

- **Impacts du déplacement des Structures et Végétations :**

Une fois que les terrains et les biens immobiliers seront acquis par le gouvernement, l'entrepreneur peut procéder à l'enlèvement de tout obstacle tel que (ie barrières, maisons, poteaux, bâtiments, etc.), végétation (arbres, récoltes, arbustes, etc.) tout au long du route. A ce moment, tous les réseaux essentiels auraient été déjà démantelés. Cependant, la route devra éviter les canalisations de gaz en mettant un remblai au-dessus de la conduite.

- **Impact de bruit :**

On s'attend à ce que la construction de la route produise du bruit en raison du mouvement des véhicules et des équipements de chantiers. Ces perturbations auditives aux niveaux bas sont perçues comme ennui, mais peuvent atteindre les niveaux qui peuvent déjà affecter l'exécution et la santé des ouvriers de construction et des communautés voisines.

- **Déplacement des sites historiques :**

Un certain nombre d'emplacements archéologiques, historiques et d'héritage existent dans le tracé. Cependant, l'Autoroute évite le contact direct avec ces emplacements, excepté un monument (stèle) situé à proximité de Ramel Souk. Le projet peut également indirectement affecter d'autres excavations qui datent de l'ère préhistorique aux périodes romaines. Les impacts peuvent s'étendre de la couverture des sites avec la poussière des travaux de construction à la relocalisation réelle des emplacements.

EN MILIEU NATUREL :

- **Impacts des aménagements de pistes d'accès :**

Les impacts liés à la construction des voies d'accès incluent :

a) la détérioration de la qualité d'air reliée à la génération de bruit, à la poussière et aux émissions gazeuses ;

b) la perte de végétation le long de l'alignement des voies d'accès ;

c) la perte d'esthétique ;

d) la perte de qualité de l'eau des corps croisés ou voisins de l'eau ;

e) l'obstruction et l'augmentation du trafic véhiculaire des voiries croisées.

- **Impacts de l'ouverture et de l'exploitation de carrières :**

Les carrières sont essentielles pour les projets routiers car elles fournissent les matériaux de construction tels que les agrégats. Cependant, l'ouverture de ces carrières a des impacts environnementaux, notamment le défrichement de la végétation, la défiguration du paysage, la déstabilisation des sols, les modifications de l'hydrologie de surface et la génération de bruit.

- **Impact sur la flore :**

La construction de l'autoroute entraîne la perte de végétation existante, y compris des arbres, arbustes, herbes et cultures locales. De plus, la poussière produite peut entraver la photosynthèse des plantes en recouvrant les feuilles.

- **Impacts sur la faune :**

La construction de la route a des impacts sur la faune, privant certaines espèces de leur habitat et de leur source de nourriture. Les oiseaux résidents des prairies et des maquis, tels que le Perdix de Perdix, la Cristata de Galeriga, le Mineur de Larus, le Mjor de Parus et le Carulus de Parus, peuvent être affectés par la construction de la route. Cependant, les autres espèces d'oiseaux résidentes ou migratrices des lacs Oubeira et Tonga ne devraient pas être dérangées en raison de leur éloignement. La petite faune, telle que le renard rouge et le lynx, qui réside normalement dans la zone tampon entre les deux lacs, peut trouver refuge dans d'autres milieux forestiers proches. Les grandes espèces de faune, comme les cerfs communs rouges et les sangliers, qui visitent périodiquement les milieux humides et les zones forestières du nord mais qui se reposent dans la partie sud, peuvent être privées d'accès. De plus, la construction de la route peut priver le bétail, les chèvres et les moutons qui pâturent dans le Parc national de Kala serai des pâturages existants, ce qui peut affecter environ 100 000 têtes de bétail qui se nourrissent dans le parc.

EN MILIEU HYDROLIQUE :

- **Détérioration de la surface et des eaux souterraines :**

Les activités de terrassement peuvent entraîner la détérioration de la surface et des eaux souterraines. Les particules fines emportées par l'eau de pluie peuvent polluer les récepteurs d'eau existants, rendant l'eau de surface trouble et limitant la photosynthèse des végétations aquatiques. La vase déposée sur le lit des cours d'eau peut réduire leur profondeur et leur capacité d'écoulement, entraînant des risques d'inondations lors de fortes pluies. Les eaux de réception de ces particules fines comprennent les fleuves Kébir Est et Mellila, ainsi que les affluents intermittents tels que Ain Soltane, Ain Beffa et le fleuve Bouhachicha.

- **Impacts sur la construction des canalisations :**

La construction des canalisations de drainage peut avoir des impacts négatifs. Les structures de drainage, telles que les ponceaux en béton, peuvent obstruer l'écoulement de l'eau pendant la construction, entraînant de petites inondations localisées et une détérioration de la qualité de l'eau. De plus, l'eau de surface peut entraîner l'accumulation de matériaux excavés le long des déviations temporaires, réduisant ainsi la capacité d'écoulement des cours d'eau et pouvant causer des inondations, endommageant les récoltes et les propriétés avoisinantes.

IMPACT SUR LE PAYSAGE :

La construction de la route entraînera des changements dans le paysage, introduisant un nouveau panorama qui peut ne pas être en harmonie avec l'environnement environnant. Cette modification esthétique peut être perçue différemment par les riverains et peut avoir un impact sur leur vie quotidienne, ainsi que sur les entreprises locales, surtout si la région est une destination touristique existante ou prévue.

XII.4 Les mesures de compensation et d'atténuation :

Les mesures de compensation et d'atténuation concernent l'ensemble des impacts sur les différents milieux (physique, biologique, humain et paysagère) se distinguent en celles en phase travaux et celles en phase exploitation.

XII.4.1. Mesures pour la protection de l'atmosphère :

Pour limiter les impacts en matière de pollution de l'air, de l'eau, du sol, du bruit des engins de chantier et perturbation de la circulation locale à la mise en application de ces mesures qui doivent s'accomplir dans le respect de l'environnement, les recommandations suivantes sont établies :

- Respecter la réglementation en matière de bruit des engins de chantier et Limiter la vitesse de circulation des engins à 30 km/h dans les zones sensibles à la poussière
- Limiter la circulation des engins de travaux publics uniquement dans les emprises du projet
- Respecter des horaires de chantier : notamment, les travaux seront réalisés de jour (6 h à 22 h), sauf cas particulier (impératif technique, retard…).
- Arroser des pistes, pour limiter les envols de poussières ;
- Eviter les opérations de chargement et de déchargement de matériaux par vent fort ;
- Limiter les défrichements et le décapage aux zones strictement nécessaires
- Végétaliser rapidement les surfaces terrassées.

XII.4.2. Mesures pour la protection des sols :

Voici les mesures de réduction de l'impact qui seront mises en œuvre :

- Optimiser les décapages des sols pour minimiser leur étendue.
- Concevoir les talus avec une pente de 3H : 2V ou moins, évitant les pentes supérieures à 1H : 1V pour assurer leur stabilité.
- Utiliser au maximum les matériaux excavés pour les remblais et utiliser les carrières abandonnées ou les zones dégradées à proximité pour le stockage des matériaux en excès.
- Enlever la terre végétale avant les travaux de terrassement et la stocker si elle n'est pas utilisée immédiatement.
- Revêtir les talus avec une couche de terre végétale d'une épaisseur de 0,30 m pour favoriser la végétalisation et prévenir l'érosion.
- Planter de la végétation sur les pentes pour stabiliser les sols et limiter l'érosion.
- Construire des bassins multifonctions aux points bas pour collecter et traiter les eaux de ruissellement avant leur rejet dans l'environnement.
- Éviter les défrichements pendant les saisons pluvieuses pour minimiser les impacts.

XII.4.3. Mesures pour la protection des ressources en eaux :

Voici les mesures de réduction de l'impact qui seront mises en œuvre :

- Assurer que les ouvrages de franchissement sont dimensionnés pour assurer les fonctions hydrologiques et écologiques des cours d'eau, notamment l'évacuation des crues et la préservation des corridors fauniques.
- Mettre en place une gestion environnementale rigoureuse du chantier, incluant le traitement adéquat des rejets, l'interdiction de ravitaillement des engins dans le lit des cours d'eau ou à proximité, ainsi qu'un choix raisonné des sites de stockage des matériaux afin de minimiser les risques d'inondation.
- Imperméabiliser les aires de maintenance en installant un bassin de rétention, des fossés et une fosse septique pour prévenir toute pollution.

XII.4.4. Mesures pour la protection des milieux naturels :

Les travaux de défrichement, comprenant le débroussaillage, le déboisement et le dessouchage, qui consistent à dégager les emprises, représentent la phase la plus délicate en ce qui concerne l'impact sur l'environnement naturel et la faune qui y est associée. Les mesures de réduction de cet impact qui seront mises en œuvre sont les suivantes :

- Limiter la surface occupée par les travaux de défrichement.
- Prévenir les risques d'incendie de forêt.
- Planifier le chantier en tenant compte du cycle biologique de la faune. Ainsi, les défrichements seront réalisés autant que possible en dehors des périodes de nidification et de reproduction de la faune, notamment des oiseaux, qui surviennent généralement au printemps.

XII.4.5. Mesures pour la protection du milieu humain :

- Évaluer précisément la valeur des parcelles touchées et la viabilité des exploitations agricoles concernées dans les procédures d'expropriation.
- Limiter les travaux de nuit aux cas d'urgence, tels que le rétablissement de routes ou de réseaux.
- Tenir compte des recommandations environnementales visant à protéger les eaux et l'atmosphère.
- Réhabiliter les sites de chantier : les pistes, les accès, les zones de dépôts temporaires et les déviations établis pendant les travaux doivent être démontés et le site doit être remis en état à la fin des travaux
- Installer une signalisation claire sur les chantiers et les voies d'accès pour assurer la sécurité des personnes et des biens



Figure XII.1: Construction des murs anti bruis.

XII.4.6. Mesures en faveur de la faune :

Les mesures de réduction de l'impact qui seront mises en œuvre sont les suivantes :

- Minimisation de la mortalité : Des clôtures seront installées pour prévenir les collisions avec la faune, ce qui constitue l'une des approches les plus courantes. Cependant, il convient de noter que les clôtures peuvent également créer un effet de barrière.
- Minimisation de l'effet barrière : En complément des clôtures, des passages à faune supérieurs ou inférieurs seront mis en place. Ces passages offrent aux animaux la possibilité d'éviter la route tout en préservant leurs déplacements et leurs migrations. Les passages hydrauliques, en particulier, constituent une solution efficace pour réduire l'effet de fragmentation causé par l'infrastructure de transport.

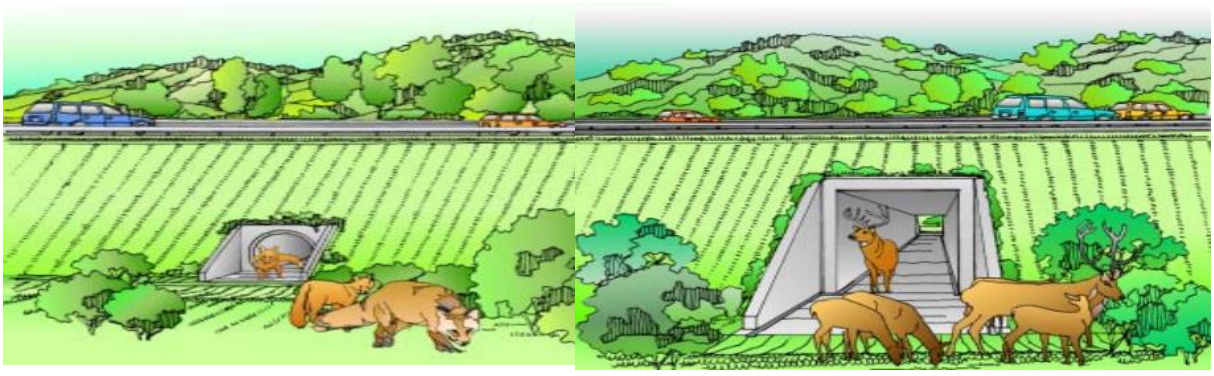


Figure XII.2 : Ouvrage inferieure pour passage d'animaux sauvages.

CHAPIRE XIII
DEVIS QUANTITATIF ESTEMATIF

XIII.1 Devis Quantitatif et Estimatif

N°	DESIGNATION	Unité	Quantité	Prix Unitaire (DA)	Montant (DA)
1	**Logistique de chantier**				
1.1	Installation du chantier	Forfait	/	3% (2+3+4)	105.684.434,2
TOTALE PARTIEL 1					**105.684.434,2**
2	**Travaux de préparation**				
2.1	Préparation du terrain	m^2	390000	1200	468.000.000
TOTALE PARTIEL 2					**468.000.000**
3	**Terrassements**				
3.1	Volume de décapage sur une épaisseur de 0.25 m	m³	14423	150	2.163.450
3.2	Volume des déblais	m³	1034914	1000	1.034.914.000
3.3	Volume des remblais	m³	1309599	1200	1.571.518.800
TOTALE PARTIEL 3					**2.608.596.250**
4	**Corps de chaussée**				
4.1	Couche de roulement (BB 2,4t/ m³)	T	44192,88	8500	375.639.480
4.2	Couche de base (GB 2.3t/ m³)	T	79131,04	8500	672.613.840
4.3	Couche de fondation (GB 2.3 t/ m³)	T	82055,72	8500	697.473.620
4.4	Matériau pour berme (TERRE VEGETALE)	m³	2321,1	600	1.392.660
4.5	Couche de forme (60cm TUF)	m³	195297,8	2500	488.244.500
4.6	Couche d'accrochage 0.3 kg/m^2)	T	9600	150	1.440.000
4.7	Couche d'imprégnation 1,5 kg/ m^2)	T	48000	150	7.200.000
TOTALE PARTIEL 4					**2.244.004.100**
5	**Assainissements**				
5.1	Fossés trapézoïdaux en béton 0,5 0,5 e=10cm	ml	6227,748	6500	40.480.362
5.2	Dalots en béton armé (2x2)	m³	460,8	50000	23.040.000

5.3	Dalots en béton armé (3x2)	m³	576	50000	28.800.000
5.3	Dalots en béton armé (2,5x2)	m³	961,32	50000	48.066.000
Totale partiel 5					**140.386.362**
6	**Ouvrage d'arts**				
6.1	Ponts à poutre en BP (11 travées + une travée)	m^2	11967,36	250000	2.991.840.000
6.2	Échangeur	/			80.000.000
TOTALE PARTIEL 6					**3.071.840.000**
7	**Signalisation et équipements**				
7.1	Ligne continue	ml	20000	250	5.000.000
7.2	Ligne discontinue(T1)	ml	40000	250	10.000.000
7.3	Ligne discontinue(T'3)	ml	20000	250	5.000.000
7.4	Panneau type A	U	21	8000	168.000
7.5	Panneau type E	U	4	8000	32.000
7.6	Pose de séparateur en béton	ml	10000	6500	65.000.000
TOTALE PARTIEL 7					**85.200.000**
8	**Environnement et paysage**				
8.1	Impact sur l'environnement	Forfait		3% (2+3+4)	1.585.266.513
TOTALE PARTIEL 8					**1.585.266.513**
9	**Contrôle (Bureau d'Etudes et Laboratoire)**				
9.1	Contrôle	Forfait		2% (2+3+4)	1056844342
TOTALE PARTIEL 9					**1.056.844.342**
	Sous-Total HT :			**11.244.352.532,00**	
	Sous-Total TVA (19%) :			**2.136.426.981,00**	
	Sous-Total TTC :			**13.380.779.513,00**	

Le montant total de notre projet est de :

Treize milliards trois cent quatre-vingt millions sept cent soixante-dix-neuf mille cinq cent treize Dinars Algériens.

Conclusion générale

Le plus grand projet de l'histoire des travaux publics algériens, l'Autoroute Est-Ouest, qui fait partie de la grande autoroute du Nord de l'Afrique, connue également sous le nom de Maghreb arabe, vise plusieurs objectifs. La section que nous avons étudiée permettra de finaliser ce méga-projet et de le présenter enfin au monde après plusieurs années depuis son début. Le principal objectif de ce projet est de relier toutes les régions et wilayas du nord de l'Algérie, de faciliter le transport pour les citoyens, de favoriser les échanges commerciaux, de créer une ligne de communication, de soulager les routes intérieures.

Présentent ce travail, j'ai exposé les différentes étapes de construction d'une autoroute conformément aux guides et normes algériens, tels que le Guide des terrassements routiers **(GTR - fascicules 1 et 2**), le Catalogue algérien de dimensionnement des chaussées neuves (**CTTP**) et **l'ICTAAL**. J'ai également utilisé des logiciels de calcul essentiels dans le domaine de la construction routière, à savoir **Alizée LCPC**, **Geostudio**, **Global Mapper** et **Covadis AUTOPISTE**.

L'étude repose sur la géométrie de la route. À travers les profils en long et en travers, ainsi que la conception en plan, qui doit équilibrer les exigences de visibilité et les contraintes spécifiques du projet, j'ai pu :

- Identifier et sélectionner la forme et l'apparence de notre autoroute.
- Mettre en évidence les largeurs des voies, des accotements, des fossés et de l'emprise.
- Limiter les pentes des talus pour assurer la stabilité, les pentes transversales de la chaussée et des accotements pour faciliter l'écoulement des eaux.

À partir de l'étude géotechnique, j'ai classifié le sol de support de la chaussée comme étant un sol de faibles caractéristiques mécaniques de classe S4. Cela justifie l'utilisation et l'ajout d'une couche de forme en TUF de 60 cm, qui sera mise en place en deux couches et offrira une meilleure portance au sol. Ainsi, la chaussée finale se compose de :

- Une couche de roulement de 6 cm en béton bitumineux (BB).
- Une couche de base de 11 cm en grave-bitume (GB).
- Une couche de fondation de 12 cm en grave-bitume (GB).
- Une couche de forme de 60 cm en TUF.

En ce qui concerne les travaux d'assainissement et les équipements du projet, j'ai proposé différentes méthodes pour assurer une bonne évacuation des eaux, ainsi que le confort et la sécurité des futurs utilisateurs.

En fin, il est indéniable que ce projet a été une expérience enrichissante qui a contribué à compléter notre formation en abordant de nombreux aspects du domaine des travaux publics, que tout bon ingénieur se doit de maîtriser. Il est essentiel de reconnaître que le projet de l'autoroute Est-Ouest, considéré comme le projet du siècle dans notre pays, présente des avantages non seulement sur le plan économique et social, mais aussi sur le plan de la formation technique des futurs ingénieurs au sein de l'ENSTP.

Bibliographie

Documents et guides :

[1] L'ICTAAL 2000.

[2] ICTAAL ECHANGEUR.

[3] B40 : Normes techniques d'aménagement des routes octobre 1977.

[4] Ministère des travaux publics, Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves : CTTP, 2001.

[5] " Assainissement Routier" – Guide technique. SETRA (octobre 2006).

[6] Signalisation routière arrêté et instruction interministériels du 15 Juillet 1974.

[7] GTR (Guide des Terrassement Routiers, Réalisation des remblais et des couches deformes LCPC, SETRA ,1992) Norme NF-P 11-300.

[8] MANUEL DE PROJET DE ROUTES. Kalli F.Z- Goumettre Ahmed. Edition OPU.

[9] Normes - NF EN ISO CEI NEW

Cours :

[1]. Cours de dimensionnement des chaussées ENSTP 2ème année (DIB) (Mme Z.Derriche).

[2]. Cours de géotechnique routière 4eme année ENSTP de (Mr Hammadi Kamel).

[3]. Cours de géotechnique routière 4eme année ENSTP DIB (Mme Z.Derriche).

[4]. Cours d'hydraulique appliquée ENSTP 4eme année de (Mr.Lefkir).

[5] Cours routes (Mr. Mahrez)

Autres :

[1]. Aide-mémoire Routes.

[2]. Site Internet « www.ada.dz ».

[3]. Site internet www.GCAlgerie.com.

[4]. Site internet www.memoireonline.com.

[5]. Site internet www.techniques-ingenieur.fr

[6]. Site internet www.4geniecivil.com.

[7]. Site internet www.researchgate.net.

[8]. Site internet www.calameo.com (centrecalcul_enstp).

[9]. Site internet www.aps.dz

[10]. Site internet www.wikipedia.com

ANNEXE

Tracé en plan :

Application sur le projet :

- **Les points de l'axe en plan :**

Sommets	X(m)	Y(m)	R(m)	Vb(km/h)
A(x,y)	388155,012	4057892,29	**1332.00**	**120**
B(x,y)	390292,765	4058212,77		
C(x,y)	391029,017	4058745,35		
D(x,y)	391122,596	4058847,2		

On a R = 1332m < 1.5Rnd donc le calcul se fait pour un rayon avec Clothoïde

- **Calcul des gisements :**

Le gisement d'une direction est l'angle fait par cette direction avec le nord géographique dans le sens des aiguilles d'une montre.

$|\Delta X_{AB}| = |X_B - X_A| = 2137.75\text{m}$

$|\Delta Y_{AB}| = |Y_B - Y_A| = 320.48\text{m}$

$G_A^B = arctg(\left|\frac{\Delta X_{AB}}{\Delta Y_{AB}}\right|) = 90.5266grd$

$|\Delta X_{AD}| = |X_D - X_A| = 2967.58\text{m}$

$|\Delta Y_{AD}| = |Y_D - Y_A| = 954.91\text{m}$

$G_A^D = arctg(\left|\frac{\Delta X_{AD}}{\Delta Y_{AD}}\right|) = 80.61grd$

$|\Delta X_{CD}| = |X_D - X_C| = 93.57\text{ m}$

$|\Delta Y_{CD}| = |Y_D - Y_C| = 101.85\text{m}$

$G_C^D = 400 - arctg\left(\left|\frac{\Delta X_{CD}}{\Delta Y_{CD}}\right|\right) = 47.30grd$

$\alpha_1 = |G_A^B - G_A^D| = 9.91\text{ grd}$

$\alpha_2 = |G_C^D - G_A^B| = 33.31\text{ grd}$

$\alpha_3 = 200 - (\alpha_1 + \alpha_2) = 156.78\text{ grd}$

$\gamma = 200 - \alpha_3 = 43.22\text{ grd}$

- **Calcul des distances :**

$D_A^D = \sqrt{\Delta X_{AD}{}^2 + \Delta Y_{AD}{}^2} = 3117.4323\ m$

$$D_A^S = \frac{\sin(\alpha_2)}{\sin(\alpha_3)} \times D_A^D = 2344m$$

- **Calcul du point Sommet** :

$$\beta = arctg\left|\frac{\Delta X_{AB}}{\Delta Y_{AB}}\right| = 90.5266$$

$$X_S = X_A + D_A^S \times \sin(\beta) = 390473.1074m$$

$$Y_S = Y_A + D_A^S \times \cos(\beta) = 4074675.5267m$$

- **Calcul de longueur de raccordement progressif :**

$$Ls \geq \text{MAX}(L1 ; L2)$$

Tq : $L1 = 14|\Delta\delta| = 14|\delta_1 - \delta_0|$ et $L2 = \frac{R}{9}$

Avec : δ_0 : Représente la pente transversale initiale$\Longrightarrow$ δ0 = −2.5%

δ_1: Représente le dévers de la courbe$\Longrightarrow$ δ1 = 2.5%

$$Ls \geq \max\left(14 \times |2.5 + 2.5|; \frac{1332}{9}\right) = 148m$$

Le paramètre $A = \sqrt{Ls \times R} = 444$

$\frac{R}{9} \leq A \leq R \Longrightarrow$ Donc : 148≤ 444 ≤1332 m (vérifié).

- **Calcul de la corde SL :**

$$\boldsymbol{SL} = \sqrt{\boldsymbol{X_{KE}}^2 + \boldsymbol{Y_{KE}}^2}$$

Avec : $\boldsymbol{X_{KE}}$; La longueur de clothoïde, L = 148 m

$\boldsymbol{Y_{KE}}$; La hauteur par rapport à l'axe, $\frac{L^2}{6R} = \frac{148^2}{6\times1332} = 2.74$

$$SL = \sqrt{148^2 + 2.74^2} = 148.025m$$

- **Calcul les longueurs :**

$$\tau = arctg\left(\frac{L}{2R}\right) = 3.5331grd$$

$$\alpha = \gamma - 2\tau = 36.15\ grd$$

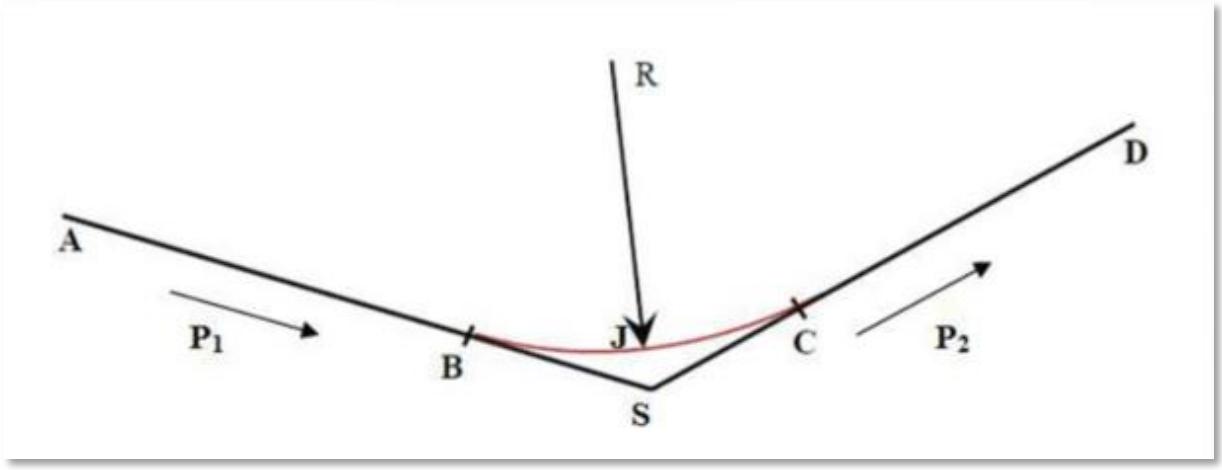
La longueur de clothoïde est $L = \frac{A^2}{R} = \frac{444^2}{1332} = 148$

La longueur de la courbe en Rayon est : b = π × R × $\frac{\alpha}{200}$ =756.3667m

- **Vérification du calcul effectué :**

Les résultats de calcul automatique à l'aide de logiciel **Autopiste** d'axe sont joints en annexe

Profil en long :



Application sur le projet :

- **Les point du profile en long Tableau :**

Tableau IV.2 : Les donnes de l'axe à calculer :

Sommets	X(m)	Z(m)	Pente (%)	Rayon (m)
A	5961.534	68.919	-2.704	8000
D	8221.284	83.273	1.702	

1- Calcul les coordonnées du sommet des déclivités :

$L = X_D - X_A = 2259.75\ m$

$Z_{A'} = Z_D - |L \times P_2| = 44.812\ m$

$Z_{D'} = Z_A - |L \times P_1| = 7.815\ m$

$M = Z_A - Z_{A'} = 24.107$ m

$N = Z_D - Z_{D'} = 75.458$ m

$X'_S = \dfrac{L \times M}{m + N} = 545.494\ m$

$X_S = X_A + X'_S = 6507.028\ m$

$Z_S = Z_A - |X'_S \times P_1| = 54.169\ m$

2- Calcul des tangentes :

$T = \frac{R}{2} \times (|P_1| + |P_2|) = 176.24\ m$

3- Calcul de la flèche BX :

$B_X = \dfrac{T^2}{2 \times \mathrm{R}} = 1.941\ m$

4- Calcul des coordonnées des points de tangentes :

Le point B :

$$\begin{cases} X_B = X_S - T = 6330.788\ m \\ Z_B = Z_S + |T \times P_1| = 58.93\ m \end{cases}$$

Le point C :

$$\begin{cases} X_C = X_S + T = 6683.268 \\ Z_C = Z_S + |T \times P_2| = 57.169\ m \end{cases}$$

5- Calcul de la longueur de raccordement :

$L = 2 \times T = 352.48$ m

6- Calcul des cordonnées du point J :

$$X_{J/A} = R \times P_1 = 216.32m$$

$$Z_{J/A} = X_{J/A} \times P_1 - \frac{{X_{J/A}}^2}{2 \times R} = 2.925\ m$$

$$X_J = X_{J/A} + X_B = 6547108\ m$$

$$Z_J = Z_B - Z_{\frac{J}{A}} = 56.005\ m$$

- Vérification :

$$X_{J/A} = R \times P_1 = 216.32m$$

$$X_{J/d} = R \times P_2 = 136.16m$$

$$L = 2 \times T = 352.48m = X_{J/A} + X_{J/d}$$

7- Calcul automatique :

Les résultats de calcul automatique sont joints dans l'annexe calculée par logiciel AUTOPIST.

Listings de la géométrie de l’axe en plan

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	87.96gr	1215.840	0.000	385642.927	4057550.927
Arc 1	Rayon	-2200.000 m	265.073	1215.840	386837.093	4057779.479
	Centre X	387250.647 m				
	Centre Y	4055618.698 m				
Droite 2	Gisement	95.63gr	874.734	1480.913	387099.809	4057813.522
Arc 2	Rayon	2700.000 m	183.527	2355.648	387972.485	4057873.495
	Centre X	387787.366 m				
	Centre Y	4060567.142 m				
Droite 3	Gisement	91.30gr	1861.058	2539.175	388155.012	4057892.289
Clothoïde 1	Paramètre	444.000	148.000	4400.233	389998.737	4058145.700
Arc 3	Rayon	1332.000 m	772.534	4548.233	390144.940	4058168.561
	Centre X	389890.575 m				
	Centre Y	4059476.048 m				
Clothoïde 2	Paramètre	-444.000	148.000	5320.767	390819.857	4058521.764
Droite 4	Gisement	47.31gr	296.514	5468.767	390921.979	4058628.859
Arc 4	Rayon	-2700.000 m	1036.982	5765.282	391122.596	4058847.201
	Centre X	393110.780 m				
	Centre Y	4057020.422 m				
Droite 5	Gisement	71.76gr	325.511	6802.263	391951.923	4059459.079
Arc 5	Rayon	-2700.000 m	803.001	7127.774	392245.927	4059598.790
	Centre X	393404.783 m				
	Centre Y	4057160.133 m				
Droite 6	Gisement	90.69gr	2158.562	7930.775	393011.432	4059831.326
				10089.337	395146.964	4060145.798
Longueur totale de l'axe 10089.337 mètre(s)						

Listing de la géométrie de profil en long

Elts Caractéristiques				Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente	0.50 %	1603.214	0.000	34.287
Parabole 1	Rayon	-20000.000 m	200.000	1603.214	42.303
	Sommet Absc.	1703.214 m			
	Sommet Alt.	42.553 m			
Pente 2	Pente	-0.50 %	1355.490	1803.214	42.303
Pente 3	Pente	-0.50 %	1039.295	3158.704	35.526
Parabole 2	Rayon	10000.000 m	549.989	4197.999	30.329
	Sommet Absc.	4247.999 m			
	Sommet Alt.	30.204 m			
Pente 4	Pente	5.00 %	232.147	4747.988	42.704
Parabole 3	Rayon	-12500.000 m	819.222	4980.135	54.311
	Sommet Absc.	5605.121 m			
	Sommet Alt.	69.935 m			
Pente 5	Pente	-1.55 %	610.537	5799.356	68.426
Parabole 4	Rayon	14000.000 m	446.729	6409.894	58.939
	Sommet Absc.	6627.438 m			
	Sommet Alt.	57.249 m			
Pente 6	Pente	1.64 %	1342.891	6856.623	59.125
Parabole 5	Rayon	-20000.000 m	440.972	8199.514	81.108
	Sommet Absc.	8526.922 m			
	Sommet Alt.	83.788 m			
Pente 7	Pente	-0.57 %	1448.851	8640.486	83.466
				10089.337	75.239
Longueur totale de l'axe 10089.337 mètre(s)					
Longueur développée totale de l'axe 10090.466 mètre(s)					

Cubatures récapitulatives

Matériau	Remblais	Déblais	Couche de roulement	Couche de base	Couche de fondation	Couche de forme	Matériau en berme	Volume de décapage
Volume (m^3)	1309599	1034914	18413,7	34404,8	35676,4	195297,8	2321,1	14423