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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de base

Thème

Etude en APD d'un contournement ferroviaire à double voie Tébessa-Tenoukla du PK 0+000 au PK 22+000 avec la conception d'une gare de dépassement Tenoukla

Présenté par :

NABED Kawther

AMROUCHE Fadoua

Encadré par :

Mr. GOUMETTRE Ahmed

Mr. HAMMADI Kamel

Promotion 2023 / 2024

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

ملخص

يتناول هذا الملخص دراسة تفصيلية لمشروع أولي لإنشاء خط سكة حديد مزدوج الالتفاف بين تبسة وتنوكلة من الكيلومتر0+000 إلى الكيلومتر 22+000 مع تصميم محطة تقاطع في تنوكلة

وبناءً على توصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك (UIC) ,تم إجراء هذه الدراسة وفقًا لمعايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية الحديدية الجزائرية ،(SNTF) باستخدام البرامج التالية : CIVIL 3D، InfraWorks، Geo5.0، SUFER, Google Earth, ArcGIS

Résumé

Le présent mémoire porte sur une étude avant-projet détaillée (APD) d'un contournement ferroviaire à double voie Tébessa-Tenoukla du PK 0+000 au PK 22+000 avec la conception d'une gare de croisement à Tenoukla.

Cette étude a été réalisée conformément aux normes de l'Union internationale des chemins de fer (UIC) et sur la base des recommandations de la Société nationale des transports ferroviaires algérienne (SNTF), en utilisant les logiciels suivants : CIVIL 3D, InfraWorks, Geo5.0, SUFER, Google Earth, ArcGIS.

SUMMARY

This report focuses on a detailed preliminary study (APD) of a double-track railway bypass from Tébessa to Tenoukla, from PK 0+000 to PK 22+000, with the design of a crossing station in Tenoukla.

This study was conducted in accordance with the standards of the International Union of Railways (UIC) and based on the recommendations of the Algerian National Railway Transport Company (SNTF), using the following software : CIVIL 3D, InfraWorks, Geo5.0, Slide, SUFER, Google Earth, ArcGIS.

Remercîment

D'abord, nous exprimons notre gratitude envers Dieu pour le courage et la détermination qu'il nous a accordés pour achever ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Nous tenons à remercier toute l'équipe de **l'ENSTP** pour leur soutien inestimable. Nos remerciements particuliers vont à Mme **MEKIDECHE** pour son leadership et son appui continu, ainsi qu'à **Mr F. FEDGHOUCHE** et **Mme Y. MAHIAOUI** pour leurs efforts. Nous exprimons également notre gratitude à l'administration du département infrastructures de base : **Mme I. MAKOUDI**, **Mme M. BOUREBIA et Mme S. LOUNES** pour leur dévouement et leurs précieux conseils. Leur contribution a été essentielle à la réussite de notre projet.

Ainsi, nous remercions nos encadrants, **Mr A. GOUMETTRE** et **Mr. K. HAMMADI Kamel**, pour leur aide précieuse et leur suivi minutieux, ainsi que tous nos professeurs pour leur dévouement, leurs remarques, leurs conseils, leurs réponses et leurs instructions tout au long de notre parcours d'études à l'école. Également nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à **Mr R. MORSLI** pour son soutien précieux, ses remarques éclairées et son encouragement indéfectible.

Nous remercions les professionnels de l'industrie ferroviaire pour avoir généreusement partagé leur expérience, contribuant ainsi à l'élaboration de ce projet. Nous exprimons notre gratitude particulière au personnel **d'INFRAFER**, notamment **M. SAADAOUI**, **M. MEZIANE**, **Mme KAHINA** et **Mr. OUSSAMA**, pour leur encadrement, leur assistance durant toute la période de stage, ainsi que pour leur soutien et leur participation aux entretiens et discussions techniques. Leurs informations et idées précieuses ont enrichi ce mémoire, et sans oublier **Mr M. BENOMRANE** pour son aide avec le logiciel Civil 3D.

Nous souhaitons également remercier sincèrement le personnel de **l'EAURL BATHY TP** pour leur accueil chaleureux et leur soutien précieux durant le stage, en particulier **Mr. R. BOUTICHE**, **Mme N. AMMAR**, **M. H. BOUNAHLA** et **Mme B. Chichi.**

Nous remercions l'équipe de **COSIDER** et **SETIRAIL** pour leurs efforts et le temps qu'ils ont consacré à partager leur expérience professionnelle.

Nous exprimons notre gratitude envers les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre modeste travail.

Dédicace

« Je dédie ce travail à mes chers parents, qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de mes années d'études.

À mes sœurs, Asma et Cherifa, ainsi qu'à mon frère et à ma tante, Harichan Zamila, pour leur aide précieuse pendant cette période. »

NABED Kawther

« À mes parents, je suis profondément reconnaissant pour leur amour inconditionnel et leur soutien inébranlable et les prières, qui dépasse tout ce que les mots peuvent décrire.

Chers frère et sœurs, La présence que vous apportez dans ma vie me remplissent d'une grande joie.

À ma grande mère, même si tu n'es plus parmi nous, tu resteras à jamais profondément dans mon cœur.

À mes deux amies fidèles depuis le lycée, votre loyauté et votre soutien indéfectible sont inestimables.

Et à toutes les personnes qui me sont très chères, votre affection et votre présence ont enrichi ma vie de façons incommensurables. Je suis tellement reconnaissante de vous avoir dans ma vie.

À moi-même, je suis reconnaissant pour ma confiance en moi et mon travail acharné durant mes études pour devenir ingénieur.

Merci. »

AMROUCHE Fadoua

Abréviations

A.P.D : Avant-Projet Détaillé.

A.P.S : Avant-Projet Sommaire.

ADV : Appareil De Voie.

ANESRIF : Agence Nationale d'Études et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires**.**

BV : Bassin versant.

CC : Chemin Communal.

ERTMS : Européen Railways Traffic Management System.

GF : Garage Franc

IDF : Intensité - Durée − Fréquence.

Lu : Longueur Utile.

NPHE : Niveau des Plus Haut Eaux.

ONM : Office National de la Météorologie.

PK : Point kilométrique.

PU : Puit de reconnaissance.

Qps : Débit pleine section.

RN : Route Nationale.

RPOA : Règlement Parasismique des Ouvrages d'Art.

SC : Sondage Carotté.

SNTF : Société Nationale des Transports Ferroviaires.

SP : Sondage pressiométrique.

SPT : Essai de Pénétration Standard.

UIC : Union Internationale des Chemins de fer.

VBS : Essai bleu de méthylène.

Vmar : Vitesse marchandise

Vps : Vtesse pleine section.

Vvoy : Vitesse voyageur

Table de matière

INTRODUCTION GÉNÉRALE ……....1

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS

I.1. Le transport ferroviaire 2
I.2. Composante de la voie ferrée 2
I.3. Les traverses et le ballast 2
I.4. La Longueur des rails 3
I.5. Les appareils de la voie 3

CHAPITRE II : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction 4
II.1. Remblai ferroviaire sur sol compressible 4
II.2. Maîtrise des risques ferroviaires liés aux défis des sols compressibles 6
II.3. Conclusion 7

CHAPITRE III : PRÉSENTATION DU PROJET

Introduction 8
III.1. La ligne minière Est 8
III.2. Présentation générale de la zone d'étude 8
III.2.1. Sismicité 9
III.2.2. Climat 10
III.2.3. Relief 10
III.3. Présentation du projet étudié 11
III.3.1. Objectifs du projet 11
III.4. Les paramètres de conceptions du tronçon Tébessa-Tenoukla 11
III.5. Conclusion 12

CHAPITRE IV : SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE APS

Introduction 13
IV.1. Description du tronçon Tébessa-Tenoukla 13
IV.2. Résumé de l'étude APS 13
IV.3. Comparaison des variantes 14
IV.4. L'objectif de contournement Tébessa-Tenoukla 15

CHAPITRE V : ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE

Introduction 16
V.1. Tracé en plan 16
V.1.1. Conditions à respecter dans le tracé en plan 16
V.1.2. Les éléments du tracé en plan 17

V.1.3. Paramètres géométriques de la voie 17
V.1.4. Application sur le projet 18
V.2. Profil en long 21
V.2.1. Les éléments du profil en long 22
V.2.1.1. Les alignements droits 22
V.2.1.2. Les cercles 22
V.2.2. Coordination entre le profil en long et le tracé en plan 23
V.2.3. Application sur le projet 23
V.3. Conclusion 24

CHAPITRE VI : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

Introduction 25
VI.1. Etude hydrologique 25
VI.1.1. Caractéristiques climatiques 25
VI.1.1.1. Climat 25
VI.1.1.2. Température 26
VI.1.1.3. Les précipitations 26
VI.1.1.4. Humidité (les zones bioclimatiques) 29
VI.1.2. Caractéristiques des bassins versants 30
VI.1.2.1. Délimitation du bassin versant 31
VI.1.3. Calcul des débits maximaux (Les crues) 34
VI.2. Étude hydraulique 37
VI.2.1. Méthode de Manning-Strickler : 37
VI.2.2. Dimensionnement des ouvrages transversaux : 37
VI.2.2.1. Les buses : 38
VI.2.2.2. Les dalots 39
VI.2.3. Dimensionnement des ouvrages longitudinaux (Les fossés) : 42
VI.3. Conclusion : 44

CHAPITRE VII : ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

Introduction 45
VII.1. Étude géologique 45
VII.1.1. Aspect tectonique de la zone d'étude 45
VII.1.2. Aperçue géologique local 46
VII.1.3. Hydrogéologie le long du tracé : 46
VII.2. Etude géotechnique 46
VII.2.1. Contenu de la campagne d'investigation géotechnique 46
VII.2.1.1. Reconnaissance in- situ 46
VII.2.1.2. Reconnaissance au laboratoire 47
VII.2.2. Lithologie de la zone d'étude 48
VII.2.3. Synthèse des résultats géotechniques 48
VII.2.3.1. Interprétation des résultats 51
VII.2.4. Localisation des zones à risques 51
VII.2.4.1. Zone inondable 51
VII.2.4.2. Zone humide 51

VII.2.4.3. Agressivité du sol 51
VII.2.4.4. Sol de faible portance QS0 52
VII.2.5. Gites d'emprunts et carrières : 52
VII.2.6. Vérification de stabilité des talus vis-à-vis le glissement 53
VII.2.6.1. Cas déblai 53
VII.2.6.2. Cas remblai 55
VII.3. Conclusion 55

CHAPITRE VIII : ASSISE FERROVIAIRE

Introduction : 56
VIII.1. Différentes couches d'assises : 56
VIII.1.1. Le ballast : 56
VIII.1.2. Sous couche : 57
VIII.1.3. Couche anti-contaminante : 58
VIII.1.4. La plate-forme : 58
VIII.2. Classification des sols pour la plate-forme : 58
VIII.3. Partie Supérieure de Terrassement (PST) / Arase Terrassement (AR) 58
VIII.4. La classe de portance de la plateforme : 59
VIII.5. Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise : 60
VIII.6. Application au projet : 60
VIII.7. Conclusion : 60

CHAPITRE IX : PROFIL EN TRAVERS

Introduction 61
IX.1. Les éléments du profil en travers : 61
IX.1.1. Les éléments de superstructure 61
IX.1.2. Les éléments de l'infrastructure : 61
IX.1.3. Les éléments du talus : 61
IX.1.4. Les éléments d'assainissement : 61
IX.2. Profil en travers de notre projet d'étude : 61
IX.3. Calcul des cubatures : 62
IX.4. Conclusion : 62

CHAPITRE X : TERRASSEMENT ET OUVRAGES

Introduction 63
X.1. Les terrassements 63
X.1.1. Objectifs et enjeux des terrassements 63
X.1.2. Pente des talus en déblai et en remblai 64
X.1.3. Les bermes 64
X.1.4. Protection des talus 64
X.1.5. Structure des remblais 65
X.1.5.1. Remblai en zone inondable 65
X.1.5.2. Remblai en zone humide 65
X.1.6. Le compactage 65
X.1.7. Réutilisation des matériaux excavés : 65

X.2. Les ouvrages 66
X.2.1. Influence sur le choix des ouvrages : 66
X.2.2. Le croisement route-rail : 66
X.2.3. Les ouvrages d'art du projet 67
X.2.3.1. Rétablissement routier 67
X.2.3.2. Protection des conduites de gaz : 67
X.2.3.3. Lignes électriques de moyenne et basse tension 67
X.3. Conclusion 68

CHAPITRE XI : CONCEPTION DE LA GARE

Introduction 69
XI.1. Type de gare : 69
XI.2. Le plan de masse d'une gare 69
XI.3. Conditions de conception de la gare de croisement : 70
XI.4. Détails sur la gare de croisement Tenoukla 70
XI.5. Caractéristiques de la gare de croisement 70
XI.5.1. Déclivité : 70
XI.5.2. Appareil de voie 70
XI.5.3. Garage franc 71
XI.5.4. La longueur utile 71
XI.5.5. Les heurtoirs 72
XI.6. L'assainissement longitudinale de la gare 72
XI.7. Schéma de la gare 72
XI.8. Conclusion 72

CHAPITRE XII : SIGNALISATION FERROVIAIRE

Introduction : 73
XII.1. Le rôle des installations de signalisation 73
XII.2. Les risques ferroviaires 73
XII.3. Fonction des signaux 74
XII.4. Implantation longitudinale : 74
XII.5. Les signaux ferroviaires 75
XII.6. Principe de base de cantonnement 76
XII.7. Les types de blocs 76
XII.8. Le système de signalisation moderne ERTMS : 76
XII.9. Application sur notre projet 77
XII.10. Conclusion 77

CHAPITRE XIII : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Introduction 78
XIII.1. Cadre Législatif et Réglementaire 78
XIII.2. Description du Site : 79
XIII.3. Analyse de l'état initial de la zone du projet 79
XIII.3.1. Situation géographique et administrative de la wilaya de Tébessa 79
XIII.4. Ressources physiques biologiques et humaines de la région d'étude 79

XIII.5. L’impact du projet 80
XIII.5.1. Les impacts positifs : 80
XIII.5.2. Les impacts négatifs et les solutions d'atténuation envisagées 81
XIII.6. Influence de l'environnement sur la réalisation du projet 83
XIII.7. Conclusion 83

CHAPITRE XIV : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

CHAPITRE XV : PLANIFICATION DU PROJET

Introduction 86
XV.1. Objectifs de la planification 86
XV.2. Le diagramme de gantt : 86
XV.3. Résumé de notre projet 87
XV.4. Conclusion 87

CONCLUSION GÉNÉRALE 88

Liste des figures

Figure II.1 : Mécanisme de rupture des remblais dur dols compressibles 5
Figure II.2: Schéma du tassement et du déplacement latéral du sol de fondation 5
Figure II.3 : La géotextile et la géogrille dans la voie ferrée 6
Figure II.4 : Substitution sous un remblai 7
Figure II.5 : Traitement-du-sol-par-colonne-ballastées et par préchargement 7
Figure III.1: Ligne minière Est 8
Figure III.2 : Limites administratives des wilayas entourant la wilaya de Tébessa (ArcGIS) 9
Figure III.3 : Limites des communes traversées par le projet de la ligne minière, tronçon Tébessa- Tenoukla (ArcGIS) 9
Figure III.4 : Carte zonage sismique de l'Algérie 9
Figure III.5 : Carte des pentes et des altitudes (ArcGIS) 10
Figure III.6 : Vue 3D du tracé en utilisant le logiciel SURFER ver 23.2 10
Figure III.7 : Photo illustrative du projet Tébessa-Tenoukla sur Google Earth 11
Figure IV.1 : Localisation de la zone d'étude sur Google Earth 13
Figure IV.2 : Tracé neuf - section Tébessa-Tenoukla : Variante 03 Bis + Variante04 14
Figure V.1 : Les éléments du tracé en plan 17
Figure VI.1: Classification du climat en Algérie (source : Agence National d'Aménagement du territoire) 25
Figure VI.2: Variation des températures moyennes mensuelles 26
Figure VI.3 : Variation des précipitations annuelle à la station de Tébessa (1997-2020) 27
Figure VI.4 : Variation des précipitations moyennes mensuelles et saisonnières 27
Figure VI.5 : Courbe intensité - durée – Fréquence (IDF) 29
Figure VI.6 : Climagramme d'EMBERGER 1990-2004 30
Figure VI.7 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien 30
Figure VI.8 : Carte des sous bassins versants et leur réseau hydrographique traversés par la ligne Tébessa –Tenoukla 31
Figure VI.9 : La délimitation des bassins versants sur les cartes d'état-major (ArcGIS) 31
Figure VI.10 : Exemple de délimitation de deux bassins versants de notre tracé sur InfraWorks 32
Figure VI.11 : Ouvrage hydraulique (buse) 38
Figure VI.12 : Implantation des ouvrages hydrauliques dans notre trace 42
Figure VI.13 : Le faussée trapézoïdal type 01 42
Figure VII.1 : Esquisse tectonique de la zone d'étude (W.M. Kowalski et al. 1997) 45

Figure VII.2 : Tracé sur carte géologique de Tébessa 1/50 000..... 46
Figure VII.3 : Sondage carotté F03-CTT du 04+ 732 (0.00m -10.00m)..... 47
Figure VII.4 : Position du gite d'emprunt par rapport à notre tracé sur Google Earth..... 53
Figure VII.5 : Résultats de calcul de stabilité de talus à long terme..... 54
Figure VII.6 : Résultats de calcul de stabilité de talus en cas de séisme..... 54
Figure VII.7 : Résultats de stabilité du remblai à long terme..... 55
Figure X.1 : Illustration du passage supérieur N°04 sur Infraworks..... 68
Figure X.2 : Illustration des passages supérieurs N°01, N°02 et N°03 sur Infraworks..... 68
Figure XI.1 : Schéma illustratif d'un garage franc..... 71
Figure XI.2 : Schéma de la longueur utile..... 71
Figure XI.3 : Schéma de principe de la gare de croisement Tenoukla..... 72
Figure XII.1 : Le système de cantonnement..... 76
Figure XII.2 : Le système ERTMS..... 76
Figure XIII.1 : Le passage du projet par des terrains agricoles (Infraworks)..... 82
Figure XIII.2 : Le passage du projet proche de la montagne de Tenoukla (Infraworks)..... 83

Listes des tableaux

Tableau III.1 : Les paramètres de conceptions du tronçon Tébessa-Tenoukla 12
Tableau IV.1: Avantages et inconvénients des deux variantes 14
Tableau V.1 : Vitesse des trains adoptées pour le projet..... 17
Tableau V.2 : Les éléments du tracé en plan (SNTF) 17
Tableau V.3 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé 20
Tableau V.4 : Les contraintes le long du tracé 21
Tableau V.5 : Longueur minimale des déclivités (SNTF) 22
Tableau V.6 : Valeurs de Rayon vertical minimal (SNTF)..... 23
Tableau V.7 : Paramètres géométriques du profil en long du projet (SNTF) 23
Tableau VI.1 : Les températures moyennes mensuelles de Tébessa en C°..... 26
Tableau VI.2: Précipitations moyenne annuelle..... 26
Tableau VI.3 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de Tébessa 27
Tableau VI.4 : Les précipitations maximales journalières (Tébessa) 28
Tableau VI.5 : Valeur du paramètre de Montana 'a' pour les différentes périodes de retour ... 28
Tableau VI.6 : Valeur des intensités pour les différentes périodes de retour..... 29
Tableau VI.7 : Caractéristiques morphométriques des bassins versants traversant la ligne minière tronçon Tébessa-Tenoukla 33
Tableau VI.8 : Quelques formules utilisées dans le calcul du débit 34
Tableau VI.9 : Valeur de C1 34
Tableau VI.10 : Valeur de C2 35
Tableau VI.11 : Valeur de C3 35
Tableau VI.12 : Les débits maximaux centennaux des oueds..... 36
Tableau VI.13 : Dimensionnement des buses 40
Tableau VI.14 : Dimensionnement des dalots 41
Tableau VI.15 : Débit des remblai et déblais 43
Tableau VI.16 : Dimensions du faussé adopté type 01 44
Tableau VII.1 : Lithologie de la zone d'étude 48
Tableau VII.2 : Synthèse des résultats géotechniques sur les sondages carottés..... 49
Tableau VII.3 : Synthèse des résultats géotechniques sur les puits de reconnaissances..... 50
Tableau VII.4 : L'analyse chimique sur les échantillons prélevés intacts et remaniés..... 50
Tableau VII.5 : Sections de faible portance QS0 52
Tableau VII.6 : Gite d'emprunt proposé 52

Tableau VII.7 : Carrières proposées 52
Tableau VIII.1 : Résultats de calcul de stabilité du déblai avec une pente de 2H/1V 54
Tableau IX.1 : La classe la portance de la plate-forme (Normes UIC 719 R) 59
Tableau IX.2 : Dimensionnement de la couche d'assise 60
Tableau IX.3 : Structure de la voie du projet 60
Tableau X.1 : Les cubatures de terrassement et les couches d'assises 62
Tableau XI.1 : Liste des ouvrages d'art de notre projet 67
Tableau XI.2 : Liste des lignes électrique de moyenne et basse tension 67
Tableau XIII.1 : Les risques ferroviaires 73
Tableau XIII.2 : La signalisation du projet 75
Tableau XIV.1: Quelques références légales et réglementaires 78
Tableau XIV.2 : Situation administrative de la wilaya de Tébessa 79
Tableau XIV.3 : Ressources physiques biologiques et humaines de la zone d'étude 79
Tableau XIV.4 : Les impacts positifs directs et indirects du projet 81
Tableau XIV.5 : Identification des impacts négatifs du projet et les mesures d'atténuation proposées 81
Tableau XV.1 : Devis quantitatif et estimatif 84

INTRODUCTION GENERALE

Le réseau ferroviaire algérien constitue un élément essentiel de l'infrastructure de transport nationale. Depuis ses débuts sous l'administration coloniale française, ce réseau a progressivement évolué pour s'adapter aux exigences croissantes de déplacement des biens et des personnes à travers l'ensemble du pays. Son expansion et sa modernisation ont été influencées par une multitude de facteurs, notamment les caractéristiques géographiques, les dynamiques économiques et le développement des transports publics.

La modernisation et la rectification de la ligne minière reliant Annaba à Djebel El Onk représentent l'un des projets stratégiques majeurs pour la wilaya de Tébessa et toute la région Est du pays, Il est essentiel de moderniser le système d'exploitation afin d'augmenter le trafic et de répondre aux besoins des différentes mines et complexes industriels de la région. Ce mémoire porte sur l'étude d'avant-projet détaillé **(APD)** d'un contournement de la wilaya de Tébessa sur **22 km**, du **PK 00+000 m** au **PK 22+000 m**. Il prévoit également l'étude de conception d'une gare de croisement à Tenoukla.

La supervision de la réalisation de cette nouvelle ligne ferroviaire est confiée à l'Agence Nationale d'Étude et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (ANESRIF)

Ce travail se compose de 15 chapitres abordant :

Chapitre I et II : Présenter les fondements et les aspects essentiels du chemin de fer, en incluant une recherche bibliographique sur notre projet.

Chapitre III : présentation détaillée du projet, incluant la description de ses objectifs.

Chapitre IV : Résumé de l'étude APS.

Chapitre V et VI et VII : Ils permettent d'anticiper et de résoudre les défis techniques liés à la construction.

Chapitre VIII et IX : Après avoir évalué le couloir de tracé sous tous les aspects, nous procédons au dimensionnement de l'assise ferroviaire et à l'élaboration du profil en travers.

Chapitre X et XI : Terrassement et conception de la gare de croisement de Tenoukla.

Chapitre XII et XIII : Signalisation ferroviaire et l'étude impact sur l'environnement.

Chapitre XIV et XV : devis quantitatif et estimatif et planification sur le projet

Ce mémoire s'appuie sur l'utilisation de plusieurs logiciels spécialisés, notamment Civil 3D, InfraWorks, ArcGIS, Geo5, Slide et Surfer, pour traiter des données complexes avec une grande précision.

Nous concluons notre travail en soulignant les connaissances, les compétences et l'expérience acquises au cours de ce projet, qui seront précieuses au début de notre parcours professionnel.

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉ

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS

I.1. Le transport ferroviaire

Les voies ferrées ont révolutionné le transport terrestre reliant les villes, les régions et les nations depuis leurs débuts au 19ème siècle. Leur évolution continue reflète les progrès technologiques. Les besoins changeants de la société et les aspirations à une mobilité plus efficace et durable. Le transport ferroviaire présente de nombreux avantages dont les principaux sont :

- Le contact métal sur métal limite à une faible valeur la résistance au roulement ce qui permet la remorque des charges élevées avec une puissance et un personnel de bord souvent réduit à un homme. En contrepartie, ce contact métal sur métal augmente les distances de freinage.
- Le chemin de fer est un transport guidé qui n'offre aux véhicules qu'un seul degré de liberté en avant ou en arrière. Les changements de voie ne peuvent se faire qu'aux aiguillages, le dépassement est impossible. Ceci constitue une sécurité vis à vis des accidents.
- La circulation des wagons ne se fait pas isolément comme sur la route mais en convoi.
- Le débit d'une voie ferrée est supérieur à celui d'une autoroute à 4 voies.
- Le coût moyen du kilomètre d'une voie ferrée à deux voies est moins cher que celui d'une autoroute à deux fois deux voies dans les mêmes conditions.
- Il présente un faible degré de pollution.
- A égalité de kilomètres transportés, le chemin de fer consomme deux à trois fois moins de carburant à la tonne transportée qu'un camion lourd.

I.2. Composante de la voie ferrée

La voie ferrée réseau vital du transport ferroviaire revêt une importance capitale pour l'efficacité des échanges commerciaux et la mobilité des populations. Son aménagement et sa maintenance rigoureuse sont essentiels pour garantir la sécurité et la fluidité des trajets ferroviaires. Elle est constituée par deux parties distingues :

- La superstructure : la plateforme ; le sous ballast ; le ballast ; les traverses ; les rails et leurs accessoires.
- L’infrastructure : l’ouvrage en terre ; les ouvrages d'arts ; les galeries souterraines et les tranchés.

I.3. Les traverses et le ballast

Le rôle des traverses est de maintenir les rails à l'écartement normal et de répartir la charge que les rails reçoivent des essieux sur une étendue suffisante de ballast pour ne pas dépasser une certaine charge unitaire.

Envelopper les traverses par du ballast offre l'avantage de minimiser l'impact de l'exposition directe au soleil diminuant ainsi la dilatation thermique des rails et atténuant les contraintes exercées sur les rails de longueur étendue.

I.4. La Longueur des rails

Il y a un très grand intérêt à utiliser des rails de la plus grande longueur possible puisqu'ainsi on diminue le nombre de joints. Car les joints :

- Nuisent à la douceur du roulement.
- Fatiguent le matériel roulant.
- Constituent des points faibles dans la voie et des points coûteux à cause des organes de consolidation qu'ils nécessitent.

I.5. Les appareils de la voie

En dehors de la voie courante les nécessités de l'exploitation exigent que certaines voies se coupent et que d'autres puissent communiquer entre elles. Pour atteindre ces buts, on substitue à la voie courante des dispositifs connus sous le nom d'appareils de la voie. Ce sont les branchements et les traversées.

CHAPITRE II :
RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE II : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

La mise en place des lignes à grande vitesse implique la création de remblais érigés sur des terrains de compositions variées. Durant l'analyse géotechnique du segment du contournant de la ville de Tébessa jusqu'à Tenoukla des sols compressibles ont été repérés sous certaines zones de remblai. Notre étude s'est particulièrement intéressée aux risques associés aux remblais construits sur de tels sols lors de notre recherche bibliographique.

Introduction

Les infrastructures ferroviaires jouent un rôle primordial dans la connectivité et le développement des territoires en permettant la fluidité des déplacements des passagers et des biens. La promotion des échanges et la stimulation de la croissance économique. Pour cela, les projets ferroviaires peuvent parfois être contraints de traverser des terrains diversifiés. Chacun ayant ses propres propriétés géotechniques afin d'atteindre les objectifs du projet. Parmi ces terrains figurent les sols compressibles.

Les sols compressibles exercent un impact significatif sur les infrastructures ferroviaires engendrant chaque année une série de problèmes et de défis à résoudre tels que les mouvements inégaux du sol, les déformations de la voie, les affaissements généralisés et les problèmes d'assise des voies. Grâce à ses propriétés de subir des grandes déformations en fonction de la charge appliquée et du temps, la faible perméabilité et la résistance limitée qui croît en général avec la profondeur.

De ce fait, en matière de sécurisation et de fiabilisation des opérations ferroviaires une appréhension accrue de ce phénomène et une prévision proactive de ses répercussions sur l'infrastructure s'avèrent essentielles pour une démarche durable en matière de gestion de ce genre de risque.

II.1. Remblai ferroviaire sur sol compressible

La réalisation d'un remblai ferroviaire sur un sol compressible constitue un défi majeur dans l'ingénierie ferroviaire. Il est impératif de traiter efficacement ces sols avant leur utilisation faute de quoi d'autres matériaux devront être envisagés, ce qui engendre des coûts supplémentaires et des complications logistiques.

Cette section se concentrera sur les problématiques inhérentes à la construction de remblais ferroviaires sur des sols compressibles mettant en évidence les défis fondamentaux liés à la qualité de l'assise ferroviaire sur ce type de terrain.

❖ **Problème de stabilité :**

Les sols compressibles sont en général peu résistants. Lorsqu'ils sont rencontrés en surface, il peut se produire des ruptures. En général de type rotationnel « circulaire » ou bien par poinçonnement lors de l'édification du remblai

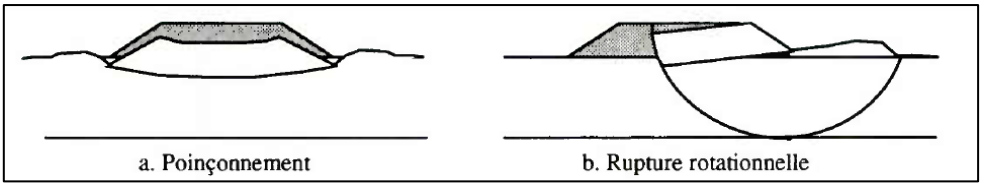


Figure II.1 : Mécanisme de rupture des remblais dur dols compressibles

❖ **Problème lié à l'écoulement des eaux :**

Les écoulements de crues peuvent éroder le pied du remblai qui doit alors être protégé. Ils nécessitent aussi souvent de prévoir des ouvertures à travers le remblai pour laisser passer l'eau. La déformation des sols compressibles sous le poids du remblai réduit d'autre part légèrement la perméabilité de ces sols ce qui peut influencer l'écoulement de l'eau dans la nappe.

❖ **Problème de tassement :**

Les sols compressibles se déforment verticalement (tassement) et horizontalement sous les remblais. Ces déformations ne sont pas instantanées. Elles commencent pendant la construction et peuvent durer pendant des mois voire des années ou des dizaines d'années suivant les propriétés des sols et l'épaisseur des couches. Les tassements ne sont pas uniformes à cause de la section trapézoïdale des remblais de leur épaisseur variable et de l'hétérogénéité des sols supports.



Figure II.2: Schéma du tassement et du déplacement latéral du sol de fondation

Aujourd'hui les projets ferroviaires doivent respecter certaines exigences essentielles pour garantir la sécurité le confort et une exploitation optimale des voies ferrées. Parmi eux celles qui sont définies par le référentiel technique de la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF). Ces exigences telles que définies par la SNTF englobent les aspects suivants :

- Les remblais sur sols compressibles subissent des tassements à la suite des charges notamment leur propre poids et celui des trains causant une consolidation du sol.
- Les tassements résiduels doivent être < 2 cm à la pose de la sous-couche et disparaître avant le nivellement final de la voie.
- Les tassements secondaires anticipés doivent rester sous un seuil annuel pour une maintenance normale de la voie : 4 mm/an pour 30 m et 10 mm/an pour 200 m ou plus.

- Le tassement excessif de la voie ferrée peut entraîner plusieurs conséquences néfastes notamment :

– Risque d'accidents : déraillement des trains et d'accidents graves.

– Dégradations des infrastructures : déformations au niveau des rails, des traverses et de la plateforme ce qui peut entraîner des réparations coûteuses et des perturbations dans le trafic ferroviaire.

– Réduction de la vitesse et du confort.

– Augmentation des coûts d'entretien.

II.2. Maîtrise des risques ferroviaires liés aux défis des sols compressibles

Les sols compressibles de moindre qualité ont longtemps été présents mais l'épuisement des sols de qualité supérieure pour l'expansion des infrastructures ferroviaires a accentué le besoin de trouver autres stratégies pour stabiliser ces terrains.

Afin de prévenir ces problèmes et d'atténuer leurs répercussions, des mesures préventives sont mises en place visant à anticiper et à maîtriser de manière proactive les risques géotechniques liés aux sols compressibles.

Pour ériger les structures souhaitées malgré ces défis, il est envisageable de renforcer ou d'améliorer les sols de l'infrastructure ou du remblai. Les stratégies mises en œuvre ont pour objectif d'augmenter la stabilité du remblai, d'accélérer le processus de consolidation et de réduire le tassement final. Parmi ces stratégies nous mentionnons les suivantes :

- ✓ Préchargement contrôlé pour accélérer la consolidation du sol avant le remblai.
- ✓ Injection de coulis ou colonnes ballastées pour renforcer le sol.
- ✓ L'intégration de géogrilles et de géotextiles dans la structure de la voie ferrée.
- ✓ L'utilisation de techniques de traitement du sol telles que le traitement chimique ou le mélange avec des liants.
- ✓ L'installation de systèmes de drainage efficace (drains horizontaux ou verticaux) le long des voies ferrées et l'imperméabilisation des talus.
- ✓ Surveillance géotechnique continue avec des capteurs pour détecter les mouvements du sol.
- ✓ La purge et la substitution des matériaux de qualités médiocres (les sols de faibles portances ou compressibles) lorsque la profondeur varie est de 2-3 m.



Figure II.3 : La géotextile et la géogrille dans la voie ferrée



Figure II.4 : Substitution sous un remblai

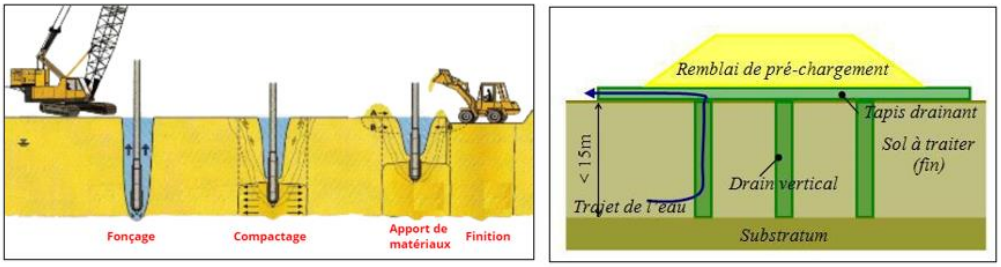


Figure II.5 : Traitement-du-sol-par-colonne-ballastées et par préchargement

II.3. Conclusion

En somme, il est essentiel que nous ayons une compréhension approfondie du type de sol sur lequel une ligne ferroviaire sera édifiée. Cette connaissance préalable nous donne la possibilité de choisir les techniques de construction les plus adaptées à la nature du sol. Une compréhension approfondie des propriétés du sol nous permet également de prévoir avec précision les tassements potentiels, ce qui garantit une planification plus efficace et une construction plus durable et sécurisée de la ligne ferroviaire.

Afin de construire des remblais sur sols compressibles, il est conseillé de mener des études géotechniques approfondies, d'utiliser des techniques de renforcement comme le préchargement et l'installation de drains verticaux, et de concevoir les remblais avec des fondations profondes et des pentes conformes. De plus, il est indispensable d'adopter une approche proactive dans la gestion des sols compressibles en incorporant des solutions novatrices de stabilisation et en surveillant constamment l'évolution des conditions du sol.

CHAPITRE III :
PRÉSENTATION DU PROJET

CHAPITRE III : PRÉSENTATION DU PROJET

Introduction

En 2020, la ligne ferroviaire minière de l'Est transportait environ 26 millions de tonnes de minerai de phosphate et dérivés ainsi que du minerai de fer.

Des travaux de dédoublement et de modernisation ont été entrepris pour répondre à l'augmentation du trafic et exploiter les gisements de phosphates de la région. La modernisation de la voie ferrée permettra d'améliorer la capacité de transport et d'optimiser l'exploitation des ressources naturelles.

III.1. La ligne minière Est

Elle constitue un lien vital entre les mines dans le sud-est du pays s'étirant depuis Annaba dans le nord jusqu'à la région de Djebel Onk dans le sud de la wilaya de Tébessa sur une longueur de 422 Km qui est en phase d'exploitation. Cette ligne traverse cinq wilayas abritant plus d'un million d'habitants.

Les travaux de modernisation et de dédoublement du tronçon reliant Djebel Onk à Oued Kebrit sur 177 Km devraient être achevés. Parallèlement, les chantiers pour relier Bled el Hedba sur 23 Km ainsi que le contournement de Tébessa sur 43 Km ont été lancés en même temps que les travaux de modernisation et de doublement du tronçon nord reliant Bouchegouf à Annaba sur 54Km. A terme, cette voie sera prolongée vers la wilaya d'EL Oued à l'est du Sahara algérien.

- Relie cinq (05) wilayas (plus d'un million d'habitants représentant 02% de la population).
- Comprend 422 Km dont :

- 177 Km travaux à achever.
- 120 Km travaux lancés récemment.
- 152 Km à lancer en travaux.
- 30 gares et haltes.

(Source : ANESRIF)

Notre mémoire de fin d'étude propose un projet de dédoublement de modernisation et d'extension du tronçon ferroviaire « Contournement « **Tébessa-Tenoukla** » de la ligne minière Est.

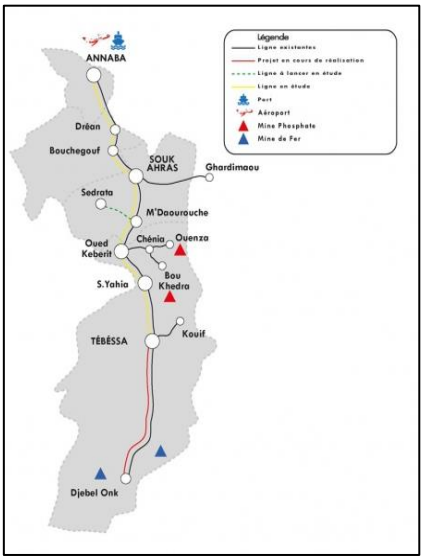


Figure III.1: Ligne minière Est

III.2. Présentation générale de la zone d'étude

La région d'étude se situe à l'extrême Est algérien sur le territoire de la wilaya de Tébessa. Elle est limitée au Nord par la wilaya de Souk Ahras, au Nord-ouest par la wilaya d'Oum El Bouaghi, à l'Ouest par la wilaya de Khenchela à l'Est par la frontière Algérotunisienne et au Sud par El Oued.

- La wilaya de Tébessa couvre une superficie de 13 396 km2 et se compose de : 12daïras ET 28 communes.
- Elle est distante de : 618 km d'Alger. 190 km de Constantine. 233 km d'Annaba et 326 km de Tunis.
- La commune de Tébessa s'étend sur une superficie de 184 km2 son chef-lieu de commune Tébessa assure aussi le rôle de chef-lieu de Daïra et de wilaya.
- La commune qui n'occupe que 1.37%du territoire de la wilaya concentre en son sein près de 30% de la population de ce même territoire ce qui explique sa polarisation.

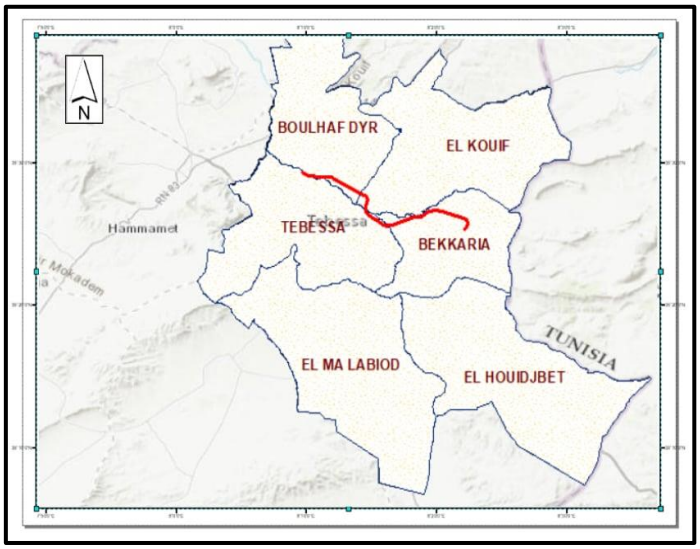


Figure III.3 : Limites des communes traversées par le projet de la ligne minière, tronçon Tébessa-Tenoukla (ArcGIS)

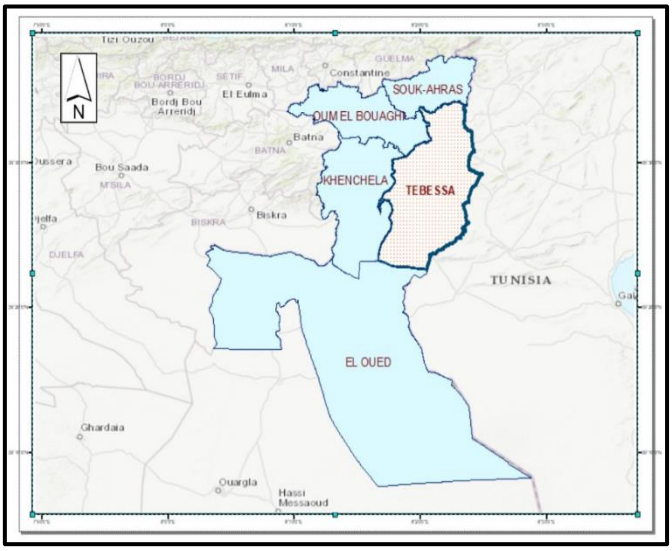


Figure III.2 : Limites administratives des wilayas entourant la wilaya de Tébessa (ArcGIS)

III.2.1. Sismicité

Selon le Règlement Parasismique Algérien (RPOA 2008) le territoire national est classé en cinq zones sismiques allant de la négligeable à l'élevée. Notre projet se situé dans la **Zone I** (sismicité faible) tel que le coefficient d'accélération de zone est A= 0.15.

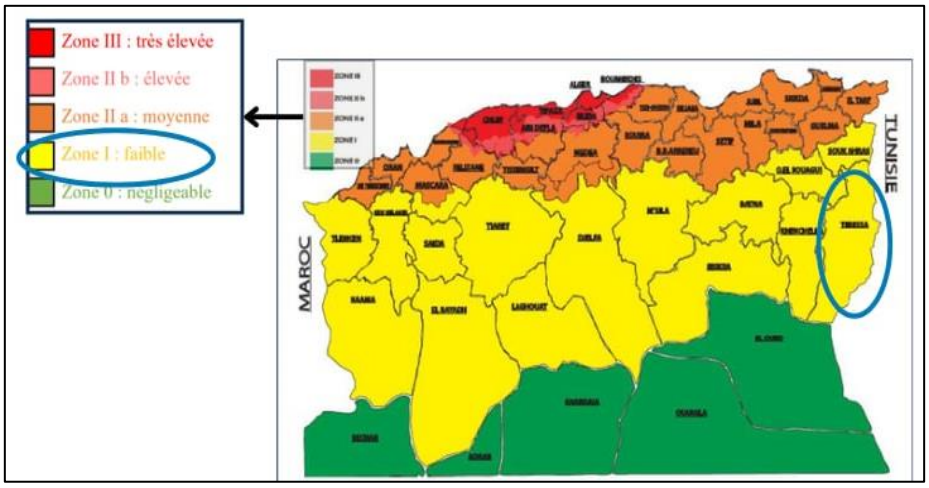


Figure III.4 : Carte zonage sismique de l'Algérie

III.2.2. Climat

La région de Tébessa est située dans la zone des hautes plaines telliennes. Elle est caractérisée par un climat semi-aride de type continental avec un été très chaud et sec et un hiver très froid et humide.

III.2.3. Relief

La willaya de Tébessa se caractérise par une géomorphologie diversifiée englobant des plaines alluviales fécondes des massifs montagneux comme les Monts Aurès et des étendues désertiques à l'est. Les plaines septentrionales offrent des terres arables propices à la culture céréalière et oléicole. Tandis que les reliefs montagneux présentent des altitudes variées et une biodiversité montagnarde remarquable. À l'extrémité orientale, la wilaya jouxte des régions désertiques caractérisées par des formations dunaires et des plateaux arides.

La représentation graphique ci-dessous dépeint le modèle numérique du terrain (MNT) des quatre communes à savoir BOULHAF DYR, EL KOUIF, BEKKARIA et TEBESSA traversées par notre projet. Cette cartographie des pentes et des altitudes a été générée à l'aide du logiciel ArcGIS conjointement avec un système d'information géographique (SIG).

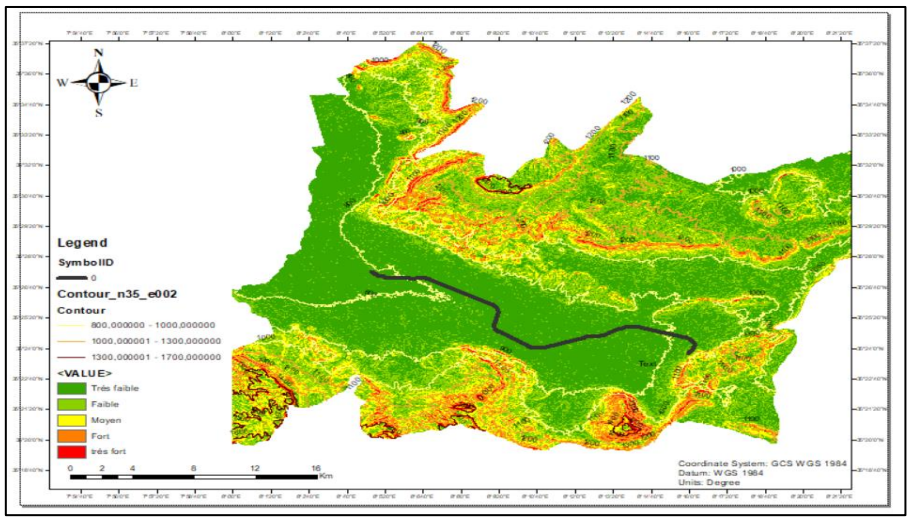


Figure III.5 : Carte des pentes et des altitudes (ArcGIS)



Figure III.6 : Vue 3D du tracé en utilisant le logiciel SURFER ver 23.2

III.3. Présentation du projet étudié

Nous allons présenter dans ce travail notre thème de projet de fin d'études, une étude en avant-Projet détaillé (APD) portant sur une ligne de chemin de fer reliant Tébessa à Tenoukla. L'objectif principal est d'optimiser la capacité de cette ligne minière tout en contournant la ville de Tébessa. Cet évitement mixte est destiné au transport de marchandises et de voyageurs.

Le tronçon étudié de ce projet commence à partir du PK 0+000 jusqu'au PK 22+000 avec la conception d'une gare de dépassement et de garage à Tenoukla du PK 12+900 au PK 14+400.

III.3.1. Objectifs du projet

Le projet de contournement Tébessa-Tenoukla a pour objectif de :

- ✓ Permettre une amélioration de la qualité des transports (voyageurs et marchandises).
- ✓ Séparation du trafic marchandises est et voyageurs pour une meilleure utilisation des infrastructures existantes.
- ✓ Réduire des encombrements sur les routes et les voies ferrées existantes sans passer à la ville de Tébessa.
- ✓ Optimiser l'acheminement ferroviaire en minimisant les temps de parcours et en maximisant la capacité de transport de marchandises.
- ✓ Eviter la congestion et le bruit dans les zones urbaines.

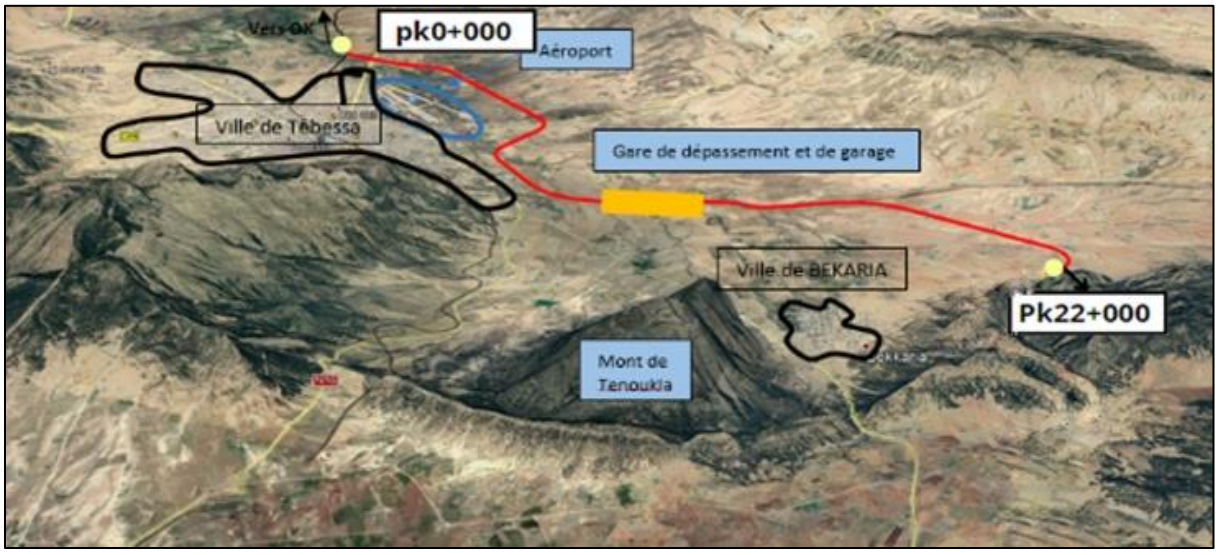


Figure III.7 : Photo illustrative du projet Tébessa-Tenoukla sur Google Earth

III.4. Les paramètres de conceptions du tronçon Tébessa-Tenoukla

Les paramètres adaptés pour la conception du tracé du tronçon Tébessa - Tenoukla sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Les paramètres de conceptions du tronçon Tébessa-Tenoukla

Paramètres	Caractéristiques
Tronçon : Tébessa / Tenoukla	Double voie (nouvelle ligne)
Longueur du tronçon étudié	22 Km
Traffic	Mixte (90% destinée aux marchandises)
Vitesse de conception pour le trafic voyageurs	120 km/h
Vitesse de conception pour le trafic marchandises	80 Km/h
Charge à l'essieu de conception en pleine voie	22.5 t
Système d'attache élastique	Type NABLA
Traverses	Bi-bloc
Traction	Électrique
Rail	UIC 60 E1
Écartement en alignement	1435 mm
L'entre axe	4.20 m
Appareil de voie (ADV)	60E1-500- 1 :12

III.5. Conclusion

En résumé, le projet de contournement ferroviaire Tébessa-Tenoukla allant du PK 0+000 au PK 22+000 étudié dans notre mémoire constitue une avancée majeure dans la mise en œuvre des objectifs du programme d'investissement en transport en accord avec la variante retenue lors de l'Avant-Projet Sommaire (APS).

CHAPITRE IV :
SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE APS

CHAPITRE IV : SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE APS

Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons une synthèse de l'étude de l'avant-projet sommaire (APS) effectuée pour évaluer et sélectionner la variante la plus optimale qui satisfait les critères et exigences techniques du projet. Cette variante constitue l'objectif de notre étude avant-projet détaillé (APD) du contournement ferroviaire de Tébessa-Tenoukla.

IV.1. Description du tronçon Tébessa-Tenoukla

A la sortie de la gare de Tébessa jusqu'au PK18+150 soit un linéaire de 18 km ou le tracé existant présente une sinuosité importante avec des rayons de courbure allant de 250m à 300m et dont le profil altimétrique atteint 22 ‰ (il traverse le pied du monticule de Tenoukla).

L'amélioration de la vitesse commerciale, le temps de parcours et la capacité portante de la ligne dans les limites de sécurité sont l'objectif de chercher un contournement Tébessa-Tenoukla.

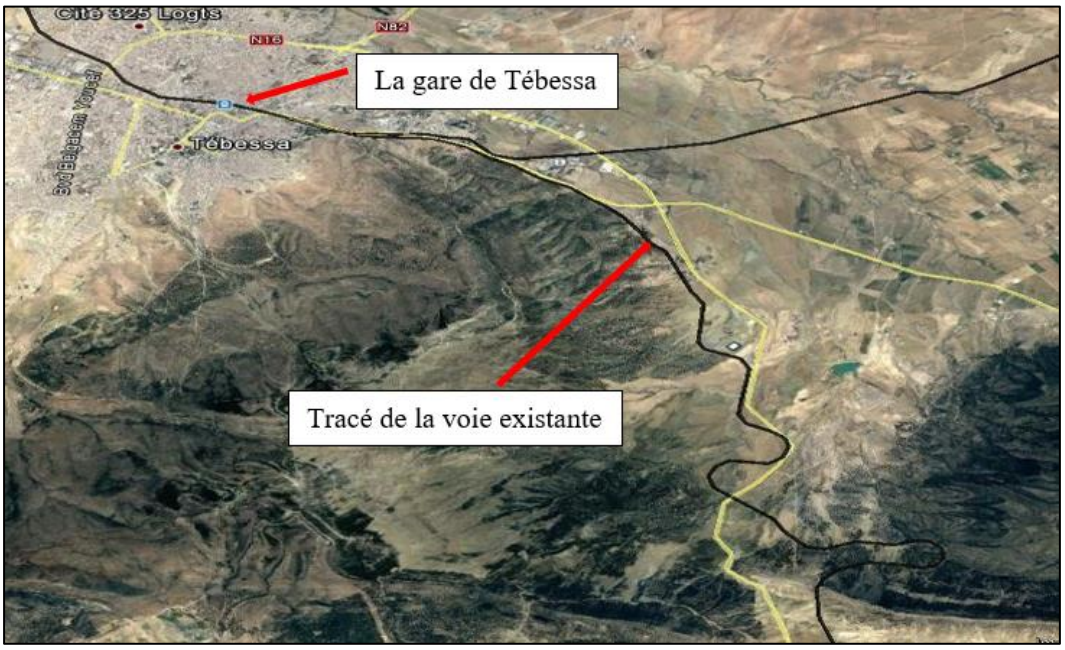


Figure IV.1 : Localisation de la zone d'étude sur Google Earth

IV.2. Résumé de l'étude APS

Dans l'étude avant-projet sommaire (APS) quatre (04) variantes ont été proposées. Après examen de cette étude, deux variantes ont été éliminés. Les variantes restantes sont la variante 03bis (V03bis) et la variante 4 (V04).

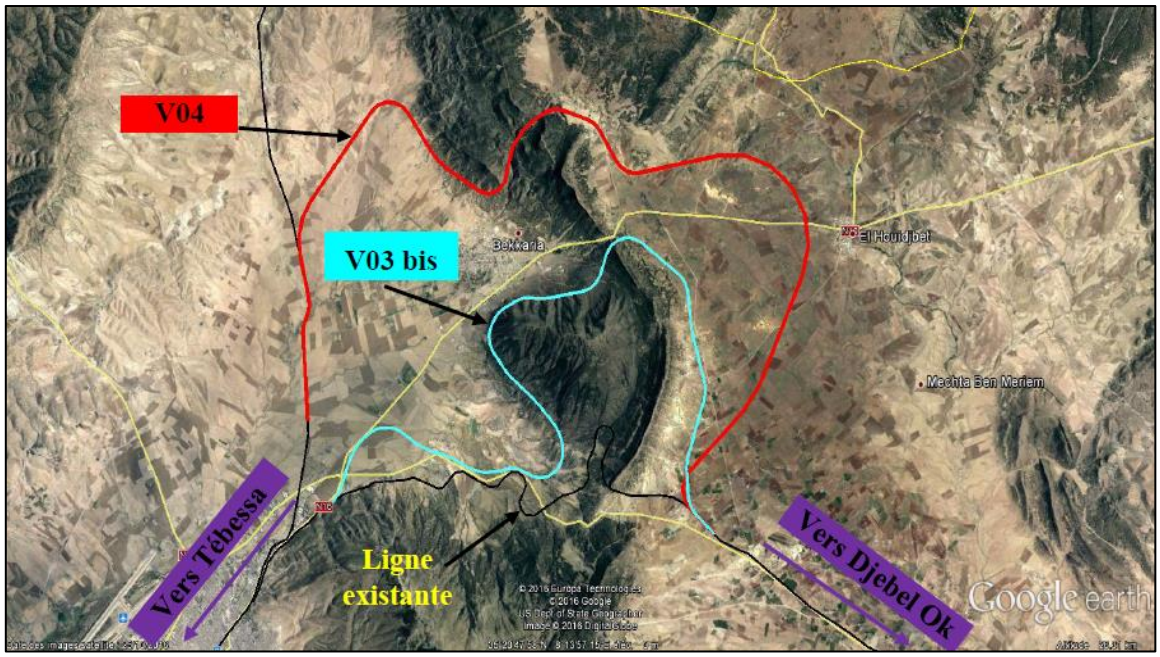


Figure IV.2 : Tracé neuf - section Tébessa-Tenoukla : Variante 03 Bis + Variante04

IV.3. Comparaison des variantes

Dans le tableau qui suit. nous presentons l'analyse multicritère effectuée par de chaque variante. Les deux variantes traverses un monticule boisé de production est de protection : le monticule de Tenoukla.

Tableau IV.1: Avantages et inconvénients des deux variantes

Variante	Avantages	Inconvénients
V03bis	- Longueur de 28+500 Km. - Temps de parcours réduits.	- Déclivité exceptionnelle 18 ‰. - Hauteurs de remblais très importants. - Un nombre très important de viaducs en rayon ≤ 1500m.
V04	- Déclivité normale de 16‰. - Un nombre petit de viaducs en rayon ≥ 1500m	- Longueur de 37+000 Km. - Traverse une zone inondable à caractère agricole.

Résultat : La sélection de la variante 04 est faite en raison de sa conformité aux exigences du maître de l'ouvrage qui sont les suivantes :

- Déclivité moins importantes (16 ‰)
- Projection des viaducs sur des rayons >1500m).

IV.4. L'objectif de contournement Tébessa-Tenoukla

L'éventualité de chercher un couloir moins accidenté aux alentours de la gare de Tébessa aura un impact significatif sur la fluidité de circulations des trains minéralier en conséquence :

- Eviter la section de forte pente entre Tenoukla et Tébessa
- La gare actuelle de Tébessa sera aménagée pour le trafic voyageurs etmarchandises divers.
- La projection d'un couloir ferroviaire qui contourne la ville sera dédié au train bloc minéralier réduit l'encombrement de passage des trains en gare.

CHAPITRE V :
ÉTUDE GÉOMETRIQUE

CHAPITRE V : ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE

Introduction

L'ingénierie ferroviaire s'appuie sur l'étude géométrique comme un pilier central pour garantir la sécurité, la performance et la durabilité d'une ligne ferroviaire. Cette étape permet de définir le tracé le plus efficient et respectueux de l'environnement tout en tenant compte des contraintes du terrain et des besoins du trafic.

L'élaboration de cette étude s'appuie sur une méthodologie rigoureuse s'inspirant des normes et recommandations en vigueur dans le domaine ferroviaire. En particulier, elle s'aligne sur les directives établies par la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) que nous allons utiliser dans l'étude de notre projet.

V.1. Tracé en plan

Le tracé en plan d'une voie ferrée est bien plus qu'une simple ligne sinueuse. Il s'agit d'une composition orchestrée d'alignements droits et de courbes savamment conçue pour garantir un voyage harmonieux et intégré à son environnement.

V.1.1. Conditions à respecter dans le tracé en plan

À fin d'avoir le tracé le plus adapté au projet sur différents plans (économique et technique), il est nécessaire de mettre en compte les règles de la conception et respecter certaines conditions d'après eux les suivants :

- Lors de l'étude pour améliorer une ligne existante, veillez à établir la connexion au réseau dès le début et à la fin du projet y compris la connexion à des parties de la ligne existante si nécessaire tout en respectant les limites du couloir désigné.
- Rayons de courbure minimum adaptés à la vitesse d'exploitation et au type de train.
- Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes.
- Raccords progressifs entre les alignements droits et les courbes pour une meilleure transition.
- Suivre les courbes de niveau et adapté le tracé en plan au terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants.
- Optimiser le tracé en évitant autant que possible le franchissement des oueds, des routes, des zones agricoles et résiduelles afin de limiter les coûts de construction et d'améliorer l'efficacité économique du projet.
- Prévenir l'implantation dans des zones sujettes à des défis géologiques et géotechniques (terrain instable, sols compressibles, la présence des nappes phréatiques...etc.). En cas de nécessité, une étude approfondie du sol est obligatoire à faire afin d'assurer la sécurité et l'efficacité opérationnelle de la voie.

V.1.2. Les éléments du tracé en plan

L'axe du tracé en plan se compose d'une séquence d'alignements linéaires, des liaisons de transitions (raccordement progressif) et d'arcs de cercle tel qu'illustré dans le schéma ci-dessous :

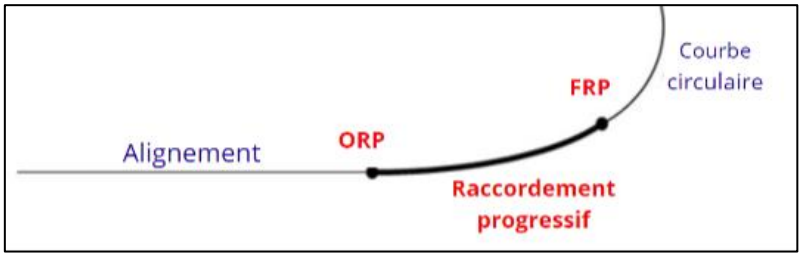


Figure V.1 : Les éléments du tracé en plan

- L'alignement : R = ∞
- Raccordement progressive (RP) : R = variable.
- Courbe circulaire : R = constant.

V.1.3. Paramètres géométriques de la voie

Pour une vitesse de déplacement du train fixée à V, les critères de conception de la voie sont déterminés selon les recommandations émises par la SNTF. Ces directives visent à garantir la stabilité des convois et à optimiser le confort des passagers.

Tableau V.1 : Vitesse des trains adoptées pour le projet

Vitesse voyageurs Vvoy	**120 Km/h**
Vitesse marchandises Vmar	**80Km/h**

➢ D'après le SNTF, nous résumons les paramètres géométriques de tracé dans le tableau suivant :

Tableau V.2 : Les éléments du tracé en plan (SNTF)

		$d_{p\ max}$ (mm)	I_{max} (mm)	E_{max} (mm)	$(dd/dl)max$ (mm/ml)	$(dd/dt)max$ (mm/s)	$(dI/dt)max$ (mm/ml)	R_{min}	L_{min}
Formule	**Normal**	-	-	-	$\frac{180}{Vmax}$	-	-	$\frac{11.8 \times V_{max}^2}{D\,max + I\,max}$	$\frac{Vmax}{2}$
	Exceptionnel	-	-	-	$\frac{216}{Vmax}$	-	-	$\frac{11.8 \times V_{max}^2}{D\,max + I\,max}$	$\frac{Vmax}{3}$
Application	**Normal**	**160**	**150**	**110**	**1.5**	**50**	**75**	**548**	**60**
	Exceptionnel	**180**	**160**	**130**	**1.8**	**60**	**90**	**500**	**40**

Avec :

- $\mathbf{d_{p\ max}}$ **:** Le dévers pratique maximal.
- $\mathbf{I_{max}}$: L'insuffisance de dévers admissibles.
- $\mathbf{E_{max}}$: L'excès de devers admissible.
- $\mathbf{R_{min}}$: Le rayon minimum.
- $\mathbf{L_{min}}$: La longueur minimale des éléments de tracé (alignement droit, pleines courbes).
- $\left(\frac{\mathbf{dd}}{\mathbf{dl}}\right)\mathbf{max}$ **:** La limite de la variation de dévers par rapport à la longueur.
- $\left(\frac{\mathbf{dd}}{\mathbf{dt}}\right)\mathbf{max}$ **:** La limite de la variation de dévers par rapport au temps.
- $\left(\frac{\mathbf{dI}}{\mathbf{dt}}\right)\mathbf{max}$ **:** La limite de la variation d'insuffisance de divers par rapport au temps.

Remarque : Selon le SNTF et pour une vitesse maximale de 120 km/h et une vitesse minimale de 80 Km/h. dans notre projet nous allons travailler avec les valeurs normales des paramètres géométriques du tracé en plan.

V.1.4. Application sur le projet

Notre projet de contournement de la ville Tébessa – Tenoukla débute avec un alignement droit au PK 0+000 et termine avec un alignement droit jusqu'au PK 22+000 avec une longueur totale de 22 Km.

Considérons un exemple de calcul du rayon minimum Rmin du notre tracé comme référence pour décrire les étapes de détermination de tous les paramètres correspondants.

Avant d'expliquer le processus, nous devons identifier quelques notations que nous allons utiliser :

- **Lrp** : longueur de raccordement progressif « clothoïde ».
- **C** : coefficient de dévers.
- $\mathbf{d_{th}}$: devers théorique.

❖ Détails du calcul du rayon minimal :

- **Dévers maximum du rayon minimum :**

$$dmax\ (Rmin) = \frac{\mathbf{Emax}\ .\mathbf{Vvoy^2} + \mathbf{Imax}\ .\mathbf{Vmar^2}}{\mathbf{Vvoy^2} - \mathbf{Vmar^2}} = 318\ mm > 160mm\ (dmax)$$

On adopte un devers maximum du rayon minimum égale à 160 mm

$$dmax_{(Rmin)} = 160\ mm$$

- **Rayon minimal Rmin :**

$$Rmin = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{D\ max\ + I\ max} = 548\ m$$

- **Dévers théorique :**

$$dth\ (Rmin) = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{R} = 283.2\ mm$$

- **Coefficient de dévers C :**

$C = 0.006\ xV^2max \Longrightarrow$ La valeur de C doit être multiple de 15 et doit répondre à la relation suivante : $0.5 < \frac{C}{0.0118 \times Vmax^2} < 0.7$

$C = 0.006 \times 120^2 = 86.4 \Longrightarrow C_{adopté} = 90$

$$0.5 < \frac{90}{0.0118 \cdot 120^2} = 0.53 < 0.7$$

- **Devers pratique dp :**

$$dp\ (Rmin) = \frac{1000 \times C}{R} = 150\ mm < dmax = 160\ mm$$

- **L'insuffisance de dévers I :**

$I = dth - dp = 283.2 - 150 = 133.2\ mm < 150\ mm$

- **L'excès de dévers E :**

$$E = d_p - \frac{11.8 \times V^2min}{R} = 24.14\ mm < 110\ mm$$

- **Longueur du raccordement progressif Lrp :**

$$Lrp = \frac{dp}{dd/dl} = \frac{150}{1.5} = 100\ m \Longrightarrow Lrp_{adopté} = 120\ m$$

- **Vérification de la variation du dévers par rapport à la longueur :**

$$dd/dl = \frac{dp}{Lrp} = \frac{150}{120} = 1.25\ mm/m < 1.5\ mm/m$$

- **Vérification de la variation du dévers par rapport au temps :**

$$dd/dt = \frac{dd \times Vmax}{dl \times 3.6} = \frac{150 \cdot 120}{120 \cdot 3.6} = 41.66\ mm < 50\ mm/s$$

- **Vérification de la variation de l'insuffisance par rapport au temps :**

$$dI/dt = \frac{dI \times Vmax}{dl \times 3.6} = \frac{133.2 \cdot 120}{120 \cdot 3.6} = 37\ mm/s < 75\ mm/s$$

Tableau V.3 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé

		Rayons (m)				
	Formule	**600**	**650**	**700**	**1600**	**1700**
$d_{th\ voy}$ (mm)	$\frac{11.8 \times V_{max}^2}{R}$	283.20	261.2	242.74	106.20	99.95
$d_{th\ mar}$ (mm)	$\frac{11.8 \times V^2min}{R}$	125.86	116.18	107.88	47.2	44.42
C	**0.006 x V^2_{max}**	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4
C retenu	**-**	90	90	90	90	90
Vérification de C	$0.5 < \frac{C}{0.118 \times V^2max} < 0.7$	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
		OUI				
d_p (mm)	$\frac{1000 \times C}{R}$	150.00	138.46	128.57	56.25	52.94
$d_{p\ retenu}$ (mm)	**-**	150	140	130	60	55
Vérification de dp_{retenu}	**$d_{p\ adopté}$ < 160 mm**	**OUI**				
I (mm)	**$d_{th\ voy}$ - d_p**	133.20	121.42	112.74	46.20	44.95
Vérification de I	**I < 150 mm**	**OUI**				
E (mm)	**d_p - dth_{mar}**	24.13	23.82	22.12	12.80	10.58
Vérification de E	**E < 110 mm**	**OUI**				
Lrp (m)	$\frac{dp}{dd/dl}$	100.00	93.33	86.67	40.00	36.67
Lrp retenu (m)	**-**	120	100	100	50	50
dd/dl (mm/ml)	dp/Lrp	1.25	1.40	1.30	1.20	1.1
Vérification dd/dl	**dd/dl < 1.5**	**OUI**				
dd/dt (mm/s)	$\frac{dd \times Vmax}{dl \times 3.6}$	41.66	46.66	43.33	40.00	36.66
Vérification dd/dt	**dd/dt < 50 mm/s**	**OUI**				
dI/dt (mm/s)	$\frac{dI \times Vmax}{dl \times 3.6}$	37.00	40.47	37.58	30.80	29.97
Vérification dI/dt	**dI/dt < 75 mm/s**	**OUI**				

NB : le tracé a été réalisé à l'aide du logiciel Civil 3D 2024 et les éléments du tracé en plan sont annexés au présent document **(voir ANNEXE A)**

Tableau V.4 : Les contraintes le long du tracé

Obstacle à franchir		Pk	Ouvrage Projeté / mesures prévues
Intersection avec des routes	RN 16	01+250	Passages supérieurs
	CC	01+600	
	CC	02+120	
	CC	03+400	
	RN 16	3+389	
	RN 82	07+542	
	RN 10	12+050	
	CC	19+161	
Croisement Oued		01+873	Ouvrage hydraulique
		02+766	
		03+815	
		04+787	
		07+359	
		11+917	
		13+824	
		14+301	
		18+078	
		21+300	
Croisement conduite Gaz		09+500	La possibilité de déplacer ou de protéger
Lignes électriques moyenne tension		01+000	
		02+375	
		03+450	
		07+675	
		11+500	
		12+365	
		12+375	
		18+775	
		19+050	
Croisement ligne électrique BT		01+000	
Bâtis		20+382	À supprimer

V.2. Profil en long

Le profil en long représente l'une des composantes essentielles de la conception et de la planification des infrastructures linéaires telles que les voies ferrées et les canaux. Ce diagramme graphique offre une vue détaillée des variations d'altitude le long de l'axe du projet fournissant des informations importantes sur les caractéristiques topographiques du terrain.

Dans le contexte des projets ferroviaires, le profil en long joue un rôle fondamental guidant les ingénieurs dans la conception géométrique du tracé, la gestion des contraintes hydrauliques et géotechniques ainsi que l'anticipation des risques naturels

V.2.1. Les éléments du profil en long

V.2.1.1. Les alignements droits

Les alignements droits dans le profil en long d'une voie ferrée se réfèrent à des sections de la voie qui présentent des déclivités uniformément réduites ou nulles sur une certaine distance. favorisant ainsi des vitesses de circulation constantes. Ces sections sont conçues de manière à garantir une stabilité optimale lors des déplacements sur des terrains plats ou légèrement inclinés. assurant ainsi une expérience de voyage confortable et sécurisée pour les passagers.

Selon le référentiel **SNTF** (géométrie de la voie chapitre 6). la déclivité admise varie en fonction de sa longueur :

- ✓ En déclivité de longueur inférieure à 3000 m. elle ne doit pas dépasser 16‰ et exceptionnellement 18‰.
- ✓ En déclivité de longueur comprise entre 3 000 m et 15 000 m. elle diminue graduellement pour passer de 16‰ à 13‰ exceptionnellement de 18‰ à 15‰.
- ✓ En déclivité de longueur supérieure à 15 000 m. la déclivité ne doit pas dépasser 13‰ et exceptionnellement 15‰.

Le placement des droites par rapport au sol naturel est dicté par plusieurs considérations afin d'assurer une conception optimale du profil en long. telles que

- ✓ Respecter la valeur maximale des pentes.
- ✓ Eviter les points bas au niveau des zones de déblais et assurer l'évacuation des eaux pluviales .
- ✓ Observer les mesures géométriques recommandées par les règlements en vigueur.
- ✓ Équilibrer entre les remblais et les déblais
- ✓ En cas d'inondation. il est nécessaire d'utiliser un remblai dont la hauteur dépasse NPHE+0.5 m .

Tableau V.5 : Longueur minimale des déclivités (SNTF)

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Longueur minimale des déclivités	$V/2$	$V/2.5$

V.2.1.2. Les cercles

Les cercles dans le profil en long des voies ferrées sont formés par des courbes douces définies par des rayons spécifiques. Ces courbes sont conçues pour faciliter la circulation des véhicules et réduire les contraintes exercées sur les infrastructures. Lorsque la pente de la voie ferrée subit un changement cela crée une accélération verticale brusque ressentie par le véhicule.

Cette sensation peut être comparée à celle éprouvée lorsqu'une voiture monte ou descend une colline. Ainsi les transitions en douceur des cercles dans le profil en long sont essentielles pour atténuer ces variations soudaines d'accélération. améliorant ainsi le confort des passagers à bord des véhicules ferroviaires.

Cette accélération est donnée par la formule suivante : $\mathbf{A_v} = \frac{\mathbf{V^2}}{\mathbf{3.6^2 \times R_v}}$

Pour garantir le confort des passagers à des vitesses inférieures à 220 km/h, l'accélération verticale doit rester en dessous de 0.22m/s², avec une tolérance exceptionnelle jusqu'à **0.31m/s².**

En remplaçant les valeurs de Av dans la formule $\boldsymbol{R_v} = \frac{\boldsymbol{V^2}}{\mathbf{3.6^2 \times} \boldsymbol{A_v}}$ on trouve :

Tableau V.6 : Valeurs de Rayon vertical minimal (SNTF)

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Longueur minimale des déclivités	**0.35 V^2**	**0.25V^2**

V.2.2. Coordination entre le profil en long et le tracé en plan

Afin d'assurer une coordination optimale entre le profil en long et le tracé en plan. il est nécessaire de respecter les exigences suivantes :

- Éviter de placer une courbe dans le profil en long juste après une courbe dans le tracé en plan.
- Les emplacements des appareils de voie ne doivent pas être situés sur des courbes ou des pentes.
- Planifier un espace plat de 900 à 1500m pour la construction de la gare.
- Éviter les correspondances entre les rayons du profil en long et ceux du tracé horizontal en plaçant les points de transition de pente sur des sections de trajectoire constantes (alignements ou courbes continues).

V.2.3. Application sur le projet

Tableau V.7 : Paramètres géométriques du profil en long du projet (SNTF)

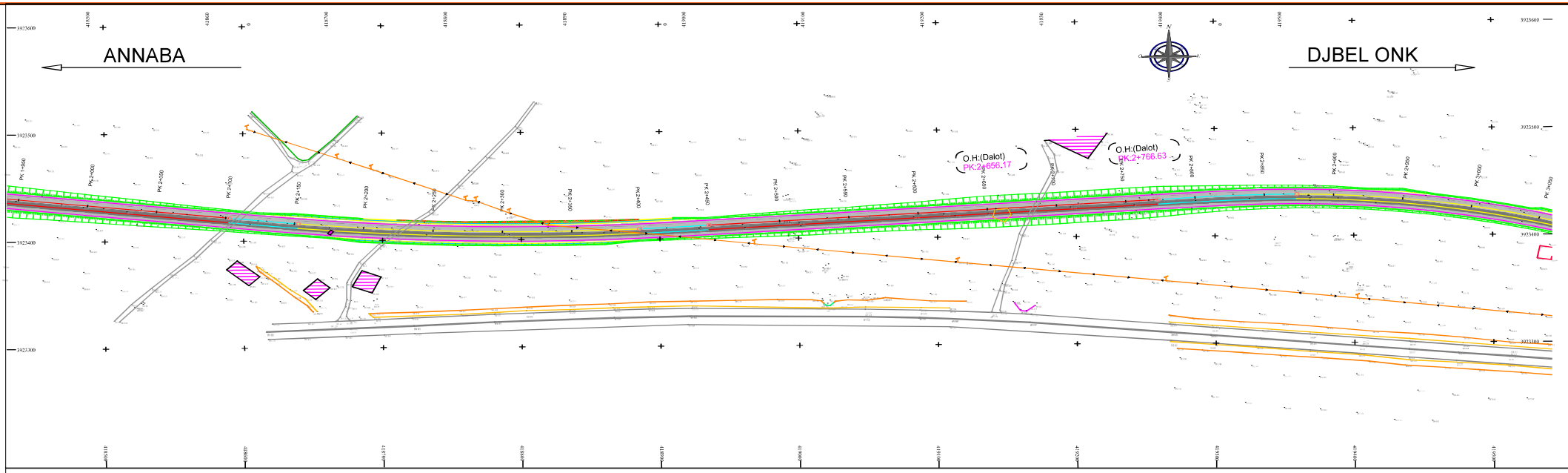
		Dmax				Rmin	Lmin
		L < 3000 m	3000 m < L < 15000 m	L > 15000 m	Gares	-	-
Formule	Normal	-	-	-	-	0.325V²	V/2
	Exceptionnel	-	-	-	-	0.25V²	V/2.5
Application	Normal	16‰	6 ‰ à 13 ‰	13 ‰	0	5040	60
	Exceptionnel	18 ‰	18 ‰ à 15 ‰	15 ‰	0	3600	48

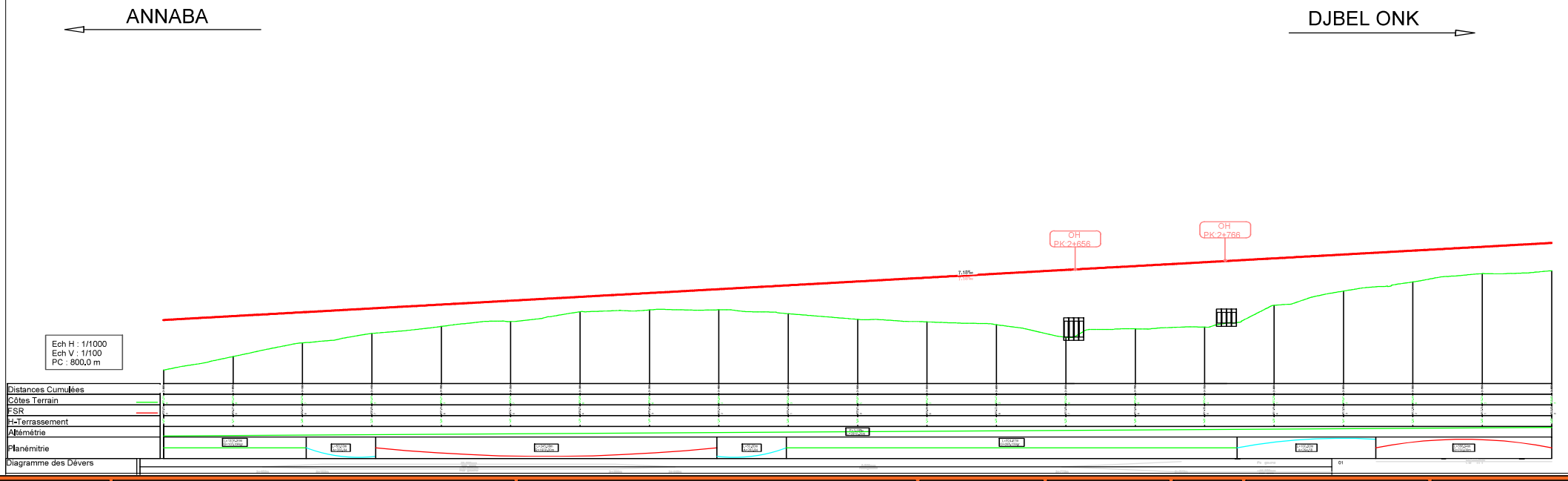
Remarque : Dans notre projet nous allons travailler avec les valeurs normales des paramètres géométrique du profil en long **(voir ANNEXE B).**

V.3. Conclusion

L'importance d'une étude géométrique précise dans la construction de voies ferrées est cruciale pour assurer la sécurité et le confort des usagers. Ce chapitre a souligné que le tracé en plan et le profil en long doivent être optimisés pour garantir la faisabilité technique. la stabilité structurelle et l'efficacité opérationnelle. Une étude rigoureuse permet de déterminer les meilleures solutions techniques. de réduire les coûts de construction et de maintenance. et de minimiser les impacts environnementaux.

L'intégration des normes et des réglementations dès les premières phases de l'étude géométrique est impérative. Cela garantit une conformité stricte aux exigences légales. assurant ainsi la sécurité et le confort des usagers. Par conséquent. une étude géométrique méticuleuse. alignée sur les normes en vigueur. est fondamentale pour la conception et la réalisation de voies ferrées sécurisées. efficientes et pérennes.





ENSTP

Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38 **Site web :** www.enstp.edu.dz
Tel : (023) 70 19 04 **E-mail** : enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDE	Réalisé par	Encadré par	Echelle	Planche	Année universitaire
Etude en APD d'un contournement ferroviaire à double voie Tebessa-Tenoukla du PK 0+000 au PK 22+000 avec la conception d'une gare de croisement Tenoukla.	NABED Kawther AMROUCHE Fadoua	Mr. Goumettre Ahmed Mr. HAMMADI Kamel	1:1000	Vue en plan et profil en long du PK 2+000 au PK 3+000	2023/2024

CHAPITRE VI :

ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

CHAPITRE VI : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

Introduction

Dans le cadre des projets ferroviaires, l'hydrologie et l'hydraulique se distinguent comme des domaines clés indispensables à la compréhension et à la gestion des ressources en eau.

En examinant les schémas de précipitations, les débits des cours d'eau et les risques d'inondations, elles permettent d'évaluer les défis et les opportunités rencontrés lors de la planification, de la conception et de la construction des voies ferrées. En intégrant des concepts théoriques et des méthodes pratiques, l'hydrologie et l'hydraulique offrent un cadre essentiel pour anticiper et gérer les impacts des événements hydrologiques sur les projets ferroviaires contribuant ainsi à leur robustesse et à leur durabilité.

Dans cette section, nous examinerons de manière approfondie l'étude hydrologique et hydraulique du projet de dédoublement, modernisation et/ou rectification de tracé visant à accroître la capacité de la ligne minière Est spécifiquement le tronçon de contournement Tébessa-Tenoukla s'étendant du PK 0+000 au PK 22+000.

VI.1. Etude hydrologique

Une étude hydrologique consiste à analyser en profondeur les processus hydrologiques d'une zone spécifique en collectant des données sur les précipitations, l'évapotranspiration, l'infiltration, le ruissellement et le débit des cours d'eau. Son but principal est de caractériser la disponibilité et la répartition de l'eau dans la région ce qui permet d'estimer les débits de crue, d'évaluer les risques d'inondation et de dimensionner les ouvrages hydrauliques.

VI.1.1. Caractéristiques climatiques

VI.1.1.1. Climat

La wilaya de Tébessa présente un climat principalement semi-aride avec des étés chauds et secs, des hivers doux mais parfois froids la nuit et des précipitations rares et irrégulières concentrées principalement en hiver

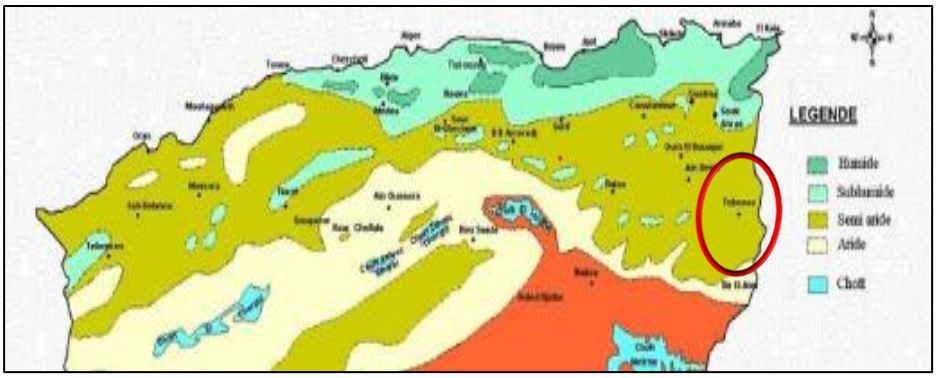


Figure VI.1: Classification du climat en Algérie (source : Agence National d'Aménagement du territoire)

VI.1.1.2. Température

Au niveau de la station de Tébessa, les valeurs de températures moyennes mensuelles enregistrées pour la période entre 1980 et 2019 sont représentées dans le tableau ci-dessus :

Tableau VI.1 : Les températures moyennes mensuelles de Tébessa en C°

Source : ONM et actualisées à partir du site https://fr.tutiempo.net/climat/algerie.html
Station de Tébessa (1980-2019)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	juin	juil	Aout	Moyenne annuelle
Température (C°)	22.6	17.9	12	7.9	7.1	7.3	10.7	15.03	18.8	24.2	27.9	26.7	14.8

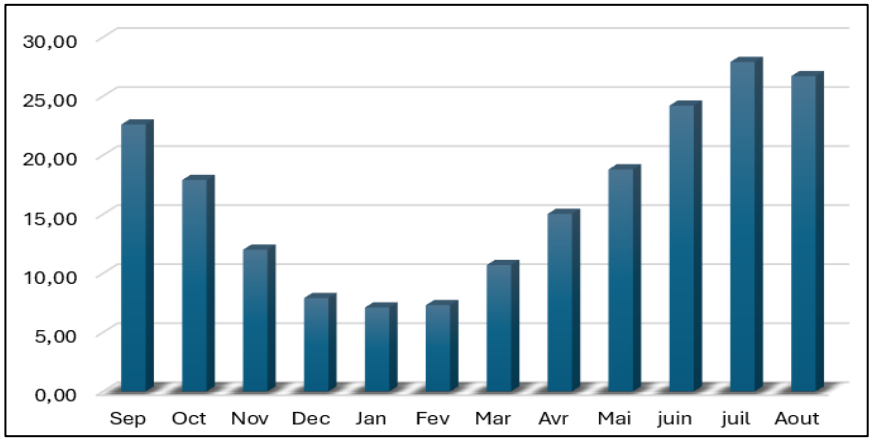


Figure VI.2: Variation des températures moyennes mensuelles

Comme le montre le tableau et l'histogramme, la température varie entre 7.1 °C. enregistrée en janvier et 27.9 °C enregistrée en juillet avec une température moyenne annuelle d'environ 16.5 °C.

VI.1.1.3. Les précipitations

L'étude pluviométrique présente un intérêt considérable en hydrogéologie afin d'évaluer la lame d'eau tombée sur l'ensemble du bassin versant et son influence sur l'alimentation, ainsi que son rôle dans le changement de comportement hydrodynamique de la nappe. Les données de la région d'étude ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources en eau (A.N.R.H) et de l'Office National de la Météorologie (O.N.M).

a. Précipitation moyenne annuelle :

L'étude des précipitations annuelles dans notre région montre une grande variation dans le temps durant la période 1997-2020 présentées dans le tableau suivant :

Tableau VI.2: Précipitations moyenne annuelle

Station de Tébessa 1997-2020

Station de Tébessa	Précipitation	P_{min}	P_{max}	P_{moy}
	Valeur (mm)	149.1	650.4	**360.7**
	Année d'observation	2000-2001	2003-2004	-

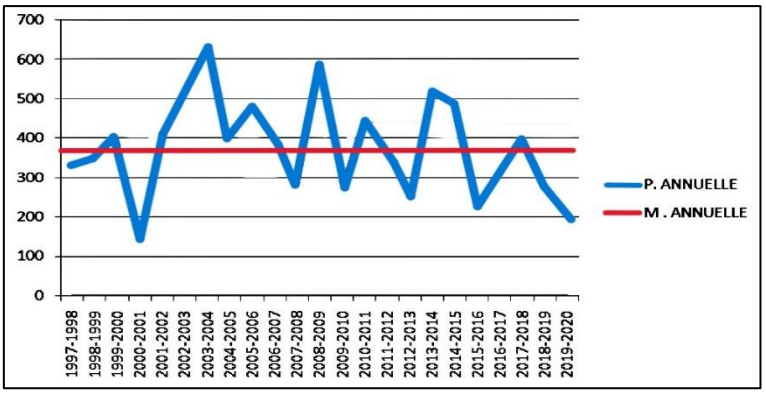


Figure VI.3 : Variation des précipitations annuelle à la station de Tébessa (1997-2020)

b. Les précipitations mensuelles et saisonnière :

Notre étude est donc basée sur les données enregistrées pendant une période (1997/1998) – (2019/2020). En se basant sur les données recueillies à la station de Tébessa durant vingt-trois ans allant de 1997-2020 les valeurs moyennes mensuelles des précipitations sont représentées sur le tableau suivant :

Tableau VI.3 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de Tébessa

Source : station de Tébessa (1997-2020)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	juin	juil	Aout
Précipitation (mm)	45.1	38.21	32.33	32.09	31.14	21.42	30.94	36.60	45.63	25.03	15.33	27.16
Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été		
Précipitation (mm)	115.64			84.65			113.17			67.52		
Précipitation (%)	30			22			30			18		

La valeur maximale des précipitations moyennes mensuelles est marquée dans le mois de mai avec une moyenne de 45.63 mm et une valeur minimale pour le mois de juillet avec une moyenne de 15.33 mm

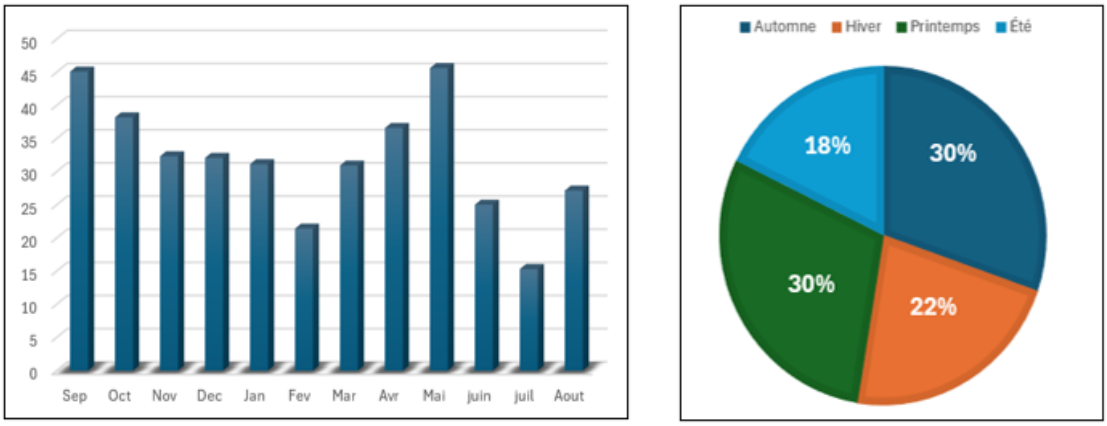


Figure VI.4 : Variation des précipitations moyennes mensuelles et saisonnières

c. Les précipitations journalières :

L'étude des pluies journalières maximales est basée sur les données observées sur la station pluviométrique Tébessa dont les caractéristiques sont données dans le tableau suivant :

Tableau VI.4 : Les précipitations maximales journalières (Tébessa)

Années	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Pj max (mm)	27.6	35.1	27	29.1	32.2	46.8	22	58	21.5	30	22.4	67.3
Années	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Pj max (mm)	59.2	43.8	25.3	21.8	27	53	19.8	31.8	33.2	45.3	17.5	29
Années	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
Pj max (mm)	34	74.1	33.2	49.2	36	24	63	34.5	64.9	58	26.9	

d. Pluies de courtes durées :

La recherche de la relation entre l'intensité, la durée et la fréquence des précipitations s'effectue sur la base des enregistrements pluviographiques. À partir des dépouillements à intensités constantes, nous calculons les quantités de pluie correspondantes à différents pas de temps (15 min. 30 min. 1 heure. 2 heures. 3 heures. 6 heures. 12 heures et 24 heures).

Pour chaque pas de temps nous avons sélectionné une valeur maximale par averse. Nous avons obtenu donc une série de données pour chaque pas de temps sur toute la période dépouillée. La relation Intensité - Durée - Fréquence (IDF) recherchée est de la forme :

$$\mathbf{I\ (t.\ T) = a\ (T) / t^{b}}$$

- **I :** Intensité de pluie [mm/h].
- **T :** Période de retour [ans].
- **t :** Temps [h].
- **a** et **b** : Paramètres de Montana.

Remarque : La zone de Tenoukla n'est pas équipée par une station à enregistrement pluviométrique (données pluviométriques) et pluviographiques (pour la courbe IDF). Seule la station de Tébessa est utilisée car les données couvrent la superficie de la zone d'étude traversée par le projet de la ligne ferroviaire Tébessa – Tenoukla.

Tableau VI.5 : Valeur du paramètre de Montana 'a' pour les différentes périodes de retour

T(ans)	2	5	10	20	50	100
a(T)	17	24	28.7	33.1	38.9	43.2

- La relation obtenue est la suivante : $I\ (t.\ T) = a\ (T) / t^{0.76}$

Avec : **b = 0.76** selon la station de Tébessa.

Tableau VI.6 : Valeur des intensités pour les différentes périodes de retour

I (t. T)	2	5	10	20	50	100
15 min	48.75	68.83	82.31	94.93	111.56	123.89
30 min	28.79	40.64	48.60	56.05	65.88	73.16
1 h	17.00	24.00	28.70	33.10	38.90	43.20
2 h	10.04	14.17	16.95	19.55	22.97	25.51
3 h	7.38	10.41	12.45	14.36	16.88	18.74
6 h	4.36	6.15	7.35	8.48	9.97	11.07
12 h	2.57	3.63	4.34	5.01	5.89	6.54
24 h	1.52	2.14	2.56	2.96	3.48	3.86

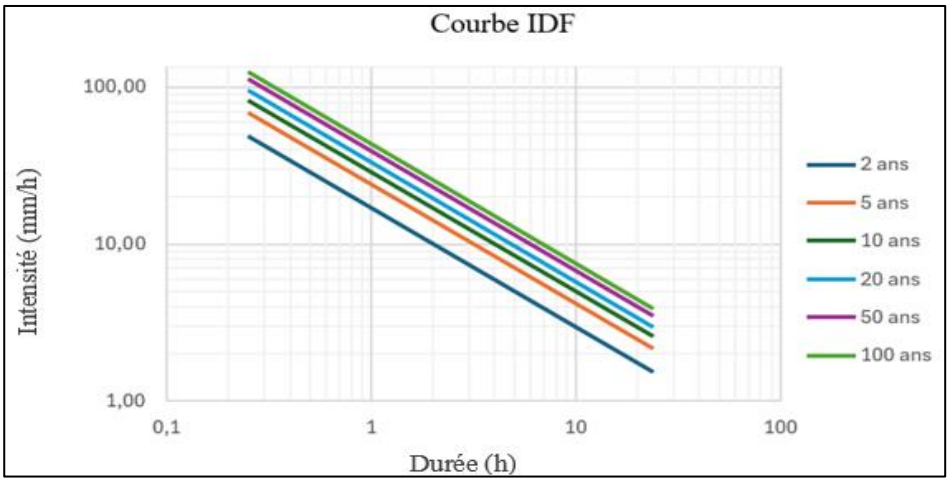


Figure VI.5 : Courbe intensité - durée – Fréquence (IDF)

VI.1.1.4. Humidité (les zones bioclimatiques)

La combinaison des précipitations et des températures caractérise le rythme climatique à dominance méditerranéenne régnant à travers l'Est algérien : la saison froide et humide S'oppose à la saison chaude et sèche. Cette dernière s'accroît vers le Sud jusqu'à crier les douze mois de l'année en zone aride. Calculée en chaque lieu, cette combinaison pluviothermique permet de définir des domaines bioclimatiques.

C'est grâce à un tracé sur un climagramme combinant Q (quotient pluviothermique d'Emberger) en ordonnée et m (moyenne des températures minimales du mois le plus froid) en abscisse que sont définies les limites entre les quatre grands types de bioclimats méditerranéens :

- Humide (pluviométrie annuelle P supérieure à 900 mm) ;
- Forte humidité de l'air.
- Subhumide (P > 600 mm environ) ;
- Semi-aride (300-350 < P < 550-600 mm net déficit hydrique) ;
- Subaride (P < 350 mm nombre de mois secs > nombre mois humides) ;
- Aride (P < 150 mm. 12 mois biologiquement secs).

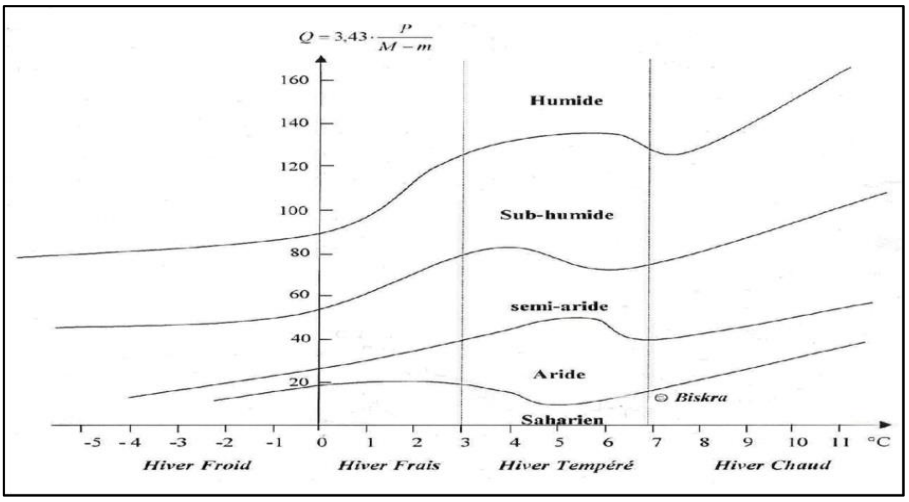


Figure VI.6 : Climagramme d'EMBERGER 1990-2004

La carte au 1/ 1000 000 de Côte. M. (1998) réalisée suivant ce principe est corroborée à la connaissance des milieux naturels et particulièrement, des groupements végétaux, est illustrative : brutalité des contrastes et disposition en bandes zonales longitudinales rappellent celles du relief et des précipitations. D'après cette carte la zone d'étude est caractérisée par un climat subhumide à subaride (Tébessa - Tenoukla).

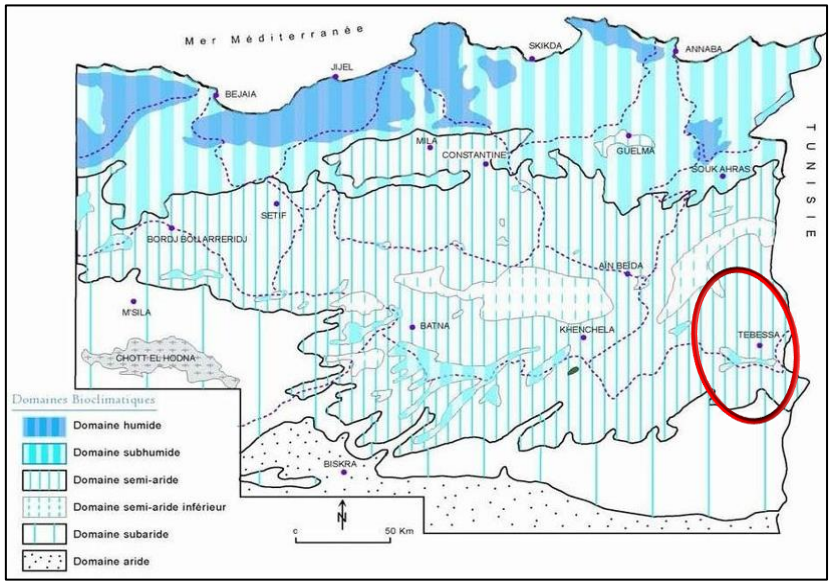


Figure VI.7 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien

VI.1.2. Caractéristiques des bassins versants

Du point de vue hydrologique, le tracé de ligne ferroviaire ligne minière, tronçon Tébessa – Tenoukla traverse principalement le sous bassins versants de l'oued Oum El Ksob (SBV de l'oued Oum El Ksob). Les sous-bassins versants ont été délimités à l'aide du logiciel **SURFER** version 23.2 et les résultats ont été présentés dans la carte ci-dessous :

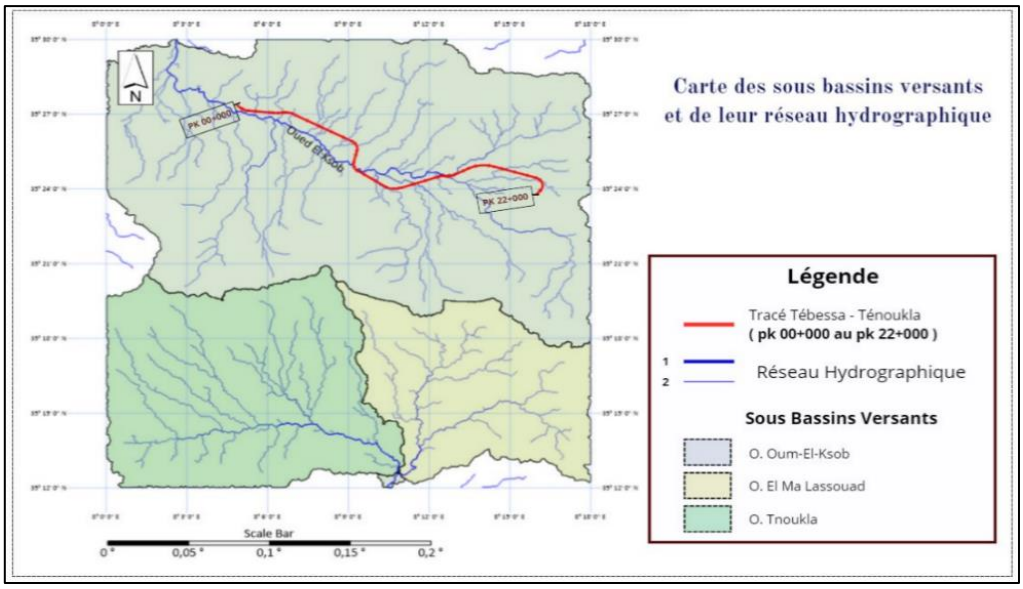


Figure VI.8 : Carte des sous bassins versants et leur réseau hydrographique traversés par la ligne Tébessa –Tenoukla

VI.1.2.1. Délimitation du bassin versant

Le bassin versant agit comme un réservoir naturel captant les précipitations et les guidant vers un point de sortie. Cette dynamique est façonnée par le climat local et les caractéristiques géographiques uniques de la zone.

Dans cette étape, nous avons délimité les bassins versants traversés par notre tracé en utilisant le logiciel **ArcGIS.**

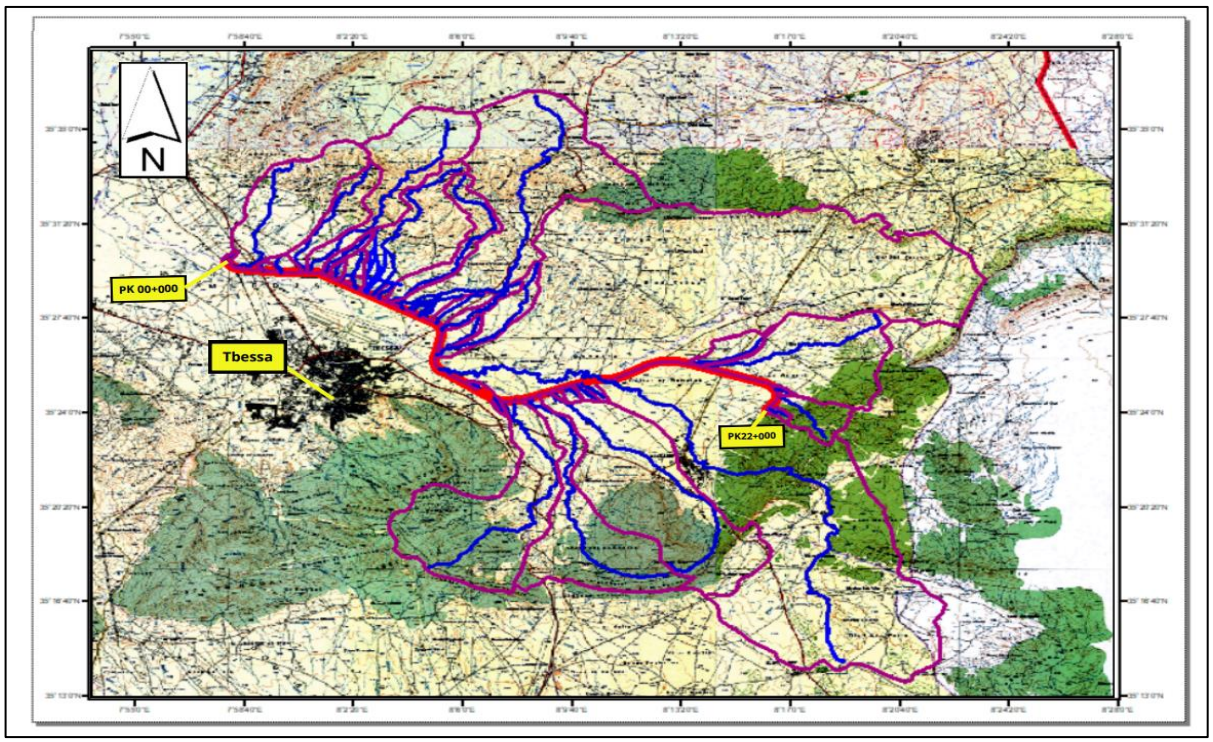


Figure VI.9 : La délimitation des bassins versants sur les cartes d'état-major (ArcGIS)

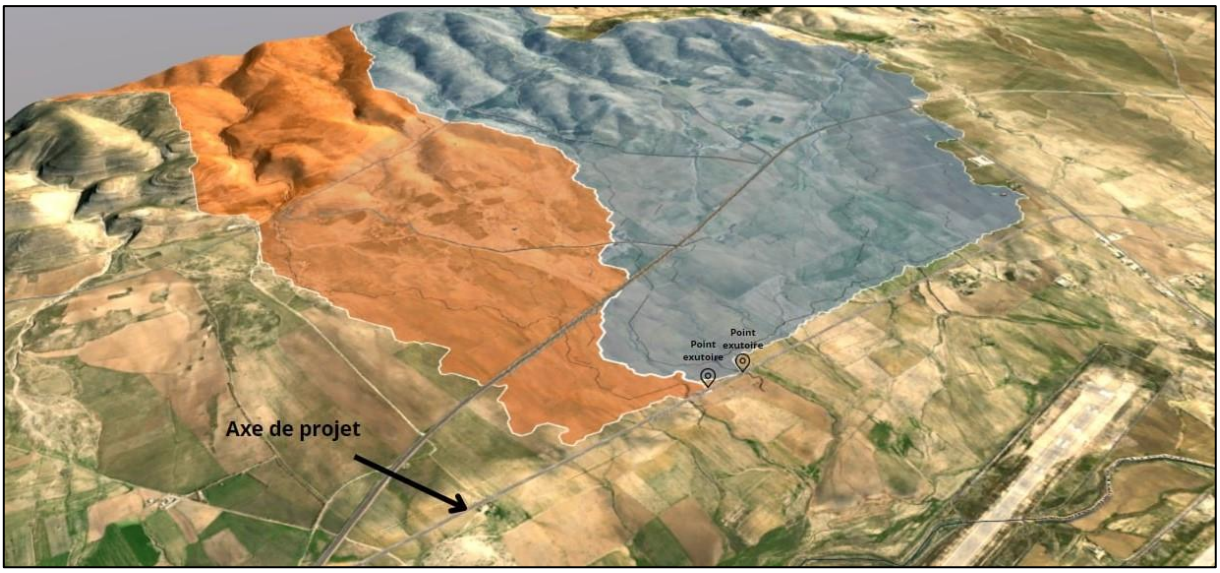


Figure VI.10 : Exemple de délimitation de deux bassins versants de notre tracé sur InfraWorks

➢ Les paramètres suivants ont été déterminés :

- S [Km²] : Surface du bassin versant.
- P [Km] : Périmètre du bassin versant.
- L_w [Km] : Longueur du plus long cours d'eau.
- H_{max} [m] : Altitude maximale.
- H_{min} [m] : Altitude minimale.
- H_{moy} [m] : L'altitude moyenne.
- I [m/m] : La pente.
- Tc [h] : Le temps de concentration.

➢ Pour le temps de concentration (Tc), la formule de de calcul a été choisie en fonction de la superficie du bassin versant :

- **Superficie inférieure à 5 km² :**

Le temps de concentration est calculé par la formule **des petits bassins** < 5km²

$$Tc = 0.127 \sqrt{\frac{S}{I}}$$

-Tc [h] : temps de concentration.
- S [Km²] : superficie du bassin versant.
- I [m/m] : pente moyenne du bassin versant.

- **Superficie comprise entre 5 et 25 Km²**

Le temps de concentration est calculé par la formule de **PASSINI** :

$$Tc = 0.108 \frac{\sqrt[3]{S \times Lw}}{\sqrt{I}}$$

- Tc [h] : temps de concentration.
- S [Km²] : superficie du bassin versant.
- L_w [Km] : longueur du cours d'eau principal.
- I [m/m] : pente moyenne du bassin versant.

- **Superficie supérieure à 25 Km²**

Le temps de concentration est calculé par la formule de **GIANDOTTI** : $$Tc = \frac{4\sqrt{S}+1.5\,Lw}{0.8\sqrt{Hmoy-Hmin}}$$

- Tc [h] : temps de concentration.
- S [Km²] : superficie du bassin versant.
- L_w [Km] : longueur du cours d'eau principal.
- Hmoy [m] : L'altitude moyenne.
- Hmin [m] : Altitude minimale.

Remarque : Ce projet actuel englobe un vaste bassin versant avec diverses caractéristiques. Pour améliorer la précision de l'estimation, l'intégration de quelques formules supplémentaires s'est avérée indispensable. Ainsi, le temps de concentration sera déterminé en calculant la moyenne des valeurs les plus similaires entre elles.

- Les caractéristiques des paramètres de bassins versants des oueds traversant la ligne minière pour le tronçon Tébessa et Tenoukla sont mentionnées dans le tableau récapitulatif suivant :

Tableau VI.7 : Caractéristiques morphométriques des bassins versants traversant la ligne minière tronçon Tébessa-Tenoukla

PK	N° :BV	Surface (km2)	Lw (km)	Hmax (m)	Hmin (m)	I (m/m)	Tc (h)
00+058	BV.01	0.12	0.66	808	787	0.0323	0.25
00+365	BV.02	12.11	6.23	1012	788	0.0360	2.40
01+297	BV.03	0.20	0.40	797	793	0.013	0.50
01+873	BV.04	0.56	0.82	813	798	0.0186	0.70
02+656	BV.05	4.25	6.27	1165	805	0.0638	1.04
02+766	BV.06	11.57	9.52	1330	805	0.0552	2.20
03+231	BV.07	0.74	2.42	886	810	0.0319	0.61
03+651	BV.08	0.28	0.87	828	813	0.0191	0.49
03+815	BV.09	0.73	1.62	852	812	0.0249	0.69
04+382	BV.10	0.22	0.54	821	814	0.0142	0.50
04+787	BV.11	10.197	8.3872	1189	812	0.0450	2.24
05+253	BV.12	0.24	0.82	825	811	0.0176	0.47
05+554	BV.13	4.46	8.84	1207	814	0.0444	1.27
05+653	BV.14	0.06	0.39	821	815	0.0158	0.24
06+330	BV.15	28.651	14.717	1299	819	0.0326	4.49
07+359	BV.16	1.10	2.08	865	829	0.0173	1.01
07+665	BV.17	1.01	4.11	931	831	0.0243	0.82
08+468	BV.18	1.03	2.21	858	817	0.0189	0.94
08+809	BV.19	3.09	5.92	974	816	0.0266	1.37
09+424	BV.20	234.59	30.05	1185	814	0.0245	6.90
10+492	BV.21	0.44	1.95	839	819	0.0128	0.75
11+583	BV.22	0.17	0.74	839	827	0.0165	0.41
11+917	BV.23	21.494	12.25	1396	830	0.0462	3.22
12+640	BV.24	15.71	11.82	1197	833	0.0308	3.51
13+302	BV.25	25.91	12.03	1356	836	0.0433	3.52
15+035	BV.26	87.783	21.152	1185	846	0.0161	4.69
18+078	BV.27	1.80	2.68	934	878	0.0226	1.13
18+490	BV.28	14.44	6.83	1066	882	0.0270	3.04

VI.1.3. Calcul des débits maximaux (Les crues)

L'intérêt de la détermination du débit maximum d'un cours d'eau est évident en raison des effets destructeurs bien connus de ces événements hydrologiques.

Lorsqu'on projette la réalisation d'importants aménagements, on doit déterminer le maximum probable de la crue pour lequel l'ouvrage devra être protégé. La crue maximale est caractérisée par :

- Le débit Max.
- La durée de la crue.
- Le volume écoulé durant la crue.

Pour évaluer les débits maximaux des bassins versants aux sites des franchissements les plus importants, des formules empiriques ont été utilisées et qui sont élaborées en fonction des caractéristiques physiques des bassins versants, il s'agit de :

Tableau VI.8 : Quelques formules utilisées dans le calcul du débit

Surface du bassin versant (km²)	10	50	200
Formule	Rationnelle	Transition	Crupedix

a. Formule Rationnelle :

$$\mathbf{Qmax} = \frac{\boldsymbol{Cr} \times \boldsymbol{I} \times \boldsymbol{A}}{\mathbf{3.6}}$$

- Q_{max} [m3 /s] : Débit de crue de fréquence.
- Cr : Coefficient de ruissellement.
- I [mm/h] : Intensité de pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration.
- A [km²] : Surface du bassin versant.

➢ Pour la détermination du coefficient du ruissellement Cr, nous avons opté pour la méthode de KENESSEY : $\boldsymbol{Cr = C1 + C2 + C3}$

- **C1 : dépend de la pente du cours d'eau principal (I), il varie :**

Tableau VI.9 : Valeur de C1

La pente (I)	C1
I < 3.5 %	0.01 - 0.05
3.5 % < I < 11 %	0.06 - 0.1
11 % < I < 35%	0.12 - 0.2
I >35 %	0.22 - 0.3

Les valeurs des pentes ont été représentées dans le tableau des caractéristiques morphométriques des bassins versants des écoulements superficiels traversés par le tracé du projet de la ligne minière pour le tronçon Tébessa – Tenoukla. Néanmoins, une carte des pentes a été réalisée pour le sous bassin versant comportant le projet. La carte des pentes est représentée dans le **chapitre III « Présentation du projet » (Figure III.5).**

- **C2 : dépend de la perméabilité du terrain, il varie :**

Tableau VI.10 : Valeur de C2

La perméabilité	C2
Les terrains imperméables	0.22 – 0.3
Les terrains pas assez perméables	0.1 – 0.2
Les terrains perméables	0.06 – 0.1
Les terrains très perméables	0.06 – 0.05

Les valeurs de la perméabilité ont été estimées en utilisant la carte géologique de la région de Tébessa au 1/50 000 **chapitre VII « Etude géologique et géotechnique » (Figure VII.2).**

- **C3 : dépend de la couverture végétale du bassin versant, il varie :**

Tableau VI.11 : Valeur de C3

La couverture végétale	C3
Les terrains rocheux	0.22 – 0.3
Les Prés	0.17 – 0.25
Les champs labours	0.07 – 0.15
Les forêts et les sols sableux	0.03 – 0.05

b. Formule de Transition :

Cette formule peut être justifiée dans la mesure où le débit décennal fourni par la formule rationnelle peut être parfois plus de 2 fois supérieur à celui fourni par la formule Crupedix. Le débit fourni par la formule de transition s'écrit :

$$Q_{(T)} = \alpha . QR_{(T)} + \beta . QC_{(T)}$$

Avec :

- $Q_{(T)}$ **[m³/s] :** Débit de projet de temps de retour T.
- $Q_{R(T)}$ **[m³/s] :** Débit fourni par la formule rationnelle de temps de retour T.
- $Q_{C(T)}$ **[m³/s]** : Débit fourni par la formule Crupedix de temps de retour T.
- **α et β** : Coefficients de pondération.

Tel que **α** varie linéairement de 1 à 0 lorsque la superficie (S) croît de 10 à 50 km².

$$\alpha = \frac{50-S}{40} \qquad \text{Et} \qquad \beta = 1 - \alpha$$

c. Formule de Crupedix :

La méthode Crupedix permet l'estimation du débit de pointe décennal Q10.

$$Q_{10} = A^{0.8} * \left(\frac{P_{10}}{80}\right)^2 * R$$

- **Q_{10} [m3/s]** : Débit de crue instantané de fréquence décennale.
- **A [Km²]** : Superficie du bassin versant.
- **P_{10} [mm]** : pluie journalière de période de retour décennale.
- **R** : Coefficient régional traduisant l'aptitude au ruissellement que l'on prendra ici égal à 1.

❖ Évaluation du débit Q_T de période de retour T

L'évaluation d'un débit de période de retour T compris entre 10 et 100 ans peut être obtenue par la formule suivante en admettant que la répartition statistique des valeurs observées suive la loi de Gumbel :

$$Q_T = Q_{10} + \Delta Q\left(\frac{y}{2.3} - 1\right)$$

Avec :

$$Q_{10} = A^{0.8} * \left(\frac{P_{10}}{80}\right)^2 * R$$

$$\Delta Q = Q100\,(R) - Q10\,(R)$$

- ΔQ : Résulte de la différence entre les débits décennal et centennal calculés par la formule rationnelle (R) pour le même bassin :

- y : calculée selon l'équation $y = \left(-\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right)\right)$.

Dans le tableau ci-après, nous évaluons les débits centennaux maximaux des Oueds en se référant à la méthode exposée antérieurement.

Tableau VI.12 : Les débits maximaux centennaux des oueds

PK	N° :BV	Surface (km2)	Lw (km)	Cr	I (m/m)	Tc (h)	Q_{100} (m3/s)
00+058	BV.01	0.12	0.66	0.46	0.0323	0.25	1.96
00+365	BV.02	12.11	6.23	0.46	0.0360	2.40	18.70
01+297	BV.03	0.20	0.40	0.45	0.013	0.50	1.84
01+873	BV.04	0.56	0.82	0.47	0.0186	0.70	4.17
02+656	BV.05	4.25	6.27	0.47	0.0638	1.04	23.32
02+766	BV.06	11.57	9.52	0.46	0.0552	2.20	14.47
03+231	BV.07	0.74	2.42	0.46	0.0319	0.61	5.91
03+651	BV.08	0.28	0.87	0.45	0.0191	0.49	2.62
03+815	BV.09	0.73	1.62	0.46	0.0249	0.69	5.35
04+382	BV.10	0.22	0.54	0.46	0.0142	0.50	2.07
04+787	BV.11	10.197	8.3872	0.50	0.0450	2.24	13.70
05+253	BV.12	0.24	0.82	0.41	0.0176	0.47	2.09
05+554	BV.13	4.46	8.84	0.45	0.0444	1.27	20.05
05+653	BV.14	0.06	0.39	0.42	0.0158	0.24	0.85
06+330	BV.15	28.651	14.717	0.5	0.0326	4.49	28.63
07+359	BV.16	1.10	2.08	0.46	0.0173	1.01	6.00
07+665	BV.17	1.01	4.11	0.46	0.0243	0.82	6.48
08+468	BV.18	1.03	2.21	0.46	0.0189	0.94	5.96
08+809	BV.19	3.09	5.92	0.46	0.0266	1.37	13.45
09+424	BV.20	112.36	44.53	0.46	0.0245	7.09	61.44
10+492	BV.21	0.44	1.95	0.42	0.0128	0.75	2.79
11+583	BV.22	0.17	0.74	0.42	0.0165	0.41	1.70
11+917	BV.23	21.494	12.25	0.50	0.0462	3.22	23.28
12+640	BV.24	15.71	11.82	0.47	0.0308	3.51	17.49
13+302	BV.25	25.91	12.03	0.47	0.0433	3.52	28.19
15+035	BV.26	87.783	21.152	1185	846	0.0161	4.69
18+078	BV.27	1.80	2.68	0.44	0.0226	1.13	8.64
18+490	BV.28	14.44	6.83	0.32	0.0270	3.04	21.19

VI.2. Étude hydraulique

Dans les régions sujettes aux phénomènes hydrologiques extrêmes tels que les crues ou les fortes précipitations, les études hydrauliques sont essentielles pour dimensionner les ouvrages hydrauliques transversaux et longitudinaux des voies ferrées.

Ces études permettent de concevoir des ouvrages capables de gérer efficacement les fluctuations hydrauliques, assurant ainsi la pérennité des infrastructures ferroviaires et la sécurité des voyageurs et du personnel.

VI.2.1. Méthode de Manning-Strickler :

L'approche consiste à vérifier que les ouvrages de drainage sont dimensionnés de manière à gérer efficacement les précipitations exceptionnelles évitant ainsi tout engorgement lors de conditions météorologiques extrêmes. De plus, le dimensionnement doit garantir des vitesses d'écoulement sécuritaires, généralement inférieures à 4 m/s dans les canaux bétonnés afin de maintenir l'intégrité des infrastructures.

Cette évaluation repose souvent sur l'utilisation de la méthode de Manning-Strickler pour estimer la capacité maximale de débit (débit de saturation) des ouvrages hydrauliques (transversaux et longitudinaux).

$$\mathbf{Qs = Ks\ Sm\ Rh^{2/3}\ I^{1/2}} \qquad \text{Et} \qquad \boldsymbol{Rh = \frac{Sm}{Pm}}$$

Avec :

- **Qs [m^3/s]** : Débit de saturation de l'ouvrage.
- **Ks** : Coefficient de rugosité pour le béton Ks=70.
- **Sm [m^2]** : Section mouillée de l'ouvrage hydraulique.
- **Rh [m]** : Rayon hydraulique.
- **I [m/m]** : Pente longitudinale de l'ouvrage.

VI.2.2. Dimensionnement des ouvrages transversaux :

Les dimensions sélectionnées pour les ouvrages sont celles qui satisfont aux deux critères suivants :

- ✓ **$Q_{100} < Qps$** Avec : Q100 : débit d'apport (de projet Qmax).
  Qps : le débit de saturation de l'ouvrage.
- ✓ **Les conditions d'auto-curage :**

L'auto-curage désigne la capacité intrinsèque d'un réseau d'assainissement à déplacer les particules solides. Ainsi, un bon auto-curage nécessite que la capacité de transport des particules solides soit suffisante pour prévenir leur sédimentation et leur accumulation dans le système. Ces conditions sont les suivants :

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

VI.2.2.1. Les buses :

$$Qs = Ks\ Sm\ Rh^{2/3}\ I^{1/2}$$

D'où $$\mathbf{Qs} = Ks \times \mathbf{I}^{\frac{1}{2}} \times \frac{(\frac{\mathbf{D}^2(\theta - \sin\theta)}{8})^{\frac{5}{3}}}{\left(\frac{1}{2}\theta \times \mathbf{D}\right)^{\frac{2}{3}}}$$

Tel que : θ = 2 arccos (1 - 2h /D) (rad).
h : la hauteur de remplissage (m).

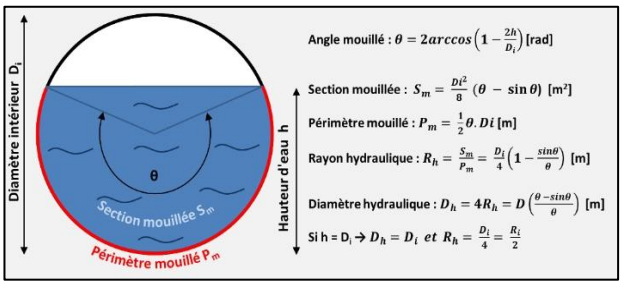


Figure VI.11 : Ouvrage hydraulique (buse)

Par la méthode des itérations on doit trouver le diamètre D de la buse en tenant compte d'une hauteur de remplissage h = 0.8D qui nous donne l'égalité entre le débit calculé par la formule de Manning-Strickler et le débit capable de la buse.

Remarque : Il est bien important de noter que le taux de remplissage des buses doit être < 80%.

❖ Exemple de calcul :

- Prenons le BV N03 : Qmax = 1.84 m^3/s ; Ks = 65 ; I = 0.006 m/m.

Par itération on trouve pour D = 1.070 m ; on obtient Qs = 1.839 m^3/s ≈ Q_{100} =1.84 m^3/s

On adopte un diamètre commercial : D = 1.2 m.

$$Qps = Ks.\sqrt{I}.\frac{(\frac{D^2(\theta - \sin\theta)}{8})^{\frac{5}{3}}}{\left(\frac{1}{2}\theta \times D\right)^{\frac{2}{3}}} = 2.49\ m^3/s > 1.84\ m^3/s$$

θ = 2 arccos (1 - 2h /D) ⟹ h = 0.754 m ⟹ Taux de remplissage Tr = 62.83 % < 80 %

Sm= $\frac{D2}{8}(\theta - sin\theta)$ = 0.748 m²

Vps = $\frac{Qps}{Sm}$ = $\frac{2.9}{0.748}$ = 3.33 m/s < 4 m/s

Rq = $\frac{Qmax}{Qps}$ = 0.1 donc rv= 0.64

V= Vps x rv = 3.33 x 0.64 =2.13 m/s > 0.6 m/s

Rq = $\frac{Qmax}{Qps}$ = 0.01 donc rv= 0.32

V= Vps x rv = 3.33 x 0.32= 1.07 m/s > 0.3 m/s

VI.2.2.2. Les dalots

Dans le dimensionnement d'un canal rectangulaire (HxB), il s'agit de calculer la section transversale du canal ainsi que la profondeur d'eau nécessaire en garantissant une hauteur de remplissage équivalente à 75% de la hauteur totale H et Qmax=Qps.

$$\mathbf{Qps = Ks\ I^{1/2}\ Sm\ Rh^{2/3}}$$

$$\boldsymbol{Qmax = Ks \times I^{0.5} \times (0.75 \times H \times B)\left(\frac{0.75 \times H \times B}{B + 1.5H}\right)^{\frac{2}{3}}}$$

Pour trouver les dimensions du dalot, nous supposons le B et par la méthode itérative on détermine la valeur de H selon la formule suivante :

$$\mathbf{Hi + 1} = \left(\frac{\boldsymbol{Qmax}}{\boldsymbol{Ks\ x\sqrt{I}}}\right)^{\frac{3}{5}} \times \frac{(\boldsymbol{B + 1.5Hi})^{\frac{2}{5}}}{\boldsymbol{0.75B}}$$

- Le critère d'arrêt $\boldsymbol{H_{i+1} - H_i < 10^{-3}}$.

❖ Exemple de calcul :

Prenons le BV N04 : Qmax =4.17 m3/s ; Ks = 65 ; I = 0.007 m/m ; B=3m.

Après le calcul itératif de l'équation précédente on obtient : H = 0.989 m.

On prend H = 1 m.

- Le dalot retenu (B x H) = (3m x 1m).

Sm = 2.25 m ; Pm = 4.50 m ; Rh = 0.500 m.

Qps = Ks $I^{1/2}$ Sm $Rh^{2/3}$ = 70 × $0.01^{1/2}$ × 4.54 × 0.75 = 7.71m^3/s > 4.17 m^3/s

Hc = $\sqrt[3]{\frac{Qps}{g \times B^2}}$ = 0.443 m < 0.75H = 0.75 m **(**condition de régime fluviale)

Vps = $\frac{Qps}{Sm}$ = 7.71/2.25 = 3.426 m/s < 4m/s

Tableau VI.13 : Dimensionnement des buses

N° BV	PK	Q_{100} (m^3/s)	Pente (%)	Ks	$D_{calculé}$ (m)	Dimension de l'ouvrage			Qps (m^3/s)	$h_{remplissage}$ (m)	Tr < 80 %	Sm (m)	Vps < 4 m/s	V >0.6 m/s	V >0.3 m/s	Vérification
BV.03	01+297	1.84	0.60	65	1.070	Buse	Φ	1200	2.49	0.754	62.83	0.748	3.33	2.13	1.07	**OUI**
BV.08	03+651	2.62	0.70	65	1.187	Buse	Φ	1200	2.69	0.933	77.75	0.945	2.85	1.82	0.91	
BV.10	04+382	2.07	0.70	65	1.087	Buse	Φ	1200	2.69	0.775	64.58	0.773	3.49	2.23	1.12	
BV.12	05+253	2.09	0.70	65	1.091	Buse	Φ	1200	2.69	0.781	65.08	0.779	3.46	2.21	1.11	
BV.14	05+653	0.85	0.60	65	0.801	Buse	Φ	1000	1.53	0.524	52.40	0.417	3.68	2.35	1.18	
BV.21	10+492	2.79	0.50	65	1.252	Buse	Φ	1500	4.13	0.889	59.27	1.041	3.97	2.84	1.42	
BV.22	11+583	1.7	0.60	65	1.040	Buse	Φ	1200	2.49	0.715	59.58	0.703	3.55	2.27	1.14	

Tableau VI.14 : Dimensionnement des dalots

N° BV	PK	Q_{100} (m3/s)	Ks	Pente (%)	Dimension de l'ouvrage				Sm (m^2)	Pm (m)	Rh (m)	$Qps>Q_{100}$ (m3/s)	$h_{remplissage}$ (m)	Tr < 75%	Vps	Vérification
					B	x	H	n							< 4 m/s	
BV.01	00+058	1.96	65	0.70	2	x	1	1	1.50	3.50	0.429	4.64	0.547	54.70	3.09	
BV.02	00+365	18.70	65	0.50	3	x	2	2	4.50	6.00	0.750	34.15	1.288	64.40	3.79	
BV.04	01+873	4.17	65	0.70	3	x	1	1	2.250	4.50	0.500	7.71	0.659	65.90	3.43	
BV.05	02+656	23.32	65	0.50	3	x	1.5	4	3.375	5.25	0.643	46.22	0.926	61.73	3.42	
BV.06	02+766	14.47	65	0.60	3	x	1	4	2.250	4.50	0.500	28.55	0.645	64.50	3.17	
BV.07	03+231	5.91	65	0.60	2	x	1.5	2	2.250	4.25	0.529	14.83	0.766	51.06	3.29	
BV.09	03+815	5.35	65	0.70	3	x	1	2	2.250	4.50	0.500	15.42	0.492	49.20	3.43	
BV.11	04+787	13.70	65	0.70	2	x	1.5	3	2.250	4.25	0.529	24.02	0.989	65.93	3.56	
BV.13	05+554	20.05	65	0.50	3	x	2	2	4.50	6.00	0.750	34.15	1.354	67.70	3.79	
BV.15	06+330	28.63	65	0.50	3	x	2	3	4.50	6.00	0.750	51.22	1.307	65.35	3.79	
BV.16	07+359	6.00	65	0.70	3	x	1	2	2.250	4.50	0.500	15.42	0.530	53.00	3.43	**OUI**
BV.17	07+665	6.48	65	0.70	3	x	1	2	2.250	4.50	0.500	15.42	0.557	55.70	3.43	
BV.18	08+468	5.96	65	0.80	3	x	1	2	2.250	4.50	0.500	16.48	0.505	50.50	3.66	
BV.19	08+809	13.45	65	0.60	3	x	1	3	2.250	4.50	0.500	21.41	0.728	72.80	3.17	
BV.20	09+424	61.44	65	0.50	3	x	2	6	4.50	6.00	0.750	102.44	1.375	68.75	3.79	
BV.23	11+917	23.28	65	0.50	3	x	1.5	4	3.375	5.25	0.643	46.22	0.925	61.66	3.42	
BV.24	12+640	23.96	65	0.50	3	x	1	6	2.250	4.50	0.500	39.09	0.716	71.60	2.90	
BV.25	13+302	43.02	65	0.50	4	x	1	8	3.00	5.50	0.545	73.64	0.700	70.00	3.07	
BV.26	15+073	24.10	65	0.50	3	x	2	3	4.50	6.00	0.750	51.22	1.157	57.85	3.79	
BV.27	18+078	8.64	65	0.60	2	x	2	2	3.00	5.00	0.600	21.49	1.004	50.20	3.58	
BV.28	18+490	23.85	65	0.50	3	x	2	3	4.50	6.00	0.750	51.22	1.148	57.40	3.79	



Figure VI.12 : Implantation des ouvrages hydrauliques dans notre trace

VI.2.3. Dimensionnement des ouvrages longitudinaux (Les fossés) :

Le bon écoulement des eaux provenant des talus et des pentes voisines vers la plateforme de la voie est essentiel et cela est facilité par un système de drainage longitudinal tels que les fossés. Ils assurent un drainage efficace des eaux de ruissellement, préservent la stabilité des talus et protègent les infrastructures ferroviaires, garantissant ainsi la sécurité et la durabilité du réseau.

Nous avons étudié le profil travers et les caractéristiques du terrain naturel afin de déterminer les surfaces du drainage. Type de fossé proposé (type 01) :

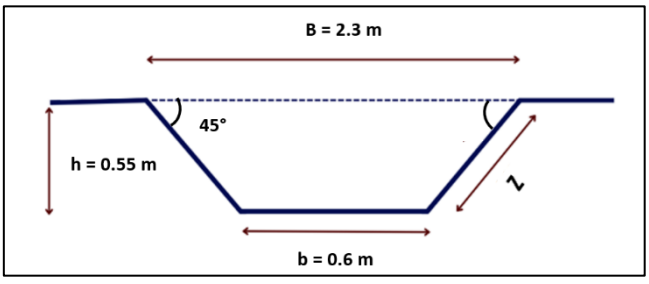


Figure VI.13 : Le faussée trapézoïdal type 01

❖ **Calcul des débits d'apport :**

Pour le calcul hydraulique de fossé, la formule de Manning Strickler a été utilisée :

$$Qs = Ks \times Sm \times Rh^{2/3} \times I^{1/2}$$

Avec : z = 0.778 m

Sm = (b + z × h) × h = 0.565 m²

Pm = b + 2h. $\sqrt{1+z^2}$ = 1.994 m²

- **Les hypothèses formulées pour le dimensionnement :**

- Coefficient de rugosité Strickler Ks = 65 (béton lisse)
- Le débit à évacuer qui est la somme des 3 débits La plate-forme, les bermes et les talus :

$$Qa = Qpf + Qt + QB$$

- La pente des fossés en zone de déblai correspond à celle du profil en long de la voie
- Dans les calculs de débit, on considère le cas le plus défavorable : quand il y a un déblai qui s'étend sur une grande distance avec une hauteur importante.
- Nous calculons chaque débit en appliquant la méthode rationnelle :

$$Q = 0.278 \times Cr \times I \times A$$

Q [m³/s] : Débit de crue correspondant au bassin versant

C : Coefficient de ruissellement.

I [m/m] : Pente longitudinale.

A [Km²] : Surface du bassin versant considérer (la plateforme -les talus – la berme).

Tableau VI.15 : Débit des remblai et déblais

		Déblais		
		Le cas plus défavorable : H_{max} = 14m Longueur = 2936.93 m Largeur de la plateforme = 6.7m		
	Formule	**Plateforme**	**Talus**	**Bermes**
S (Km²)	**A = d × l**	0.004452	0.067549	0.001309
P[m/m]	-	0.04	2/3	0.05
Cr	-	0.85	0.4	0.4
Tc [h]	$Tc = 0.127 \times \sqrt{\frac{S}{P}}$	0.0423	0.1278	0.0205
I [mm/h]	$I = a \times t^{-b}$ Avec : a = 28.7 ; b= 0.76	317.58	137.062	550.74
Q [m³/s]	$Q = 0.278 \times Cr \times I \times A$	0.334	1.0295	0.0801
Q_{total} [m³/s]	**Qpf + QT + QB**	1.443		
Qps [m³/s]	**$Qps = Ks\ Sm\ Rh^{2/3}\ I^{1/2}$**	Type 01		
Type de faussé	-	2.243		
Vérifications	**$Qps > Q_{total}$**	Oui		
	Vps < 4m/s	3.96		

Commentaire

Le tableau de calcul du fossé offre des dimensions précises basées sur le débit à évacuer, la pente des talus et la surface à drainer assurant une évacuation efficace des eaux de surface. Ces résultats garantissent la stabilité hydraulique.

Tableau VI.16 : Dimensions du faussé adopté type 01

b	B	h	z	Sm (m^2)	Pm (m)	Rh (m)	Ks	I (m/m)	Qps (m3/s)	Vps < 4m/s
0.6	1.7	0.55	0.778	0.565	1.994	0.284	65	0.02	2.243	3.96

Les dimensions des fossés ont été choisies en fonction des conditions suivantes :

- Qtotal< Qs
- Vps < 4m/s.

➢ Le fossé choisi pour notre projet est le suivant :

B= 1.7m ; b = 0.6m ; h = 0.550 m ; pente =1/1.

VI.3. Conclusion :

En résumé, ce chapitre a traité de l'analyse hydrologique et hydraulique essentielle à la sécurité et à la stabilité de notre projet. Nous avons évalué les caractéristiques des bassins versants ainsi que les débits d'eau, et dimensionné les infrastructures hydrauliques transversales et longitudinales. Ce chapitre nous a permis d'appliquer les connaissances acquises tout au long de notre formation, notamment dans le domaine du calcul hydraulique.

Nous avons ainsi retenu l'importance cruciale d'une étude hydraulique minutieuse pour dimensionner correctement les ouvrages hydrauliques de notre projet, afin de réduire les risques d'inondation et d'assurer la sécurité et la durabilité de l'infrastructure ferroviaire, en conformité avec les normes de dimensionnement des ouvrages hydrauliques.

CHAPITRE VII :

ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

CHAPITRE VII : ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

Introduction

L'étude géologique et géotechnique est essentielle pour la planification et la réalisation de projets d'ingénierie et de construction. Elle analyse les caractéristiques des sols et des roches pour fournir des recommandations sécurisées.

La géologie prévoit les risques naturels comme les tremblements de terre tandis que la géotechnique évalue la stabilité des fondations et des structures souterraines. En combinant ces expertises. Ces analyses permettent d'élaborer des solutions personnalisées qui garantissent la pérennité et la fiabilité des infrastructures construites.

VII.1.Étude géologique

Explorant les structures géologiques souterraines, l'étude géologique en question se focalise sur une analyse exhaustive des formations géologiques locales visant à révéler les mystères enfouis du sous-sol. En scrutant attentivement les caractéristiques lithologiques. la configuration et l'évolution géologique cette cherche à anticiper les risques géologiques potentiels susceptibles d'influencer les étapes de planification de construction et d'exploitation du réseau ferroviaire.

En outre, elle s'emploie à réduire les répercussions environnementales en proposant des solutions d'atténuation adaptées tout en distinguant les sites proposant des matériaux réutilisables de ceux de qualité inférieure facilitant ainsi une gestion efficiente des ressources tout au long du projet.

VII.1.1. Aspect tectonique de la zone d'étude

La zone d'étude est un bassin de sédimentation modérément subsident formé au cours du Tertiaire et du Quaternaire. Son élément principal est le fossé d'effondrement de Tébessa résultant de mouvements récents du socle. Les structures anti-miocènes sont simples avec des failles rares tandis que les effondrements post-miocènes sont alignés Nord-Ouest – Sud-Est. L'ascension par diapirisme des argiles à gypse du Trias a débuté tôt et s'est prolongée jusqu'au Villafranchien inclus.



Figure VII.1 : Esquisse tectonique de la zone d'étude (W.M. Kowalski et al. 1997)

VII.1.2. Aperçue géologique local

La géologie de Tébessa se distingue par un bassin d'effondrement des formations crétacées et éocènes progressivement rempli par des sédiments d'origine Mio-plio quaternaire. Les plaines de la région sont dominées par des dépôts continentaux insérés dans la structure Nord-Auresien et de l'Atlas Saharien.

D'après la carte géologique 1/50 000 de la wilaya de Tébessa, la zone d'étude présente une géologie hétérogène. Le tracé de la voie ferrée traverse principalement des formations géologiques quaternaires récentes ainsi que des formations géologiques quaternaires anciennes.

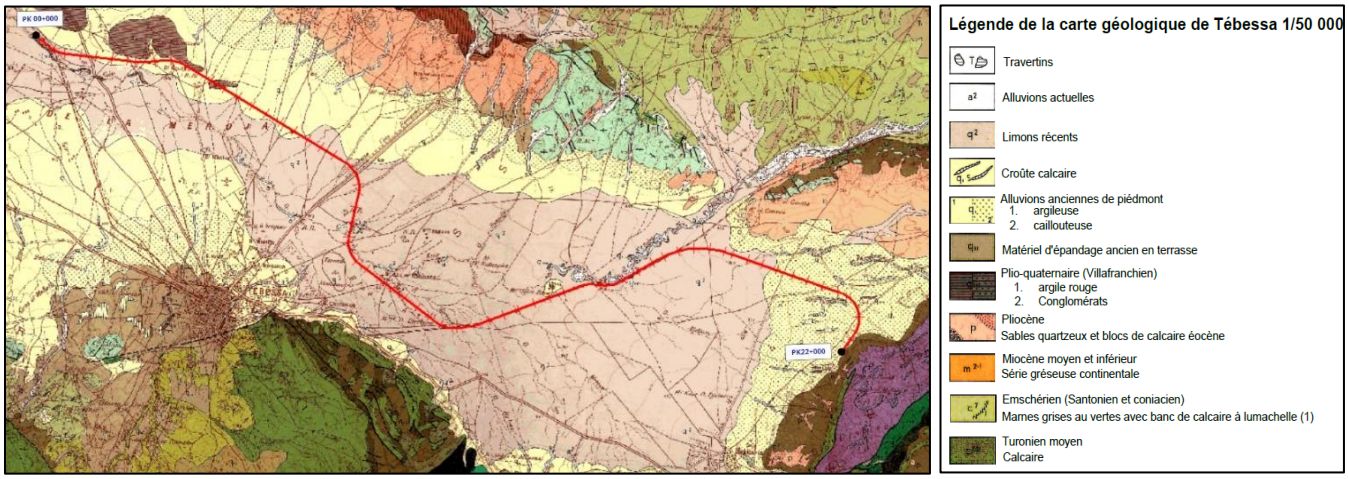


Figure VII.2 : Tracé sur carte géologique de Tébessa 1/50 000

VII.1.3. Hydrogéologie le long du tracé :

Du Pk 0+000 au Pk 22+000, le tracé traverse des formations Quaternaire (Holocène) caractérisées par des alluvions actuelles et récentes : sables, Graviers, calcaire, marne et argiles. Ces formations présentent le remplissage alluvial de la plaine de Tébessa.

Les caractéristiques hydrogéologiques de cette série détritique diffèrent d'un fossé à un autre à cause du type des matériaux de remplissage dominant et de la nature des formations qui bordent le fossé.

VII.2.Etude géotechnique

L'étude géotechnique consiste à évaluer les propriétés mécaniques et géologiques du sol pour guider la conception et la construction de structures. Elle comprend des investigations telles que l'analyse des caractéristiques du sol, des essais de laboratoire et sur le terrain, ainsi que la formulation de recommandations pour soutenir la stabilité et la longévité des initiatives.

VII.2.1. Contenu de la campagne d'investigation géotechnique

VII.2.1.1. Reconnaissance in- situ

La campagne de reconnaissance géotechnique menée dans la zone d'étude objet a comporté l'exécution des sondages et essais in-situ suivants :

- **Vingt (20)** sondages carottés réalisés en phase APD du projet entre 10.00m et 25.00 m de profondeur chacun avec prélèvements d'échantillons intacts et remaniés pour des essais de laboratoire.
- **Quatorze (14)** sondage pressiométrique réalisés en phase APD du projet de 10 à 25m de profondeur réalisée en phase d'exécution. à raison d'un essai tous les 1.00m pour les pressiomètre de la phase exécution.
- **Dix-Sept (17)** puits de reconnaissance réalisés en phase APD du projet de 3 à 4 m de profondeur.
- **Vingt (20)** pénétromètre dynamique réalisés en phase APD du de 3 m de profondeur.
- **Quatre (04)** Pénétromètre statique CPT.

Remarque : La localisation des sondages et essais in -situ réalisés du P K00+000 au PK22+000 sont représentés dans l'annexe **(voir ANNEXE D).**

VII.2.1.2. Reconnaissance au laboratoire

Les échantillons intacts et remaniés prélevés dans les puits reconnaissance et les sondages carottés à différentes profondeurs ont fait l'objet d'analyse en laboratoire. Elles ont consisté à l'exécution des essais suivants :

- **Essais Physiques**

- Analyses granulométrie.
- Les limites d''Atterberg.
- Teneur en eau.
- Densité.
- Indice CBR.
- Essais VBS.
- Proctor modifié.

a. Essais Mécaniques

- Détermination des caractéristiques mécaniques de résistance au cisaillement à la boite de Casagrande :

- Cohésion interne apparente du sol (C)
- Angle de frottement apparent du sol φ.

- Détermination des caractéristiques mécaniques de compressibilité à l'œdomètres :

- Pression de consolidation (Pc)
- Indice de compression (Cc)
- Indice de gonflement (Cg)

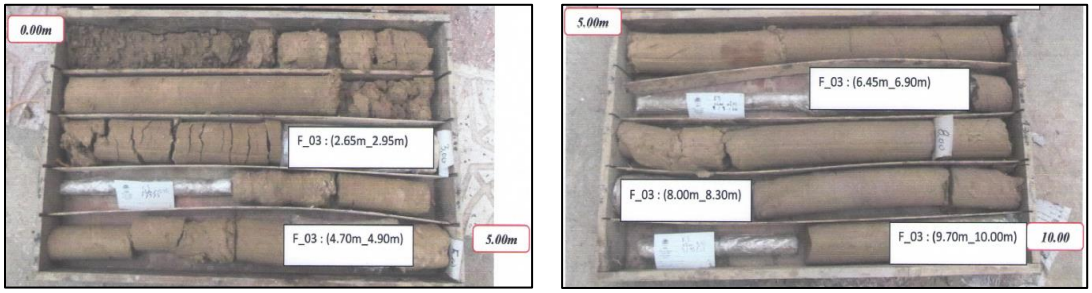


Figure VII.3 : Sondage carotté F03-CTT du 04+ 732 (0.00m -10.00m)

VII.2.2. Lithologie de la zone d'étude

En accord avec les résultats de la campagne géotechnique menée dans la zone d'étude. les principales formations géologiques traversées par le tracé sont détaillées dans le tableau ci-dessous :

Tableau VII.1 : Lithologie de la zone d'étude

	Profondeur (m)	La lithologie de la zone d'étude
SC-19	0.00 - 15.25	Marne sableuse
F-01	0.0 – 0.50	Terre végétale.
	0.50 – 2.60	Argile marneuse.
	2.60 – 6.50	Argile marneuse.
	6.50 – 8.20	Argile marneuse
	8.20 – 13.50	Argile marneuse.
	13.50 – 15.00	Argile marneuse.
F-02	0.0 – 0.50	Terre végétale.
	0.50 – 2.30	Argile marneuse.
	2.30 – 10.00	Argile marneuse.
	10.00 – 12.00	Argile marneuse compacte avec présence des graviers de tuf.
F-03	0.0– 0.50	Terre végétale.
	0.50 – 9.00	Argile marneuse.
	9.00 – 12.00	Argile marneuse
	12.00 – 16.00	Argile marneuse.
	12.00 – 20.00	Argile marneuse.
F-04	0.0 – 0.50	Terre végétale
	0.50 – 3.00	Argile marneuse.
	3.00 – 20.00	Argile marneuse.
F-05	0.0 – 0.30	Terre végétale.
	0.30 – 2.70	Argile marneuse.
	2.70 – 12.00	Argile marneuse.
F-06	0.0 – 0.50	Terre végétale ;
	0.50 – 2.50	Argile marneuse.
	2.50 – 12.00	Argile marneuse avec présence des graviers de tuf.
SC-20	0.00 - 0.30	Terre végétale.
	0.30 - 3.30	Argile sableuse.
	3.30 - 12.90	Marne (altérée) sableuse peu graveleuse.
	12.90 - 15.45	Sable et graviers dans une matrice marneuse.
SC-21	0.00 - 0.30	Terre végétale.
	0.30- 1.20	Argile marneuse.
	1.20 - 15.25	Marne sableuse avec des passages sableux graveleux notamment entre (4.90 à 5.70m). (7.70 à 8.70m) et (9.90 à 11.50m).
F-07	0.0 – 0.30	Terre végétale.
	0.30 – 6.00	Argile marneuse.
	6.00 – 15.00	Argile marneuse.
F-08	0.0 – 0.50	Terre végétale
	0.50 – 6.00	Argile marneuse.
	6.00 – 7.70	Argile marneuse.
	7.70 – 8.60	Argile marneuse graveleuse caillouteuse.
F-09	0.0 – 0.30	Terre végétale.
	0.30 – 7.20	Argile marneuse.
	7.20 – 12.00	Argile marneuse.
F-10	0.0 – 0.50	Terre végétale.
	0.50 – 5.80	Argile marneuse.
	5.80 – 7.25	Argile marneuse.
	7.25 – 12.00	Argile marneuse.
F-11	0.0 – 0.30	Terre végétale.
	0.30 – 2.40	Argile marneuse.
	2.40 – 7.00	Argile marneuse.
	7.00 – 12.00	Argile marneuse.
F-12	0.0 – 0.30	Remblai ancien tracé.
	0.30 – 6.45	Argile marneuse.
	6.45 – 8.00	Sable argileux marneux.
	8.00 – 12.00	Argile marneuse.
F-13	0.0 – 0.50	Terre végétale.
	0.50 – 6.00	Argile marneuse.
	6.00 – 7.70	Argile marneuse.
	7.70 – 8.60	Argile marneuse graveleuse caillouteuse.
	8.60 – 12.00	Argile marneuse.
SC-22	0.00 - 3.30	Tuf carbonaté.
	3.30 - 15.25	Marne sableuse avec passage sableux graveleux à 6.30-7.20m.
SC-23	0.00 - 0.90	Argile limono-sableuse plus au moins graveleuse.
	0.90- 15.25	Argile sableuse avec cristaux de gypse-sable graveleux voir caillouteux entre 3.50 et 4.50m -cailloux et galets notamment entre 11 à 13.60m
F-14	0.0 – 0.30	Terre végétale.
	0.30 – 7.20	Argile marneuse.
	7.20 – 12.00	Argile marneuse.

VII.2.3. Synthèse des résultats géotechniques

Le profil géotechnique montre une stratigraphie en bicouche : sable fin compact constituant le substratum mais avec deux sections distinctes :

- De PK0+000 à PK18+000 : quaternaire composé principalement d'argile sableuse ou marneuse avec parfois une fine couche de sable argileux marneux.
- De PK18+000 à PK22+000 : introduction d'une couche alluvionnaire jusqu'à 4 m de profondeur suivie d'argile sableuse ou marneuse.

→ Les tableaux ci-dessous présentent un résumé des essais de laboratoire sur les échantillons récupères des puits de reconnaissance et des sondages carottés réalisés en APD ainsi que la classification du sol selon **GTR** et **UIC 719R.**

Tableau VII.2 : Synthèse des résultats géotechniques sur les sondages carottés

PK	N° Sondage	Profondeur (m)		W (%)	γ_d (t/m^3)	γ_h (t/m^3)	Sr (%)	Analyse granulométrique			Limites d'Atterberg			Cisaillement UU à la boite		Cisaillement CD à la boite		Essai œdométrique			Classification GTR et UIC	
		De	À					<2mm (%)	<80µ (%)	<2µ (%)	WL (%)	WP (%)	I_p (%)	C (bar)	ϕ	C' (bar)	ϕ'	Pc (bar)	Cc (%)	Cg (%)	GTR	UIC
PK 02+760	F-01	1.30	1.60	19.84	1.66	2.0	85.4	100.0	100.0	74.0	48.28	24.16	24.20	0.35	10.22	/	/	1.46	24.32	2.28	A2	QS1
		5.70	6.00	17.27	1.73	2.0	83.0	89.0	82.0	57.0	46.15	23.12	23.03	/	/	/	/	1.44	20.32	3.00	A2	QS1
		10.45	11.00	21.77	1.67	2.1	95.1	100.0	100.0	76.0	50.47	25.30	25.17	/	/	/	/	1.12	15.99	2.47	A3	QS1
PK 03+650	F-02	2.45	2.65	22.31	1.54	1.9	79.9	100.0	100.0	71.5	47.07	23.72	23.35	0.37	/	/	/	1.07	19.32	3.19	A2	QS1
		10.40	10.65	17.11	1.82	2.1	95.4	100.0	100.0	73.0	48.15	24.12	24.03	/	/	/	/	1.44	21.98	2.8	A2	QS1
PK 04+732	F-03	2.65	2.95	16.25	1.8	2.1	87.6	90.0	83.0	59.0	54.02	26.82	27.20	0.18	14.01	/	/	1.61	21.32	4.69	A3	QS1
		9.70	10.00	19.86	1.71	2.0	92.5	99.0	94.0	68.0	56.12	27.92	28.20	0.22	16.06	/	/	1.29	14.66	4.04	A3	QS1
		14.70	15.00	26.19	1.53	1.9	98.4	100.0	98.0	69.5	57.87	29.00	28.87	0.32	20.63	/	/	1.62	23.98	6.64	A3	QS1
		18.45	19.00	22.35	1.62	2.0	90.4	100.0	94.0	72.0	57.26	28.85	28.41	0.30	20.63	/	/	1.21	18.32	5.47	A3	QS1
PK 04+975	F-04	3.00	3.40	22.16	1.64	2.0	92.4	100.0	100.0	80.0	59.99	28.57	28.42	0.00	/	/	/	/	/	/	A3	QS1
		8.00	8.50	22.13	1.66	2.0	95.2	100.0	100.0	75.0	52.94	26.75	26.19	0.30	18.47	/	/	0.95	15.16	2.80	A3	Q51
Pk 06+075	F-05	2.45	2.70	20.98	1.63	2.0	86.2	100.0	100.0	71.0	51.45	25.74	25.71	0.32	7.47	/	/	1.31	19.99	2.47	A3	QS1
		4.60	5.00	22.54	1.65	2.0	95.5	100.0	100.0	79.0	51.28	25.58	25.7	0.36	9.71	/	/	1.07	16.32	3.19	A3	Q51
Pk 06+700	F-06	0.50	2.50	/	/	/	/	100.0	100.0	74.0	53.06	26.34	26.72	/	/	/	/	/	/	/	A3	QS1
		5.50	5.90	23.6	1.67	2.1	100.0	100.0	100.0	69.0	48.81	24.62	24.19	0.33	12.43	/	/	1.29	19.65	2.87	A2	QS1
Pk 7+542	SC-20	2.50	2.92	17.7	1.70	2.0	80.0	99.6	94.2	70.6	53.00	/	31.00	/	/	0.26	27.09	0.57	22.59	4.15	A3	QS1
		7.70	8.05	19.21	1.72	2.1	90.0	100.0	97.8	/	53.00	/	32.00	/	/	0.15	28.19	3.89	18.6	3.49	Al	QS1
Pk 08+534	SC-21	3.20	3.60	18.46	1.76	2.1	100.0	97.4	82.0	38.1	41.00	/	24.00	/	/	0.34	25.62	1.04	12.96	2.44	A2	QS1
		8.70	9.05	18.95	1.79	2.1	100.0	99.8	85.0	/	37.00	/	21.00	/	/	0.52	24.3	0.92	11.6	4.48	A2	QS1
Pk 09+420	F 07	4.50	4.80	22.96	1.66	2.0	98.8	100.0	100.0	70.0	47.10	23.59	23.55	0.37	10.25	/	/	1.61	15.32	3.71	A2	QS1
		7.65	8.00	20.98	1.72	2.1	99.3	100.0	100.0	67.0	47.85	23.76	24.09	/	/	/	/	1.81	16.65	3.06	A2	QS1
Pk09+840	F -08	4.50	4.8	26.32	1.50	2.0	88.7	100.0	100.0	74.0	59.49	29.74	29.75	/	/	0.39	12.15	1.43	21.32	3.13	A3	QS1
		7.00	7.45	17.5	1.77	2.1	90.0	100.0	100.0	73.0	58.31	29.19	29.12	/	/	0.47	9.12	1.42	18.32	2.21	A3	QS1
PK 11+ 810	F-09	2.70	3.00	8.85	1.78	2.1	82.7	100.0	100.0	74.0	58.54	29.31	29.23	0.48	0.49	/	/	1.30	18.65	2.80	A3	QS1
		9.45	9.80	17.46	1.78	2.1	91.1	100.0	100.0	73.0	57.54	28.57	28.97	0.49	8.12	/	/	1.78	15.32	3.78	A3	QS1
PK 12+200	F-10	3.60	4.00	10.84	1.86	2.1	/	98.2	90.5	36.3	49.08	23.69	25.39	0.37	17.20	/	/	2.45	17.08	3.65	A3	OS1
		6.45	6.70	17.10	1.68	1.7	/	99.0	98.0	40.0	55.16	26.81	28.35	0.39	10.92	/	/	2.99	11.43	3.76	A3	QS1
		9.45	9.75	8.13	1.73	2.0	/	97.0	86.0	28.0	48.85	23.75	25.80	/	/	/	/	2.44	19.61	3.88	A3	OS1
PK 13+ 190	F-11	13.50	17.00	11.95	1.70	2.0	/	98.5	83.0	22.0	43.56	22.44	21.12	0.35	12.17	/	/	1.58	14.45	2.99	A2	OS1
		4.40	4.70	8.47	1.78	2.1	/	98.5	95.0	36.0	49.23	23.41	25.82	0.40	10.31	/	/	2.80	12.97	4.10	A3	QS1
		8.00	8.45	8.37	1.75	2.1	/	99.5	94.5	17.9	48.57	23.22	25.35	/	/	/	/	3.24	20.04	3.88	A3	OS1
PK 15+000	F-12	2.15	2.45	10.78	1.97	2.2	/	99.0	93.5	20.0	5.32	26.51	26.69	0.36	9.74	/	/	3.10	10.12	3.54	A3	QS1
		7.25	7.50	10.91	1.88	2.1	/	99.0	89.0	4.0	39.42	21.46	17.96	0.40	10.30	/	/	1.22	11.69	3.21	A2	QS1
		10.60	11.00	18.34	1.64	1.9	/	99.0	98.0	4.0	42.86	21.75	21.11	/	/	/	/	1.24	14.22	2.77	A2	QS1
PK 18+460	F-13	5.60	6.00	11.89	1.90	2.1	76.1	100.0	100.0	75.0	59.86	30.00	29.86	/	/	/	/	1.04	12.86	2.02	A3	QS1
		10.40	10.80	14.33	1.67	2.2	62.7	100.0	100.0	74.0	58.76	29.34	29.42	/	/	/	/	1.15	9.22	1.82	A3	QS1
		16.30	16.70	22.02	1.62	2.1	89.1	100.0	100.0	73.0	57.67	28.83	28.84	/	/	/	/	1.10	18.55	1.89	A3	QS1
PK19+750	SC 20	2.00	2.40	/	/		/	/	/	/	57.48	28.56	28.92	/	/	/	/	/	/	/	A3	QS1
PK 20+ 135	SC -23	12.00	15.50	20.95	1.66	2.0	90.0	99.8	99.1	63.2	60.00	/	37.00	/	/	0.25	32.01	1.46	18.35	3.99	A3	QS1
		5.45	5.80	23.05	1.60	2.0	90.0	99.1	97.4	0.0	62.00	/	39.00	/	/	0.58	24.01	3.01	14.97	5.43	A3	QS1
PK 21+668	F-14	2.00	10.00	/	/	/	/	36.0	11.0	0.0	/	/	/	0.11	24.42	/	/	2.05	16.99	2.15	/	QS1

Tableau VII.3 : Synthèse des résultats géotechniques sur les puits de reconnaissances

PK	N° Sondage	Profondeur (m)		Analyse granulométrique		W (%)	Limites d'Atterberg			Proctor		VBS	Classification	
		De	A	<2mm (%)	<80u (%)		WL (%)	WP (%)	Ip (%)	g_d (t/m3)	W_{opm}		GTR	UIC
PK 0+380	PU-01	0.5	4.0	100.0	100.0	24.22	54.62	27.26	27.36	1.61	7.7	3.66	A2m	QS1
PK 0+800	PU-02	0.4	4.0	100.0	100.0	14.94	45.98	22.58	23.40	1.74	10.1	2.66	A2s	QS1
PK 01+700	PU-03	0.3	3.7	100.0	100.0	21.95	50.02	24.74	25.28	1.64	10.0	2.66	A3m	QS1
PK 02+885	PU-04	1.5	4.0	100.0	100.0	26.58	54.23	27.11	27.12	1.58	7.6	2.00	A1h	QS0
PK 03+234	PU-05	0.4	4.0	100.0	100.0	17.65	48.27	24.12	24.15	1.70	11.1	2.53	A2s	QS1
PK 05+357	PU-06	0.5	3.5	100.0	100.0	16.28	52.52	26.37	26.15	1.72	10.1	2.66	A3ts	QS1
PK 09+120	PU-08	1.5	3.8	100.0	100.0	19.05	55.84	27.77	28.27	1.68	7.3	2.00	A1th	QS0
PK 11+100	PU-09	1.7	3.7	100.0	100.0	17.65	53.16	26.77	26.39	1.70	9.8	4.33	A3ts	QS1
PK 14+300	PU-10	1.5	3.9	100.0	100.0	31.58	47.27	23.11	24.16	1.52	11.6	1.66	A1th	QS0
PK 15+700	PU-11	1.6	3.8	100.0	100.0	21.21	47.79	24.25	23.54	1.65	9.9	2.00	A1th	QS0
PK 16+800	PU-12	1.7	4.0	99.0	94.0	29.03	34.84	17.58	17.26	1.55	14.2	3.00	A2th	QS0
PK 18+040	PU-13	1.2	4.0	98.0	9.0	8.91	21.99	11.13	10.86	2.02	5.5	0.66	B4th	QS0
PK 19+500	PU-14	0.5	4.0	100.0	100.0	8.70	46.56	23.32	23.24	1.84	9.7	2.26	A2h	QS0
PK 20+900	PU-15	1.7	4.0	86.0	81.0	23.46	53.09	26.37	26.72	1.62	12.0	2.66	A3m	QS1
PK 21+300	PU-16	1.6	3.9	99.0	67.0	21.21	35.98	18.14	17.84	1.65	7.5	1.33	A1th	QS0
PK 21+668	PU-17	2.0	3.8	39.0	18.0	2.33	31.62	15.74	15.88	2.15	5.7	0.66	B5ts	QS2

Tableau VII.4 : L'analyse chimique sur les échantillons prélevés intacts et remaniés

PK	N° Sondage	Profondeur (m)		Analyses chimiques				Classification selon CaCo3	Classe d'agressivité	Matière organique
		De	A	Sulfate (%)	Chlorure (%)	Carbonate (%)	MO (%)			
PK2+760	F-01	1.3	1.6	0.27	0.31	31.2	1.88	Marne	A1	NO
PK3+360	SC-19	2.5	2.8	0.1854	0.21	39.81	5.51	Marne	A0	FO
PK3+650	F-02	2.45	2.65	0.16	0.31	30	1.93	Marne	A0	NO
PK4+732	F-03	2.65	2.95	Traces	0.31	32.4	0.63	Marne	A0	NO
PK4+ 975	F-04	3.0	3.4	1.02	0.35	44.8	1.15	Marne	A2	NO
PK6+ 075	F-05	0.9	3.0	1.05	0.28	35.6	2.09	Marne	A2	NO
PK6+300	SC 07	0.0	2.0	5.92	0.18	33.46	/	Marne	A4	/
PK6+700	F-06	0.50	2.50	0.25	0.35	35	1.72	Marne	A1	NO
PK7+542	SC-20	2.50	2.92	0.2266	0.18	42.59	5.82	Marne	A0	FO
PK8+534	SC-21	3.20	3.60	0.2389	0.18	28.7	10.1	Argile marneuse	A1	FO
PK9+420	F-07	4.50	4.80	0.95	0.35	35.8	1.57	Marne	A2	NO
PK 9+840	F-08	4.50	4.80	1.05	0.31	31.4	1.78	Marne	A2	NO
PK11+ 810	F-09	2.70	3.00	1.09	0.28	26.80	1.57	Argile marneuse	A2	NO
PK12+ 200	F-10	3.60	4.00	1.17	0.28	34.40	2.30	Marne	A2	NO
PK12+650	SC 13	0.0	2.0	6.24	0.21	21.92	/	Argile marneuse	A4	/
PK13+ 190	F-11	1.35	1.70	1.49	0.24	25.40	2.19	Argile marneuse	A3	NO
PK15+ 000	F-12	2.15	2.45	0.6	0.31	34.4	2.04	Marne	A2	NO
PK18+ 460	F-13	2.0	2.3	0.27	0.31	32.4	0.94	Marne	A1	NO
PK18+630	SC 18	0.0	2.0	0.2304	0.21	28.07	/	Argile marneuse	A0	/
PK19+ 161	SC-22	3.60	3.96	0.2513	0.25	51.85	5.75	Marne	A1	FO
PK20+ 135	SC-23	1.20	1.55	0.2472	0.28	43.05	4.16	Marne	A1	NO
PK21+263	SC 22	0.0	2.0	6.55	0.18	28.07	/	Argile marneuse	A4	/
PK21+ 668	F-14	0.20	10.00	Traces	0.35	64.4	1.46	Marne	A0	NO

Remarque : Notre choix de tracé diffère de celui initialement prévu par le bureau d'études. ce qui influence le plan géotechnique. Ainsi, nous prévoyons d'utiliser leur programme pour interpréter les données et calculer les spécifications de la couche d'assise.

VII.2.3.1. Interprétation des résultats

- D'après la classification française GTR, les sols de classe A3 et A2 prédominent principalement les sols argileux marneux et les sables argileux. Leur diamètre maximum (Dmax) est inférieur à 50 mm avec un pourcentage de passant à 80 µm compris entre 83 % et 100 %. La plupart des valeurs de l'indice de vide VBS sont supérieures à 1.5.
- Ces sols sont hautement sensibles aux conditions météorologiques pouvant interrompre rapidement les travaux en raison d'un excès d'humidité ou à l'inverse d'une sécheresse rendant la compaction difficile.
- Quant aux conditions d'utilisation de ces sols, ils ne peuvent être employés dans des états soit trop secs, soit trop humides.
- Dans les autres états hydriques, les matériaux des divers groupes géotechniques pourront être réutilisés en suivant les recommandations de la GTR adaptées aux conditions météorologiques.
- D'après l'essai œdométrique, le sol présente une compressibilité variant de modérée à significative.
- Selon les résultats de l'essai des limites d'Atterberg, le sol est caractérisé comme étant une argile plastique.
- Notre zone d'étude révèle la présence des sols de classe QS1 et d'autres de classe QS0 ce qui implique une non-uniformité de la classe du sol le long du tracé due à la diversité des matériaux présents

VII.2.4. Localisation des zones à risques

VII.2.4.1. Zone inondable

Les zones les plus problématiques ont été identifiées notamment celles exposées à un risque accru de dommages lors des saisons de crue **(voir ANNEXE F)** et qui correspondent sensiblement à : (PK00+375 au PK00+450) et (PK08+800 au PK09+350)

VII.2.4.2. Zone humide

En raison de la nature du sol principalement constitué en surface de dépôts alluvionnaires récents (limons et argiles), ce type de sol peut être considéré comme des réservoirs d'eau souterraine. Plus en profondeur, un sol plus imperméable peut favoriser la remontée d'eau en surface.

Après L'analyse des valeurs piézométriques dans les sondages réalisés lors des études APD, nous constatons que le niveau de la nappe d'eau varie entre 0.5 m et 3.50 m du PK0+000 au PK12+000, la nappe sur cette zone est proche en surface. Donc cette zone sera susceptible d'être gorgé d'eau d'une façon permanente ou temporaire.

VII.2.4.3. Agressivité du sol

Les analyses chimiques ont révélé que le sol est non organique et présente une agressivité modérée. Par conséquent, des précautions spéciales sont nécessaires lors de la fabrication du béton pour les infrastructures.

Pour prévenir les interactions nocives entre le sol et le béton de l'infrastructure, il est impératif de mettre en place des mesures préventives adéquates. Cela implique l'utilisation de ciment résistant aux sulfates (C.R. S), le choix approprié de la classe de résistance minimale

pour le ciment, le maintien d'un dosage minimal en ciment et d'un rapport eau/ciment optimal. Un enrobage adéquat des armatures est également essentiel pour contrer leur corrosion.

En appliquant ces stratégies, les risques d'endommagement du béton de l'infrastructure par le sol sont considérablement réduits garantissant ainsi sa durabilité et sa stabilité à long terme.

VII.2.4.4. Sol de faible portance QS0

D'après les résultats des essais en laboratoire nous distinguons des sections de portance QS1 et d'autres de portance QS0. Pour celles qui sont de classe QS0, une excavation de 1m de profondeur et un remplacement du matériau de meilleure portance sont nécessaires. Le tableau ci-dessous présente les sections de portance QS0 de notre projet.

Tableau VII.5 : Sections de faible portance QS0

Pk	Classe du sol	Solution
02+800 – 03+058	**QS0**	Excavation de 1m de la profondeur du matériau et le remplacer par un autre de meilleure qualité.
08+827 – 09+270		
13+745 – 14+650		
15+350 – 15+887		
16+670 – 16+945		
17+935 – 18+135		
19+337 – 19+621		
21+00 – 21+450		

VII.2.5. Gites d'emprunts et carrières :

Aux abords du tracé, une recherche de matériaux d'emprunt et des carrières a été effectuée en fonction de la géologie locale. En effet, sur la base de l'examen de la carte géologique et des observations de terrain, il a été constaté la présence de formations géologiques porteuses de gites d'emprunts pour matériaux de remblais. Il s'agit de terrains sédimentaires formés de sables et graves très compacte ainsi que des grès et des grès graniteux pour les carrières.

Tableau VII.6 : Gite d'emprunt proposé

Zone	Classe GTR	Classe UIC	Volume estimé m^3	Position	Utilisation
Zone d'emprunt	B5m	QS1	781856	Près de 3.5 Km du tracé	En remblai

Tableau VII.7 : Carrières proposées

N°	Carrière	Nature de roche	Utilisation possible
01	ALOUAN SNC	Crès graniteux pour construction	- Couche de forme - Ballast - Sous ballast - Couche de fondation
02	SOTRAM	Grès	



Figure VII.4 : Position du gite d'emprunt par rapport à notre tracé sur Google Earth

VII.2.6. Vérification de stabilité des talus vis-à-vis le glissement

VII.2.6.1. Cas déblai

Pour la vérification de stabilité des talus en déblais nous avons utilisé le logiciel « GEO5 » et nous avons choisi la méthode de Bishop pour les ruptures circulaires.

Les principaux paramètres géotechniques utilisés dans les analyses de stabilité des talus incluent :

- Le poids spécifique γ.
- La cohésion c.
- L'angle de frottement interne Φ.
- la présence d'eau souterraine.

- Pour les calculs des stabilités, les facteurs de sécurité globaux. à prendre en considération :

- FS > 1.5 à long terme.
- FS > 1.3 à court terme
- FS > 1 en situation accidentelle (séisme).

Le calcul des stabilités des talus dans notre projet est effectué sur un déblai d'une hauteur maximale environ de 15m. et il n'y a aucun remblai supérieur à 8m. ce qui est considéré comme stable de manière autonome.
Les caractéristiques de notre remblai sont les suivantes :

- Le poids spécifique : γ=18 KN/m^3
- La cohésion : C = 11 Kpa.
- L'angle de frottement interne : Φ = 25°

- L'absence d'eau souterraine.

➢ Les résultats de calcul de stabilités à long terme et en situation sismique indiquent que la stabilité n'est vérifiée qu'avec une pente de 2H/1V.

Tableau VII.8 : Résultats de calcul de stabilité du déblai avec une pente de 2H/1V

FS	FS exigé	Fs calculé
Court terme	1.30	1.41
Long terme	1.50	1.63
Sismique	1.00	1.35

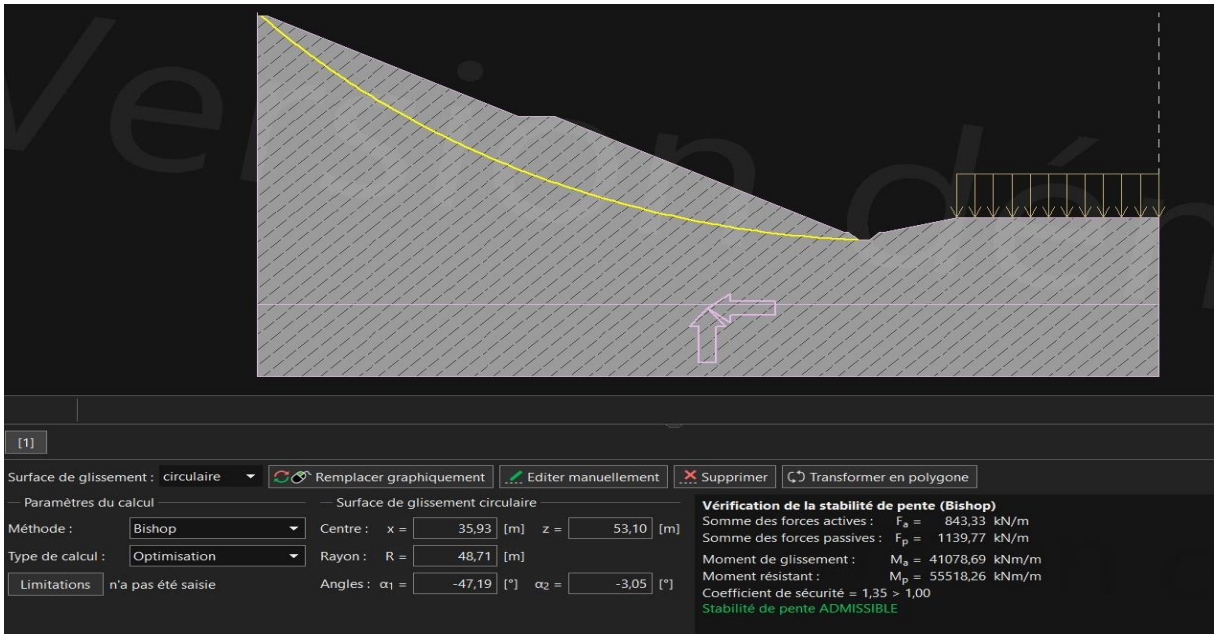


Figure VII.6 : Résultats de calcul de stabilité de talus en cas de séisme

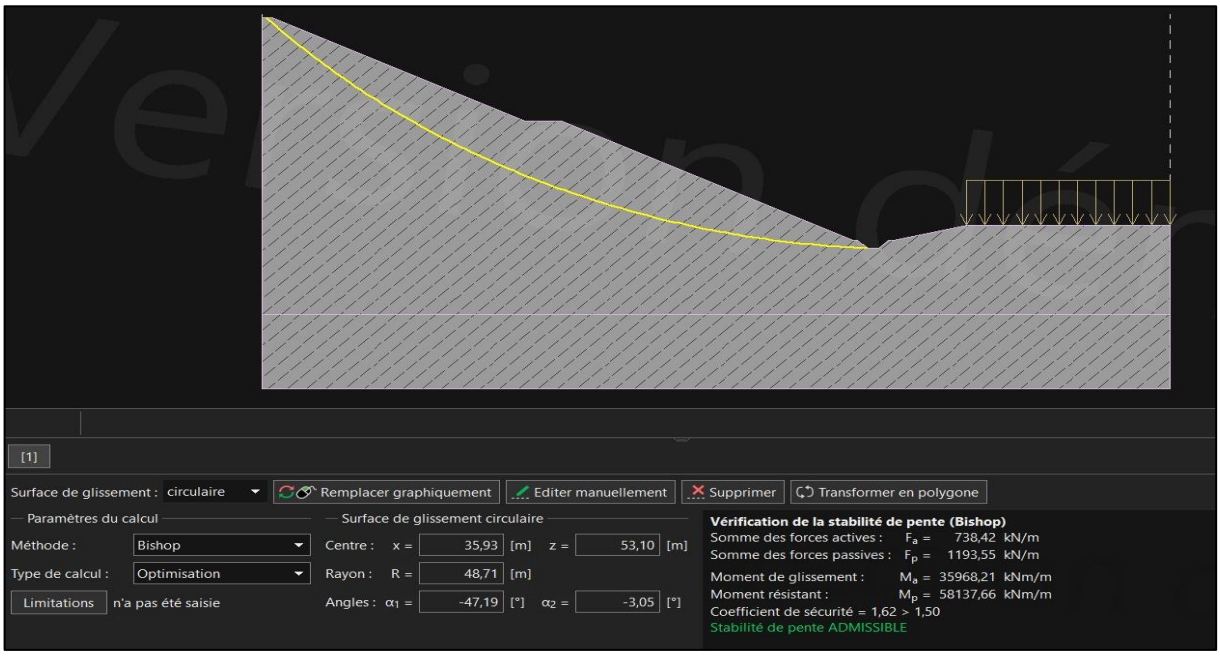


Figure VII.5 : Résultats de calcul de stabilité de talus à long terme

VII.2.6.2. Cas remblai

Pour la stabilisation des talus en remblais, nous appliquons le même principe juste que nous avons utilisé le logiciel « Slide » avec la méthode Spuncer.

- Les résultats de stabilisation indiquent que la stabilité du remblai est vérifiée avec une pente de 3H/2V.

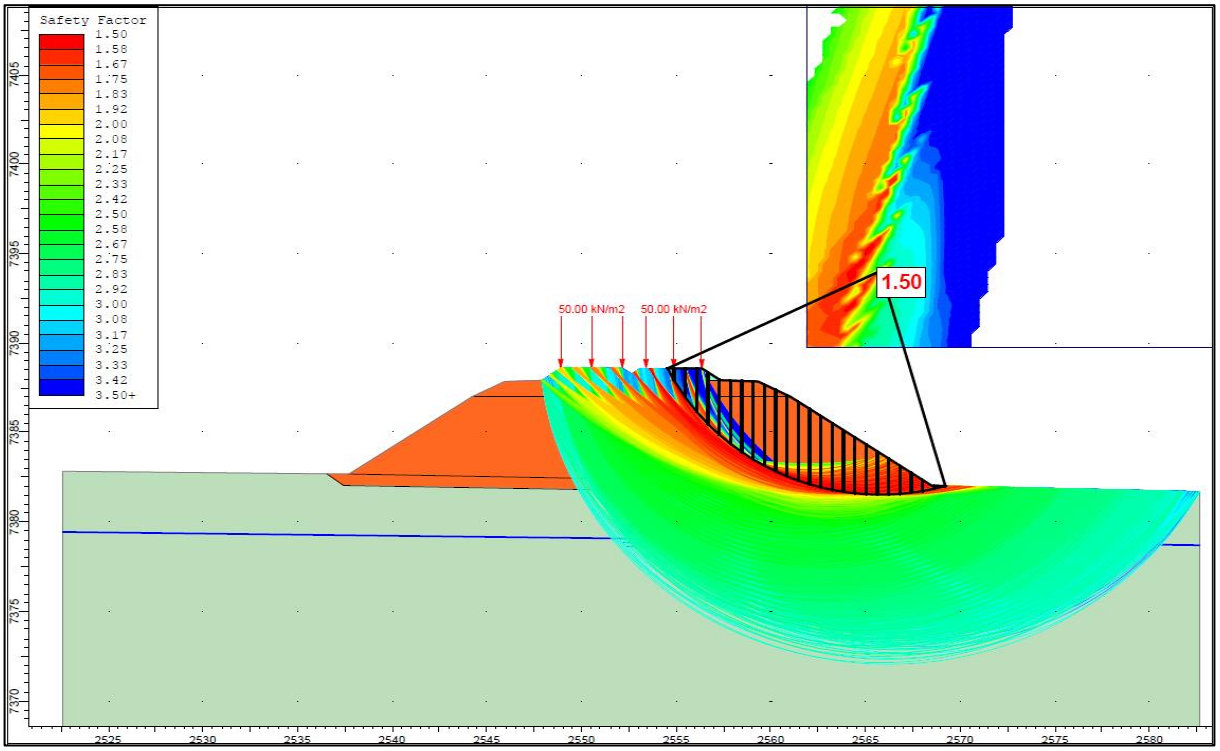


Figure VII.7 : Résultats de stabilité du remblai à long terme

VII.3. Conclusion

L'étude géologique et géotechnique a permis une exploration approfondie du contexte environnemental et géologique du projet. À travers les essais in-situ et en laboratoire, nous avons pu détailler les caractéristiques des sols et évaluer les risques géotechniques tels que les zones inondables, les zones humides et l'agressivité du sol, ainsi que les différentes vérifications nécessaires pour notre projet tel que le calcul de stabilité des talus au glissement, au poinçonnement et au tassement.

Ces données ont été fondamentales pour orienter la conception de solutions sur mesure, garantissant ainsi la stabilité et la durabilité de l'ensemble de l'infrastructure.

CHAPITRE VIII :
ASSISE FERROVIAIRE

CHAPITRE VIII : ASSISE FERROVIAIRE

Introduction :

Pour assurer la durabilité de notre projet sur le long terme, il est essentiel d'étudier le sol support afin d'obtenir une structure stable. Comprendre le comportement de la structure d'assise ferroviaire est devenue nécessaire en raison des contraintes imposées par les charges importantes des trains et des variations du terrain sur lequel le chemin de fer est construit.

Dans ce chapitre, nous examinerons en détail les principes fondamentaux et les aspects essentiels relatifs à la conception dimensionnelle du corps d'assise ferroviaire. Notre attention sera particulièrement portée sur les facteurs clés qui façonnent sa conception.

Nous débuterons en explorant les rôles et les matériaux du corps d'assise ferroviaire, puis les méthodes de dimensionnement pour assurer sa robustesse et sa stabilité. Nous soulignerons également l'importance des normes internationales pour garantir une infrastructure ferroviaire durable.

VIII.1. Différentes couches d'assises :

La couche d'assise ferroviaire est essentielle pour distribuer les charges des trains de manière uniforme assurant ainsi la stabilité de la voie. Elle minimise les déformations, favorise le drainage et maintient le nivellement, contribuant ainsi à la sécurité et à la durabilité de l'infrastructure ferroviaire.

L'épaisseur et la nature des couches d'assise dépendent de plusieurs facteurs, notamment :

- Les caractéristiques de la plate-forme telles que les propriétés du sol et les conditions hydrogéologiques environnantes.
- Les propriétés essentielles des sols de la plate-forme telles que (composition, capacité de support, sensibilité à l'eau et au gel).
- Les conditions climatiques locales et les précipitations.
- Le trafic ferroviaire.
- L'équipement de la voie tel que la distance entre les traverses et leur composition.

→ Présentons les différentes couches de l'assise ferroviaire :

VIII.1.1. Le ballast :

Le ballast ferroviaire est constitué de pierres concassées ou de graviers de différentes tailles. Ces matériaux de forme polyédrique avec des arêtes vives possèdent un fort angle de frottement interne (Φ élevé) et une faible cohésion (C=0). Ils sont sélectionnés pour leur capacité à soutenir les charges des trains.

Le ballast ferroviaire doit respecter les normes techniques de la **SNTF** et la norme **NF P53-695** pour garantir sa qualité et sa conformité aux exigences des voies ferries ; Ce qui implique que :

- La taille des granulats doit être dans la plage spécifiée (25/50 mm) et respecter les limites établies dans la Norme Européenne CEN/TC/154 AD HOC Group Aggregates for Railway ballast.
- La résistance à la fragmentation Los Angeles doit être ≤ 19 %.
- La résistance à l'usure Micro Deval soit de : ≤ 6 %.
- La résistance à la compression (RC) doit être de : ≥ 1200 kg/cm²
- La forme angulaire et la rugosité des granulats assurent une adhérence solide entre eux garantissant ainsi la cohésion de la masse globale ballast travers).

- **Rôles du ballast :**

Le ballast remplit plusieurs rôles essentiels dans les voies ferrées :

- Le ballast est utilisé pour faciliter le drainage et supporter la charge des traverses de manière efficace.
- Il assure une répartition équilibrée de la charge des trains sur la voie préservant ainsi la structure sous-jacente contre les contraintes excessives.
- Le ballast absorbe les vibrations en dissipant leur énergie à travers le frottement entre ses composants assurant ainsi un voyage sûr et confortable pour les trains et les passagers.
- Le ballast prévient la croissance de plantes sous la voie évitant ainsi des problèmes potentiels.

Les multiples rôles du ballast sont essentiels pour garantir la sécurité et la durabilité ferroviaires

VIII.1.2. Sous couche :

C'est une couche intermédiaire entre le ballast et la plateforme peut être simple ou composée de plusieurs couches. Elle soutient le ballast et se compose généralement d'une couche de gravier bien graduée (0/31.5) mm d'une fondation pour les sols moins favorables et éventuellement d'une couche anti-contaminante avec du géotextile pour la séparation.

- **Rôles de la sous couche :**

Les rôles de la sous-couche incluent :

- Elle préserve l'intégrité de la plateforme ferroviaire en minimisant les impacts des mouvements du sol et de l'eau.
- Elle assure un bon écoulement des eaux de pluie prévenant ainsi l'humidité qui pourrait nuire à la stabilité de la voie.
- La sous-couche renforce la capacité portante de la voie en répartissant efficacement les charges des trains sur la plateforme.
- Elle protège la plateforme ferroviaire contre l'érosion et limite les dommages dus aux mouvements du sol comme le tassement ou le gonflement.
- La sous-couche agit comme une barrière empêchant les matériaux de la plateforme de contaminer le ballast ce qui contribue à la durabilité de la voie ferrée.

VIII.1.3. Couche anti-contaminante :

La couche est de sable propre et si nécessaire nous pouvons ajouter un géotextile surtout pour les plateformes de qualité médiocre de type **PF1**

VIII.1.4. La plate-forme :

La plate-forme ferroviaire est la base sur laquelle repose la voie composée de plusieurs couches de matériaux. Elle est formée de terres rapportées pour un remblai ou du sol naturel pour un déblai.

- **Rôles de la plate-forme :**

- Le drainage des eaux de pluie et des eaux de surface vers les systèmes d'assainissement.
- L'absorption des vibrations générées par le passage des véhicules.
- Rabattement des eaux souterraines.
- La prévention de l'infiltration de limons et d'argiles du sol dans le ballast.

Pour évaluer l'efficacité de la plateforme, il faut entreprendre les démarches suivantes :

- Vérifier la stabilité de la plateforme en testant sa résistance aux contraintes et aux charges.
- Analyser la qualité de chaque type de sol sur lequel repose la plateforme.
- Contrôler si la plateforme respecte les normes et réglementations.
- Il faut éviter que la couche supérieure du sol ne soit au-dessus de la nappe phréatique naturelle. Mesurer le niveau de la nappe avant tout rabattement est essentiel

VIII.2. Classification des sols pour la plate-forme :

La qualité du sol est déterminée par sa nature géotechnique et les conditions hydrogéologiques/hydrologiques locales.

D'abord, sa nature géotechnique qui comprend des caractéristiques telles que la granularité pour les sols meubles et la dureté pour les sols rocheux. Ensuite, les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales sont essentielles. Idéalement, la couche supérieure du sol ne devrait pas être affectée par les nappes phréatiques, les percolations nocives ou les problèmes d'évacuation des eaux de pluie.

L'évaluation de ces paramètres nous permet de déterminer la qualité globale du sol. Selon l'étude géologique et géotechnique, le sol est classé en utilisant le **GTR** et **l'UIC719R**. De plus, elle précise le remplacement du sol de faible portance **QS0** par un autre de meilleure qualité entraîne une classification **QS1** sur toute la longueur de notre tracé.

VIII.3. Partie Supérieure de Terrassement (PST) / Arase Terrassement (AR)

Selon les conditions géotechniques et en tenant compte de l'état hydrique, les classes d'arase allant de AR0 à AR1 et la classe de PST de AR1 ont été identifiées pour l'ensemble des déblais et des remblais de ce tronçon conformément à la classification GTR. La classe d'arase AR0 nécessite une amélioration vers une classe d'arase supérieure.

Afin d'assurer un sol de support adéquat, les purges superficielles sont envisageables en cas d'insuffisance de portance et de traficabilité notamment au droit des formations géologiques médiocres. Après le décapage et le compactage de l'assise naturelle si les portances mesurées Ev2 < 20 Mpa, il est nécessaire de procéder à une substitution.

Cette substitution doit être réalisée avec des matériaux de classe conforme à celle utilisée en remblai courant capables d'assurer des performances mécaniques avec un module Ev2 > 30 MPa et un coefficient de compressibilité K < 2.2 et compactés à 90% de l'Optimum Proctor Normal (OPN).

VIII.4. La classe de portance de la plateforme :

D'après les spécifications du code **UIC 719 R** page 16, nous identifions les trois catégories de plateformes suivantes en fonction de leur capacité portante : **P1** (médiocre qualité). **P2** (moyenne qualité) et **P3** (bonne qualité).

Chaque catégorie de plateforme a sa propre capacité à supporter du poids : médiocre pour charges limitées, moyenne pour poids moyen, et haute qualité pour charges importantes grâce à des sols de meilleure qualité.

➢ Le tableau ci-dessous présente les classes de plateforme en fonction de la qualité du sol support :

Tableau VIII.1 : La classe la portance de la plate-forme (Normes UIC 719 R)

Classe de qualité du sol	Classe de la Plate-forme	Couche de forme	
		Qualité	Épaisseur min (m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.5
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.50
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

- **Plate-forme proposée :**

Après avoir analysé la classification du sol selon les recommandations des **UIC**, nous proposons l'utilisation d'une plateforme de type **P2** de bonne qualité. Afin d'optimiser sa performance sur un sol de qualité **QS1**, il est impératif d'ajouter une couche de forme dans la conception. Les données des travaux sur le terrain appuient cette recommandation soulignant ainsi l'importance de cette couche pour garantir la robustesse et l'efficacité de la plateforme.

- **Couche de forme :**

Pour garantir une plate-forme de qualité **P2**, il a été convenu de mettre en place une couche de forme de **35 cm** d'épaisseur utilisant un matériau de qualité du sol **QS3** dans les zones où le sol présente une qualité **QS1**.

➢ Ce choix a été fait pour garantir que la plateforme soit performante et stable.

VIII.5. Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise :

Selon les directives de la fiche UIC 719R sur le dimensionnement des couches d'assise, l'épaisseur du ballast et des sous-couches est déterminée en utilisant la formule suivante :

$$e \geq E+a+b+c+d+f+g$$

– e : étant l'épaisseur de la couche du ballast et des sous couches.

Les données et les propriétés de ces paramètres sont explicitées en annexe conformément au code **UIC 719R (Voir Annexe H).**

VIII.6. Application au projet :

Les valeurs suivantes ont été choisies en accord avec la fiche **UIC-719R.**

Tableau VIII.2 : Dimensionnement de la couche d'assise

Paramètres	Valeurs (m)	Critère de choix
E	0.55	Une plate-forme de classe de portance P2
a	0	Les groupes UIC 1 et 2.
b	0.13	Les traverses en béton de longueur L = 2.24 m
c	0	Un dimensionnement normal.
d	0.05	La charge nominale d'essieu de 22.5 ton/axe
f	0	Les lignes parcourues à V≤ 160km/h et P3
g	0	Pas de géotextile pour sol QS3
e (m)	**0.73**	-

- La couche de ballast mesure **30 cm** pour des vitesses comprise entre**120 km/h à 200 km/h**. ce qui correspond à notre situation.

➢ Voici nos propositions d'épaisseurs pour les couches d'assise adaptées à une portance P2 :

Tableau VIII.3 : Structure de la voie du projet

Couches	Épaisseur (cm)	Matériaux
Ballast	30	GC (grave concassée) (25/50 mm)
Sous-ballast	25	Grave propre (0 /31.5 mm) bien graduée
Couche de fondation	18	Grave sableuse entièrement concassée
Couche de forme de type QS3	35	GNT

VIII.7. Conclusion :

Ce chapitre nous a permis d'explorer l'importance du dimensionnement approprié des couches d'assise pour garantir la durabilité et la performance des voies ferrées. Nous avons examiné différents types de couches et les méthodes de dimensionnement pour assurer une répartition appropriée des charges et une résistance adéquate aux contraintes.

Chaque projet ferroviaire est unique et nécessite une approche adaptée aux conditions locales. Pour assurer un dimensionnement approprié de l'assise, nous sommes appuyés sur les normes et des experts du domaine.

Pour l'avenir, la recherche continue dans ce domaine est essentielle pour répondre aux défis croissants et maintenir la qualité des chemins de fer comme mode de transport durable et efficace.

CHAPITRE IX :
PROFIL EN TRAVERS

CHAPITRE IX : PROFIL EN TRAVERS

Introduction

Le profil en travers est une représentation graphique détaillée de la coupe transversale de la voie projetée, perpendiculaire à son axe. Il indique les variations de hauteur du terrain naturel, les dimensions de la voie, les dévers de la plate-forme, ainsi que les caractéristiques des différentes couches constitutives de la voie.

Le profil en travers joue un rôle essentiel dans la gestion efficace des projets ferroviaires. Il facilite le calcul précis des volumes de terrassement et garantit la sécurité de l'infrastructure en identifiant les risques potentiels. Ainsi, il contribue à la durabilité et à la responsabilité environnementale des projets ferroviaires.

IX.1. Les éléments du profil en travers :

Tous les éléments suivants doivent être représentés dans le profil en travers :

IX.1.1. Les éléments de superstructure

- Le type de rail utilisé.
- La valeur de l'écartement de la voie.
- La distance entre les axes.
- System d'Attaches.
- La valeur de devers en courbe (maximum).

→ Pour notre projet, nous avons une voie double avec un entre-axe de 4.2 m.

IX.1.2. Les éléments de l'infrastructure :

- Ballast et les épaisseurs et la nomination des chaque couche.
- Plateforme ferroviaire : La surface sur laquelle repose la voie ferrée.
- Les pentes transversales de chaque couche.
- La pente latérale de la plate-forme.

IX.1.3. Les éléments du talus :

- La pente déblai et remblais.

IX.1.4. Les éléments d'assainissement :

- Fossés.
- Systèmes de drainage.
- Ponceaux.

IX.2. Profil en travers de notre projet d'étude :

Le profil en travers type de ce projet correspond à une voie double, avec une forme symétrique et une largeur de plateforme de **13,4 m**, que ce soit en déblais ou en remblai.

La voie ferrée est constituée de rails **UIC-60** espacés de **1435 mm**, reposant sur des traverses bi-bloc, elles-mêmes installées sur un ballast de **0,30 m** d'épaisseur, avec une pente latérale de **3H/2V**.

Les épaisseurs des couches de sous-ballast et de la couche de forme sont spécifiées dans le chapitre : assise ferroviaire.

Dans les zones de remblai et de déblais, les talus ont été définis avec une inclinaison de 3H/2V pour les talus en remblais et 2H/1V pour les talus en déblais. Des fossés longitudinaux de dimensions **h=0.55 m** ; **b = 0.6 m** avec une pente de **1/1** ont été construits au pied des talus.

Remarque :

- Lors d'un raccordement en pleine courbe, les épaisseurs de toutes les couches, à l'exception du ballast, resteront fixes. Pour obtenir le dévers requis, l'épaisseur du ballast sera augmentée.
- Notre projet présente plusieurs profils en travers différents, notamment dans les zones inondables et humide de certaines sections du projet ; intégration d'un géotextile anticontaminant autour du noyau de remblai et des enrochements latéraux.

IX.3. Calcul des cubatures :

Les volumes de terrassement représentent les variations de volume des déblais et des remblais dans le projet, visant à créer une surface uniforme en alignement avec la trajectoire du projet. Les volumes sont calculés en se basant sur plusieurs critères importants :

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

Dans notre projet, les volumes de terrassement ont été calculés à l'aide du logiciel **CIVIL 3D 2024**.

→ Les détails de calcul résumés dans le tableau suivant :

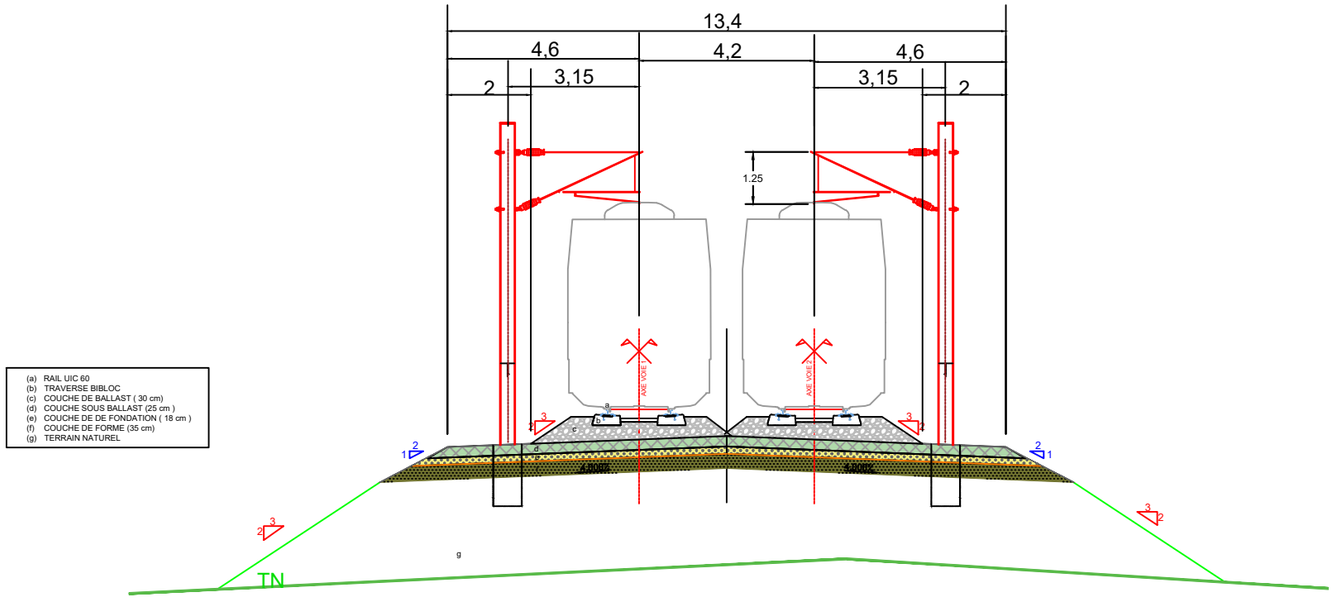
Tableau IX.1 : Les cubatures de terrassement et les couches d'assises

Nature	Remblai	Déblais	Ballast	Sous ballast	Couche de fondation	Couche de forme
Volume(m3)	544 111,29	1 177 857,16	126 984,00	153 718,40	117 832,00	247 350,40

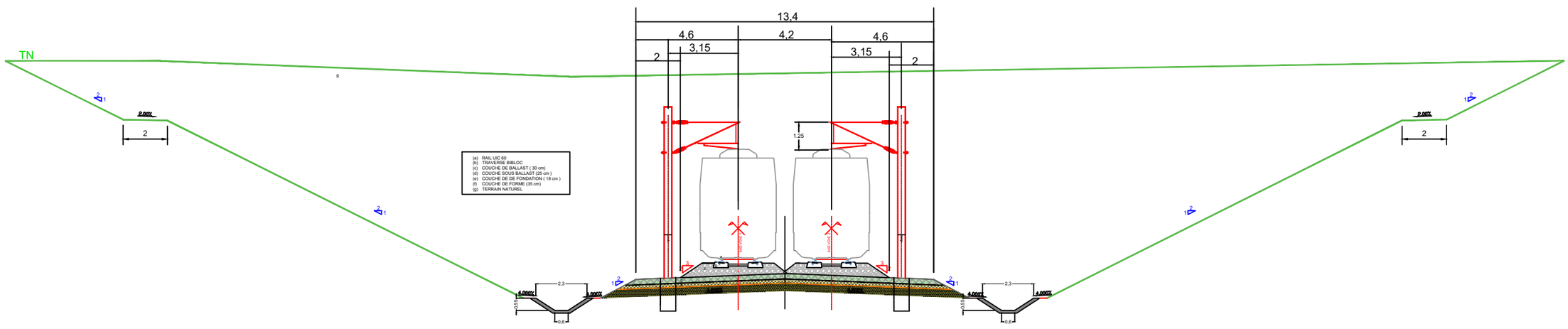
IX.4. Conclusion :

Les profils en travers sont essentiels pour garantir la précision de la planification et de l'exécution des projets d'infrastructure. Ils permettent de concilier les impératifs de sécurité, d'efficacité économique et de durabilité.

PROFIL EN TRAVERS TYPE EN REMBLAI



PROFIL EN TRAVERS TYPE EN DEBLAI



ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
École Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Built and Ground Works Engineers

Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38 **Site web :** www.enstp.edu.dz
Tel : (023) 70 19 04 **E-mail :** enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDE	Réalisé par	Encadré par	Echelle	Planche	Année universitaire
Etude en APD d'un contournement ferroviaire à double voie Tebessa-Tenoukla du PK 0+000 au PK 22+000 avec la conception d'une gare de dépassement Tenoukla	NABED Kawther AMROUCHE Fadoua	Mr. Goumettre Ahmed Mr. HAMMADI Kamel	1:150 1:200	Profil en travers type en remblai et en déblai	2023/2024

CHAPITRE X :

TERRASSEMENT ET OUVRAGES

CHAPITRE X : TERRASSEMENT ET OUVRAGES

Introduction

Les terrassements et les ouvrages sont des éléments essentiels dans la réalisation de projets ferroviaires. Les terrassements concernent les travaux de mise en forme du terrain tels que le déblai et le remblai nécessaires pour établir les voies ferrées. Ils consistent à creuser et à remblayer les tranchées afin de créer une assise solide pour les rails. Les ouvrages, quant à eux sont les structures de génie civil nécessaires pour franchir des obstacles tels que les rivières, les routes ou les vallées. Ces ouvrages comprennent des ponts des viaducs, des passages inférieurs et supérieurs ainsi que des tunnels.

X.1. Les terrassements

Les terrassements jouent un rôle primordial dans la construction des infrastructures ferroviaires. Ils impliquent plusieurs opérations visant à modeler le terrain pour créer une plateforme stable pour la voie ferrée. Ces opérations comprennent notamment :

- Décapage de la couche de terre végétale pour atteindre le substrat sous-jacent.
- Réalisation de déblais et de remblais pour ajuster les niveaux de terrain conformément aux exigences d'élévation.
- Mise en place méthodique des différentes couches structurelles telles que la sous-couche et la couche de ballast afin de créer une assise robuste et stable pour la voie ferrée.

La précision de ces opérations est fondamentale pour garantir la fiabilité et la résilience des infrastructures ferroviaires. En conséquence, des études géotechniques approfondies sont indispensables pour évaluer de manière exhaustive les caractéristiques du sol et pour choisir judicieusement les méthodes de terrassement les mieux adaptées.

X.1.1. Objectifs et enjeux des terrassements

Il est essentiel de comprendre pleinement l'importance indéniable des terrassements dès le début de la préparation du terrain pour la construction. Ils assurent :

- La création d'une surface stable et uniforme pour assurer un passage fluide des trains.
- L’utilisation de matériaux de qualité adaptés (granulométrie, compacité. etc.)
- La protection des zones sensibles (zones humides, habitats naturels. etc.)
- Le modelage des pentes des talus et des remblais pour prévenir les risques de glissements de terrain.
- La gestion efficace du drainage pour éviter l'érosion et les problèmes d'accumulation d'eau.
- La réduction des nuisances sonores et vibratoires.
- Le respect des normes environnementales pour minimiser l'impact sur les écosystèmes locaux.
- La sécurité des travailleurs pendant les opérations de terrassement.
- La préservation des ressources naturelles telles que l'eau et les sols fertiles.

X.1.2. Pente des talus en déblai et en remblai

Lors de la conception des ouvrages en terre, une attention particulière est portée à la stabilité des pentes de talus tant pour les déblais que pour les remblais.

Les pentes de talus couramment employées conformément au chapitre 07.2.2 « OUVRAGES EN TERRE » du référentiel technique de la SNTF et exprimées en termes de base (V) par rapport à la hauteur (H) sont les suivantes :

- Cas déblais : 1/2. 2/3. 1/1. 3/2. 2/1. 2.5/1. 3/1.
- Cas remblai : 3/2. 2/1. 2/3.

Elles doivent être établies de façon à assurer la stabilité globale de l'ouvrage en tenant compte des éléments suivants :

- Les propriétés géotechniques des terrains traversés en déblai ou du sol de support et des matériaux employés pour les remblais.
- La hauteur de l'ouvrage.
- La configuration topographique du site et les risques naturels.

Remarque : Pour notre projet on admet d'utiliser une pente de 3H/2V pour le remblai et une pente de 2H/1V pour les déblais et cela après une étude de stabilisation des talus au glissement effectuée dans le chapitre « Etude géologique et géotechnique »

X.1.3. Les bermes

Les bermes stratégiquement positionnées le long des talus ferroviaires jouent un rôle primordial dans la préservation de la stabilité structurelle et du drainage efficace des voies.

Leur intégration soigneuse permet de maîtriser les pentes et de prévenir tout risque d'érosion assurant ainsi le bon fonctionnement et la durabilité des infrastructures ferroviaires dans différentes situations.

- Largeur optimale : Les bermes doivent avoir une largeur adaptée, généralement entre 1 et 3 mètres pour permettre l'accès aux équipements de maintenance tout en garantissant une stabilité suffisante du talus.
- Pente idéale : Une pente bien ajustée typiquement entre 2 et 3% assure un drainage efficace sans risque d'accumulation d'eau préservant ainsi la durabilité des bermes.

Remarque : pour notre cas une berme de largeur de 2m et une pente de 2% est utilisée pour la construction des talus du projet.

X.1.4. Protection des talus

En raison des caractéristiques intrinsèques des sols en place, il est prévu que les talus en déblais soient revêtus d'une couche minimale de 0.15 mètre de "terre végétale" assortie d'espèces végétales appropriées dès l'ouverture des excavations. Cette mesure a pour objectif de prévenir l'effet érosif potentiel du ruissellement superficiel

X.1.5. Structure des remblais

X.1.5.1. Remblai en zone inondable

Les zones inondables identifiées à notre tracé sont les suivantes : (PK00+375 au PK00+450). (PK08+800 au PK09+350) et (PK14+875 au PK14+075).

Les remblais des zones inondables seront constitués à leur base de matériaux de zone inondable (ZI) jusqu'à une cote minimale située à 50 cm au-dessus du niveau des plus hautes eaux (NPHE).

Un géotextile anticontaminant (fonctionnant pour la séparation et la filtration) du type non tissé doit être placé entre les matériaux d'enrochement destinés aux zones inondables et les couches constitutives du remblai **(Voir ANNEXE F).**

X.1.5.2. Remblai en zone humide

D'après les sondages réalisés, le niveau de la nappe d'eau varie entre 0.5 m et 3.50 m du PK0+000 au PK12+000. En conséquence, cette zone pourrait être sujette à une rétention d'eau de façon persistante ou intermittente.

La base des remblais en zones humides est constituée de matériaux ZH (zone humide) sur une épaisseur minimale de 50 cm. afin de constituer une coupure capillaire.

X.1.6. Le compactage

Le compactage est une étape essentielle dans la construction des ouvrages en terre influençant directement leur durabilité et leur stabilité. Plusieurs facteurs techniques doivent être pris en compte pour assurer une qualité optimale. Voici les points clés à considérer :

- La nature du sol, le type de compacteur et l'état d'humidité déterminent les taux de compactage et les modules de déformation minimaux prescrits.

- L'épaisseur des couches élémentaires et l'énergie de compactage nécessaire doivent être soigneusement planifiées.

- Des mesures spécifiques comme l'arrosage et l'essorage peuvent être nécessaires.

- La technique de compactage est définie par des essais sur le terrain ou en suivant les recommandations établies telles que celles du document Setra LCPC pour les terrassements routiers.

X.1.7. Réutilisation des matériaux excavés :

Dans la portion de notre étude allant du PK00+000 au PK22+000, nous avons l'intention d'excaver des matériaux de qualité médiocre essentiellement des déblais provenant de formations alluviales. On estime que la plupart de ces matériaux seront extraits dans cette section tandis qu'une petite partie de ces déblais sera réutiliser pour la construction des remblais du projet.

Tous les sols rejetés seront généralement mis en dépôt définitif car ils correspondent à des matériaux de très mauvaise qualité géotechnique et de comportement difficile de contrôler dans les remblais. La majorité des remblais seront construits avec de matériaux qui résultent des gites d'emprunts à partir de sa sélection adéquate.

X.2. Les ouvrages

X.2.1. Influence sur le choix des ouvrages :

Dans tous les cas, le choix du type de travaux est influencé par deux types de contraintes principales :

- Données naturelles : Cela inclut des facteurs tels que le débit d'eau et le type de sol qui sont des éléments intrinsèques de l'environnement naturel du site.
- Exigences techniques : Ces contraintes couvrent divers aspects techniques comme la portée nécessaire le type de chargeur à utiliser et les méthodes de fixation appropriées.

Par ailleurs, il est essentiel de considérer la taille et les limitations fonctionnelles qui sont déterminées par les éléments suivants :

- La voie à franchir ou l'obstacle à surmonter ce qui peut influencer la structure et le design des travaux.
- Le programme de charge définissant les charges que la structure devra supporter.
- Le gabarit correspondant aux dimensions maximales autorisées pour l'ouvrage.
- Le tirant d'eau important pour les travaux en milieu aquatique.
- L'adaptation architecturale à la région afin de garantir une intégration harmonieuse avec le contexte local.
- Les contraintes spécifiques à respecter durant la construction pour assurer la sécurité et la conformité aux normes en vigueur.

X.2.2. Le croisement route-rail :

En général, le problème de croisement doit prendre en compte la nature et le débit de la voie afin d'analyser chaque cas individuellement en fonction de la vitesse de base maximale. Trois solutions possibles sont prévues :

- **Passage supérieur :**

– Utilisé si la vitesse du train est élevée et que la topographie le nécessite.
– Utilisé lorsque la voie ferrée est sur un grand remblai par rapport à la route permettant d'insérer un gabarit routier en dessous.

- **Passage à niveau :**

– Interdit si la vitesse du train dépasse 100 km/h. sauf pour des pistes à faible débit et si la topographie le permet.
– Admis pour des chemins à faible débit si la vitesse du train est inférieure à 100 km/h et si la topographie le permet.

- **Passage inférieur de la route :**

– Rarement utilisé seulement si la topographie l'exige (niveau de roulement du train élevé).

X.2.3. Les ouvrages d'art du projet

X.2.3.1. Rétablissement routier

La construction du contournement Tébessa-Tenoukla dans le cadre du projet de la ligne linière Est Annaba-Djebel Onk ne prend pas en considération les croisements au niveau des passages à niveau. Dans notre projet, les trains circuleront à une vitesse 120 Km/h supérieure à 100 km/h. ce qui nécessite l'élimination des passages à niveau au profit de passages supérieurs lorsqu'il y a intersection avec des chemins communaux ou des routes. Ces structures assureront un passage sécurisé au-dessus des voies ferrées garantissant ainsi la fluidité et la sécurité des infrastructures routières.

Tableau X.1 : Liste des ouvrages d'art de notre projet

Obstacles à franchir	PK	Ouvrage projeté
RN 16	01+250	Passage supérieur N°01
CC	01+600	Passage supérieur N°02
CC	02+120	Passage supérieur N°03
CC	03+400	Passage supérieur N°04
RN 16	03+389	Passage supérieur N°05
RN 82	07+542	Passage supérieur N°06
RN 10	12+050	Passage supérieur N°07
CC	19+161	Passage supérieur N°08

X.2.3.2. Protection des conduites de gaz :

Assurer la protection adéquate des conduites de gaz lorsque celles-ci croisent des voies ferrées est d'une importance capitale pour maintenir la sécurité des infrastructures et réduire les risques d'incidents potentiels. Le tracé du contournement traverse une conduite de gaz à un seul endroit au PK 09+500 où elle est située dans une zone de remblai.

X.2.3.3. Lignes électriques de moyenne et basse tension

La sécurité des lignes électriques de moyenne et basse tension traversées par notre projet ferroviaire est une priorité absolue. En prenant des mesures de protection dès maintenant, nous garantissons non seulement la sécurité des travailleurs et des populations avoisinantes mais également une exécution fluide et sécurisée du projet dans son ensemble.

Tableau X.2 : Liste des lignes électrique de moyenne et basse tension

Obstacles à franchir	PK	Mesure prévue
Lignes électriques moyenne tension	01+000	La possibilité de déplacer ou de protéger
	02+375	
	03+450	
	07+675	
	11+500	
	12+365	
	12+375	
	18+775	
	19+050	
Lignes électriques basse tension	01+000	

→ Dans les photos suivantes nous allons présenter quelques passages supérieurs de notre projet.

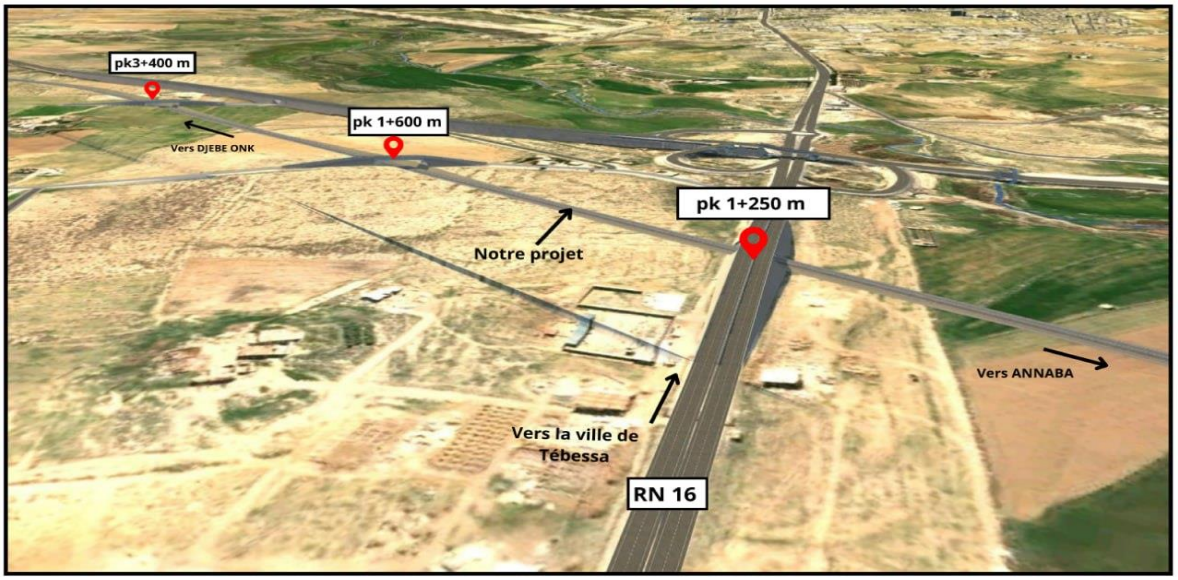


Figure X.2 : Illustration des passages supérieurs N°01, N°02 et N°03 sur Infraworks

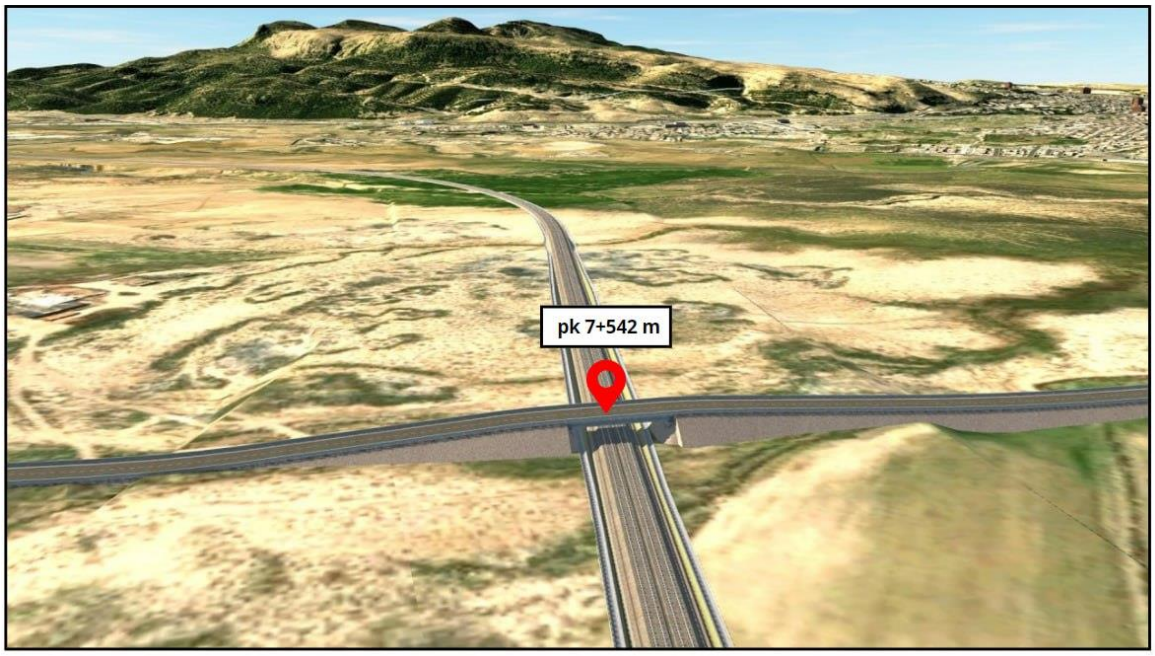


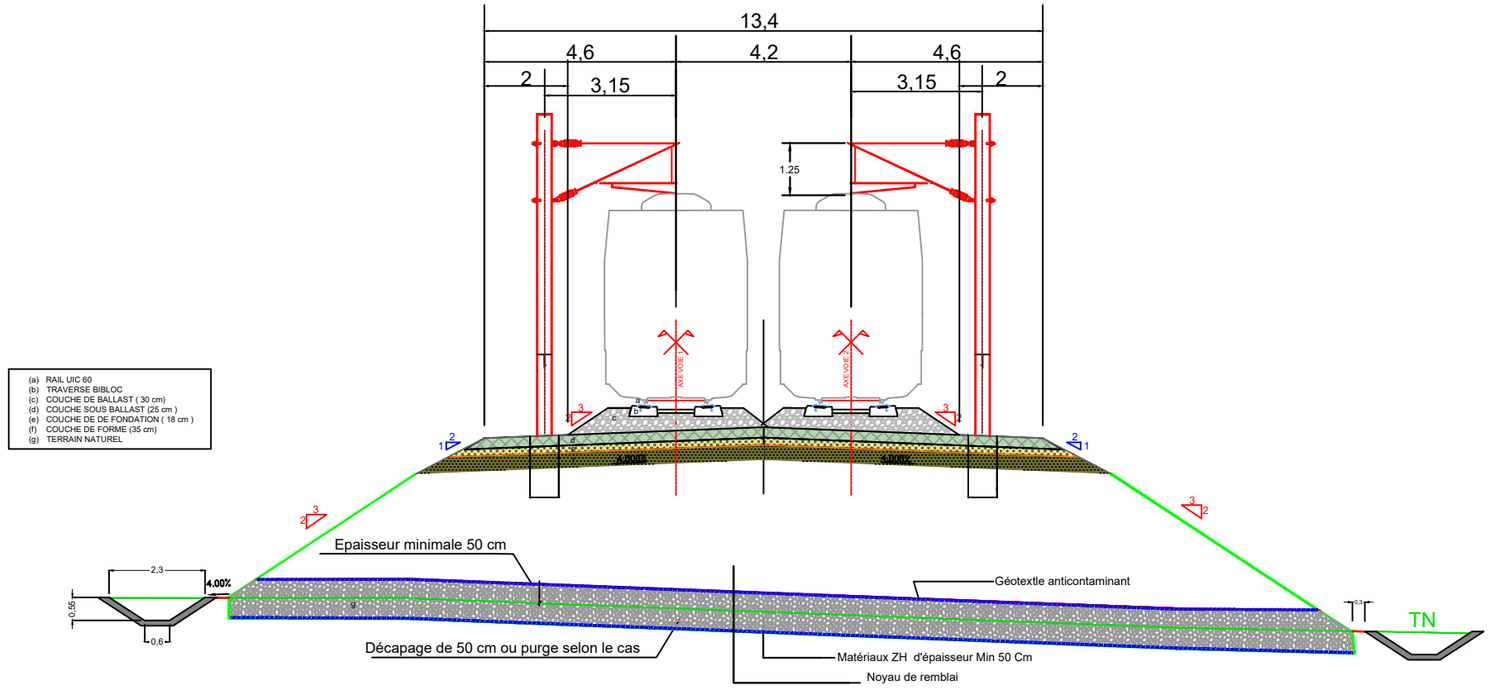
Figure X.1 : Illustration du passage supérieur N°04 sur Infraworks

X.3. Conclusion

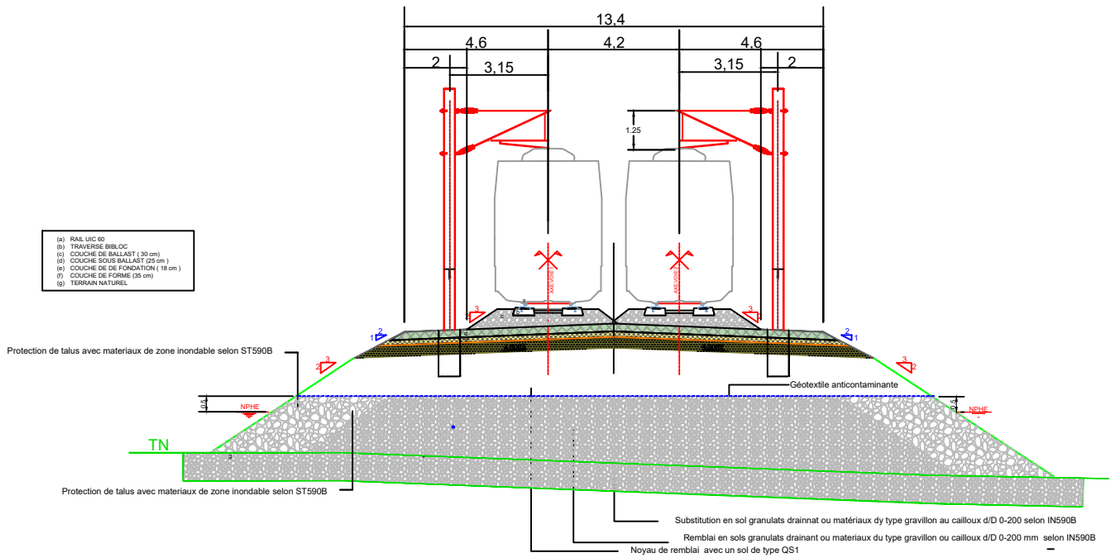
En terminant ce chapitre, nous reconnaissons l'importance capitale des travaux de terrassement et de construction des ouvrages d'art dans la réussite d'un projet ferroviaire. Ces étapes exigent une attention méticuleuse aux détails et une coopération étroite entre les parties prenantes.

En respectant rigoureusement ces étapes fondamentales, nous garantissons la création d'un réseau ferroviaire sécurisé, fiable et efficace. En investissant dans la qualité des terrassements et des ouvrages d'art. nous contribuons au progrès de notre société moderne.

PROFIL EN TRAVERS TYPE REMBLAI EN ZONE HUMIDE



PROFIL EN TRAVERS TYPE REMBLAI EN ZONE INNONDABLE



ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
École Nationale Supérieur des Travaux Publics
National School of Built and Ground Works Engineering

Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38 **Site web :** www.enstp.edu.dz
Tel : (023) 70 19 04 **E-mail :** enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDE	Réalisé par	Encadré par	Echelle	Planche	Année universitaire
Etude en APD d'un contournement ferroviaire à double voie Tebessa-Tenoukla du PK 0+000 au PK 22+000 avec la conception d'une gare de dépassement Tenoukla	NABED Kawther AMROUCHE Fadoua	Mr. Goumettre Ahmed Mr. HAMMADI Kamel	1:150 1:200	Profil en travers type remblai en zone humide et innondable	2023/2024

CHAPITRE XI :

CONCEPTION DE LA GARE

CHAPITRE XI : CONCEPTION DE LA GARE

Introduction

Dans un projet ferroviaire, la gare est un lieu public animé où les voies se croisent et où les voyageurs convergent. C'est un point de connexion essentiel où les départs et les arrivées se rencontrent donnant vie à un réseau de déplacements dynamique et fluide.

Dans ce chapitre, nous aborderons de manière approfondie la conception des gares ferroviaires, en examinant méticuleusement chaque étape du processus. Nous explorerons une gamme variée de considérations, allant des aspects techniques aux exigences opérationnelles, dans le but de développer une compréhension exhaustive des méthodes nécessaires à la création d'infrastructures ferroviaires efficaces et adaptées aux besoins des voyageurs et des opérateurs de trains.

XI.1. Type de gare :

Il existe plusieurs catégories de gares :

- Gare voyageurs
- Gare marchandises
- Gare mixte
- Gare de croisement

Les villes et villages le long du tracé sont raccordés à la nouvelle ligne de chemin de fer par des gares (gares de voyageurs et gares de marchandises). Mais entre ces gares, d'autres possibilités de croisement des trains sont exigées par les conditions d'exploitation. Alors il est nécessaire de réaliser des gares de croisement et de garage (PCG) ce qui est le cas dans notre tronçon.

XI.2. Le plan de masse d'une gare

Le concepteur de la gare est chargé d'établir un plan de masse intégrant toutes les installations essentielles en tenant compte de trois éléments techniques fondamentaux :

- **Catégories de voies :** Elles sont importantes dans la détermination des fonctions spécifiques de chaque voie de la gare et des infrastructures associées.
- **Trafic ferroviaire :** L'analyse du volume et de la nature du trafic est primordiale pour évaluer l'importance de la gare. Cela permet de dimensionner correctement les installations et les espaces nécessaires pour répondre à la demande projetée.
- **Emplacement géographique :** La localisation de la gare influence directement le type de trafic attendu et les catégories de voies requises. Une étude approfondie de l'emplacement est donc indispensable pour la conception du plan de masse.

La prise en compte minutieuse de ces éléments techniques est essentielle pour élaborer un plan de masse précis et adapté garantissant la fonctionnalité et l'efficacité opérationnelle de la gare.

XI.3. Conditions de conception de la gare de croisement :

La conception des gares est influencée par divers aspects essentiels :

- Le plan de la gare doit être élaboré en tenant compte des conditions géologiques locales de l'accessibilité aux voies de circulation existantes et des projets d'urbanisme à venir afin d'optimiser la prise en charge conforme au plan de transport.
- Les gares de croisement doivent être situées de manière stratégique le long des lignes ferroviaires pour faciliter efficacement les échanges entre différents trains.

Une conception de gare tenant compte de ces conditions répond aux exigences du transport ferroviaire tout en s'intégrant harmonieusement à son environnement incluant la géographie, la mobilité et le développement urbain.

XI.4. Détails sur la gare de croisement Tenoukla

- La gare de croisement a est conçue pour un trafic marchandise.
- Elle est constituée de trois voies : Voie 1. Voie 2 et Voie 4.
- Voies 1 et 2 sont des voies principales et la voie 4 est une voie de service.
- La longueur utile de la voie 4 (V4) est de 1000 m.
- La gare est implantée entre le pk 12+900 et le pk 14+400 avec une distance totale de 1500 m.
- L'entre axe des deux voie principales V1 et V2 est de 4.2m et entre la voie principale V2 et la voie de service V4 est de 5 m.
- Type ADV : 60E1- 500 – 1 :12 (tan 0.083).

XI.5. Caractéristiques de la gare de croisement

XI.5.1. Déclivité :

À la gare, la déclivité est contrôlée en fonction des activités qui s'y déroulent. Dans notre projet, nous avons maintenu une pente de 0 ‰ pour prévenir tout déplacement non désiré des trains.

XI.5.2. Appareil de voie

L'exploitation des voies ferrées requiert des dispositifs permettant de relier et d'interconnecter les itinéraires appelés appareils de voie ou **ADV**.

Un appareil de voie est un dispositif de guidage facilitant le passage d'une voie à une autre tout en garantissant la continuité des voies par prolongement. Typiquement, un appareil de voie se compose de trois parties essentielles :

- ✓ L'aiguillage.
- ✓ La partie intermédiaire.
- ✓ La partie centrale (le croisement).

Les appareils de voie incluent :

- ✓ Les branchements simples.
- ✓ Les traversées.
- ✓ Les traversées jonctions simples (T.J.S) et les traversées jonctions doubles (T.J.D).

→ Pour notre gare, tous les appareils de voies ADV sont de type : **UIC60 -500 - 1/12 (tan 0.083).**

XI.5.3. Garage franc

Le garage franc désigne une portion de voie où un train peut être stationné sans empiéter sur les gabarits de sécurité et sans obstruer le passage des autres trains sur les voies adjacentes. Le garage franc est essentiel pour permettre des manœuvres sécurisées, le stationnement temporaire de trains et pour maintenir la fluidité du trafic ferroviaire.

- ➢ La distance de garage franc noté GF en mètre est défini par la formule suivante :

$$GF = 3.57.\ n + 1m$$

Tel que : $n = \frac{1}{\tan \alpha}$ varie selon le type de l'appareil de voie choisie.

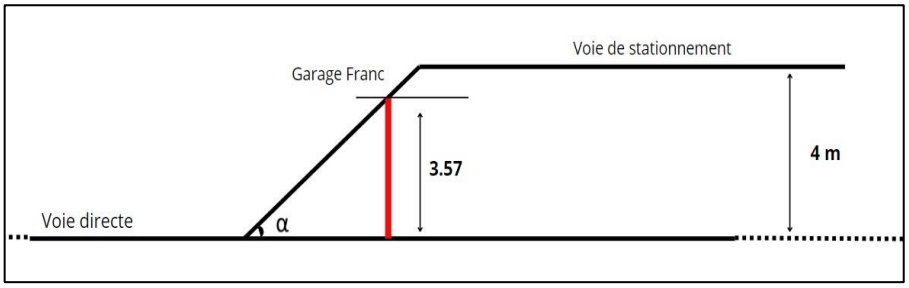


Figure XI.1 : Schéma illustratif d'un garage franc

→ Donc, pour un appareil de voie de 500-1/12 la longueur du garage franc est la suivante :

$$GF = 3.57 \times 12 + 1 = 43.84\ m$$

XI.5.4. La longueur utile

La longueur utile de stationnement des trains désigne la portion de voie ferrée disponible et sécurisée pour accueillir un train complet incluant toutes les locomotives et les wagons sans empiéter sur les voies adjacentes ni entraver le passage des autres trains.

Cette longueur doit être suffisante pour permettre le stationnement, le croisement ou le dépassement des trains en toute sécurité. Selon la SNTF La longueur utile minimale est de :

- 426 m : pour les trains voyageurs.
- 870 m pour les trains de marchandise (pour la voie principale et la voie de service).

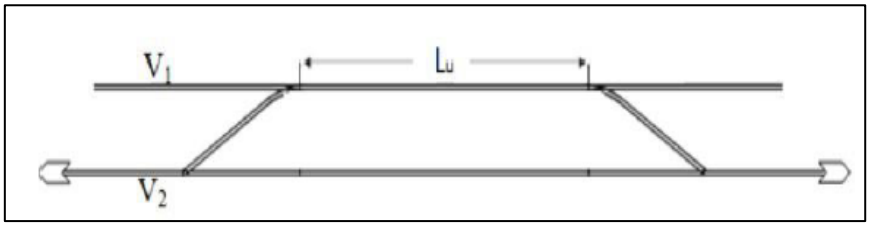


Figure XI.2 : Schéma de la longueur utile

→ Pour notre gare de croisement. 1000 mètres sera la valeur de longueur utile.

XI.5.5. Les heurtoirs

Les heurtoirs également connus sous le nom de butoirs ou tampons de voie sont des dispositifs de sécurité placés aux extrémités des voies ferrées. Leur rôle est de stopper les trains et les wagons qui dépasseraient la limite de la voie en absorbant l'énergie de l'impact pour immobiliser le matériel roulant.

Ces équipements sont essentiels pour éviter les déraillements et protéger les infrastructures ferroviaires. On les trouve principalement dans les gares, les terminus, les dépôts et sur les voies de garage où ils contribuent à la sécurité et à la gestion efficace du trafic ferroviaire.

XI.6. L'assainissement longitudinale de la gare

Pour drainer les eaux de ruissellement qui pénètrent dans le ballast et la plate-forme, des canaux sont installés longitudinalement avec une pente de 4‰. Ces canaux assurent ensuite l'évacuation de ces eaux vers le système d'assainissement via des regards d'inspection.

XI.7. Schéma de la gare

Dans la photo ci-dessous, nous présentons le schéma de principe de la gare Tenoukla :

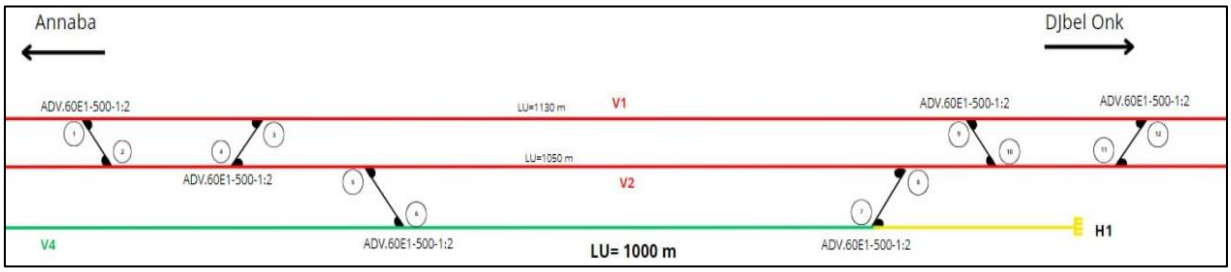


Figure XI.3 : Schéma de principe de la gare de croisement Tenoukla

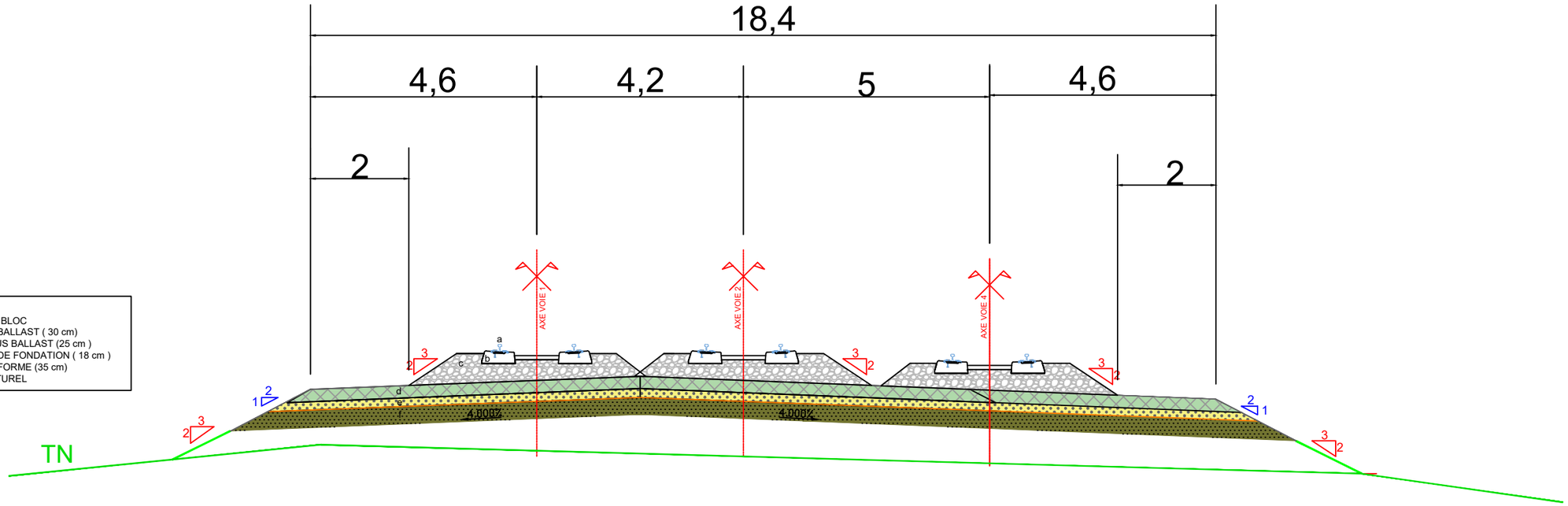
XI.8. Conclusion

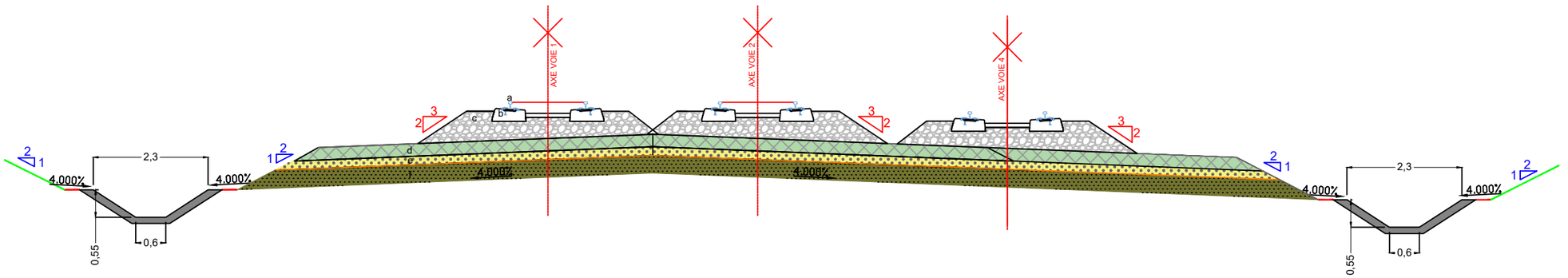
À la fin de ce chapitre, nous avons réussi la conception de notre gare de croisement pour assurer une circulation fluide et un confort optimal, tout en respectant des standards élevés de sécurité. La gare est conçue pour maximiser l'efficacité opérationnelle et minimiser les temps d'attente des voyageurs.

Des infrastructures techniques avancées, incluant des systèmes de signalisation et des dispositifs de sécurité, ont été intégrées. Cette approche garantit une gare performante, durable et adaptée aux besoins actuels et futurs.

PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA GARE EN REMBLAI ET EN DEBLAI

(a) RAIL UIC 60
(b) TRAVERSE BIBLOC
(c) COUCHE DE BALLAST (30 cm)
(d) COUCHE SOUS BALLAST (25 cm)
(e) COUCHE DE DE FONDATION (18 cm)
(f) COUCHE DE FORME (35 cm)
(g) TERRAIN NATUREL





ENSTP	Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger Fax : (023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz Tel : (023) 70 19 04 E-mail : enstp@enstp.edu.dz	PROJET DE FIN D'ETUDE	Réalisé par	Encadré par	Echelle	Planche	Année universitaire
		Etude en APD d'un contournement ferroviaire à double voie Tebessa-Tenoukla du PK 0+000 au PK 22+000 avec la conception d'une gare de dépassement Tenoukla.	NABED Kawther AMROUCHE Fadoua	Mr. Goumettre Ahmed Mr. HAMMADI Kamel	1:100	Profil en travers type de la gare en remblai et deblai	2023/2024

CHAPITRE XII :

SIGNALISATION FERROVIAIRE

CHAPITRE XII : SIGNALISATION FERROVIAIRE

Introduction :

À mesure que son réseau ferroviaire se développe, l'Algérie attache une importance croissante à la signalisation ferroviaire pour améliorer la sécurité et l'efficacité des transports. En Algérie, la signalisation ferroviaire est vitale pour gérer le trafic prévenir les accidents et coordonner l'exploitation des lignes ferroviaires.

Dans cette section, nous présenterons les concepts de base de la signalisation ferroviaire en examinant les différents types de signaux utilisés et les mécanismes de contrôle associés où la sécurité et la fluidité sont d'une importance primordiale.

XII.1.Le rôle des installations de signalisation

Les installations de signalisation ferroviaire sont importantes et fonctionnent pour garantir la sécurité des opérations dans le transport ferroviaire ainsi que pour assurer un flux optimal. Ces installations permettent :

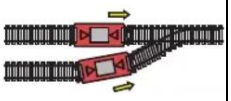
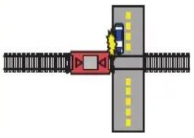
- Maîtriser le volume du trafic ferroviaire pour éviter les litiges et assurer une fluidité optimale.
- Informer les conducteurs des dangers de la conduite sur voie ferrée et des moyens de ré duire les risques d'accidents et de déraillements.
- Réguler la circulation dans les deux sens sur une seule voie.
- Indiquer la sécurité de toutes les personnes impliquées y compris les passagers. le perso nnel et les marchandises.
- Contribuer à améliorer la communication entre les trains et le centre de contrôle.

XII.2.Les risques ferroviaires

Assurer la sécurité des trajets en train que ce soit pour les marchandises ou les passagers est une priorité absolue. Les signaux sur les voies sont vitaux pour guider les techniciens et réduire les risques d'accidents. Dans le tableau ci-dessous, nous examinerons les principaux risques liés au transports ferroviaires.

Tableau XII.1 : Les risques ferroviaires

Risque	Configuration	Cas réel	Cause	Conséquence
Nez à nez			Itinéraires non gérés en sécurité (sur voie unique ou double voies banalisées)	Collision
Rattrapage			Espacement non géré (sur voie unique ou doubles voies)	

Conflit d'itinéraire			Itinéraires sécants non gérés en sécurité	Collision
Déraillement			Vitesse excessive ou défaillance du matériel	Accident
Choc extérieur			Protection non assurée avec l'environnement extérieur	

XII.3.Fonction des signaux

Les signaux ferroviaires sont essentiellement déployés pour remplir trois fonctions primordiales :

- La signalisation d'arrêt qui informe les conducteurs de trains des emplacements nécessitant un arrêt complet.
- La signalisation de limitation de vitesse qui indique les tronçons de voie où les vitesses doivent être réduites pour des raisons de sécurité.
- La signalisation de direction qui guide les conducteurs sur la voie à suivre.

Chaque fonction est typiquement associée à deux types de signaux : ceux qui préviennent de l'action à venir, et ceux qui la mettent en œuvre ou la rappellent. Il est également à noter que l'expression "signalisation d'arrêt" est spécifiquement réservée à l'action de stopper le train.

XII.4. Implantation longitudinale :

Pour garantir que les mécaniciens réagissent correctement aux signaux d'arrêt ou aux limitations de vitesse dans des zones spécifiques, il est crucial de les avertir à l'avance. Cela se fait grâce à l'utilisation de signaux d'avertissement à distance, positionnés de manière stratégique en fonction de plusieurs facteurs :

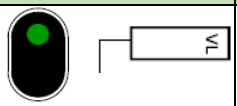
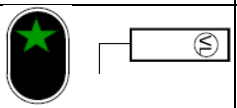
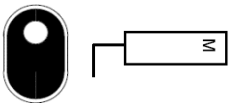
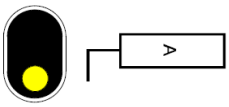
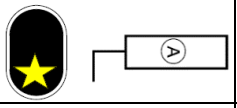
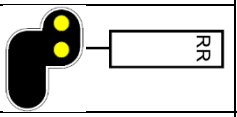
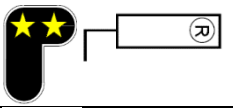
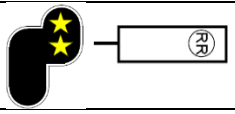
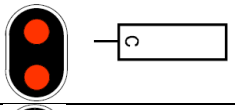
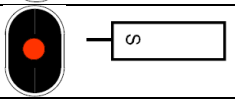
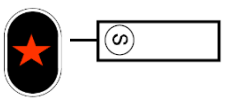
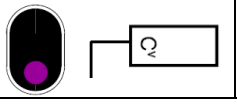
- **La distance d'arrêt** : influencée par le profil moyen de la voie, notamment sa pente, pour garantir un freinage efficace.
- **La distance de ralentissement :** déterminée par la vitesse maximale à laquelle le signal est approché et les capacités de freinage des trains.

Ces signaux sont conçus pour communiquer de manière claire et précoce avec les conducteurs, leur permettant de réagir de manière appropriée aux indications ferroviaires.

XII.5.Les signaux ferroviaires

Le tableau suivant présente la signalisation utilisée pour le contournement Tébessa-Tenoukla.

Tableau XII.2 : La signalisation du projet

Nom du signal	Représentation	Signification
Feu vert		Le feu vert indique au mécanicien que la marche normale est autorisée si rien ne s'y oppose.
Feu vert clignotant		Il commande au mécanicien d'un train à vitesse plus de 160 km/h de réduire sa vitesse.
Feu blanc		Il commande ou confirme au mécanicien l'observation de ta marche en manœuvre
Feu blanc clignotant		Il interdit dans tous les cas le départ en ligne d'un train.
Avertissement / feu jaune		L'avertissement fermé commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le ou les signaux d'arrêts : carré ou sémaphore annoncés ou d'observer un feu rouge clignotant.
Feu jaune clignotant		Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal annoncé à distance réduite par l'avertissement suivant.
Ralentissement 30		Le ralentissement 30 fermé commande au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 30km/h au franchissement de l'aiguillage (ou des aiguillages) correspondant.
Rappel 30		
Ralentissement 60		Le ralentissement 60 fermé commande au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 60 km/h au franchissement de l'aiguille (ou des aiguillages) correspondant.
Rappel 60		
Carré (2)		Le carré fermé commande au mécanicien l'arrêt avant te signal.
Sémaphore		Le sémaphore fermé commande au mécanicien l'arrêt avant le signal.
Feu rouge clignotant		Lorsqu'un mécanicien rencontre un panneau présentant un feu rouge clignotant, il peut sans marquer l'arrêt, s'avancer en marche à vue. Mais il ne doit pas dépasser au franchissement de ce signal la vitesse de 15 km/h.
Carré violet		Le carré violet fermé commande au mécanicien l'arrêt avant te signal.

XII.6.Principe de base de cantonnement

Le canton est un tronçon ferroviaire qui constitue le socle du système de l'espacement des trains, qui permet d'éviter les rattrapages. La ligne de chemin de fer est divisée en différents cantons. Chaque canton dispose d'un signalement. Le cantonnement est le mécanisme d'écartement des trains qui circulent dans le même sens sur une même voie.

Normalement, il n'y a qu'un seul train dans un canton donné. Lorsqu'un train traverse un canton, les composants environnementaux du train forment un court-circuit entre les deux voies du rail. En conséquence, le signal est fermé à l'entrée du canton et un feu rouge apparaît. Lorsque le train pénètre dans le canton suivant, le signal de protection apparaît à son passage.

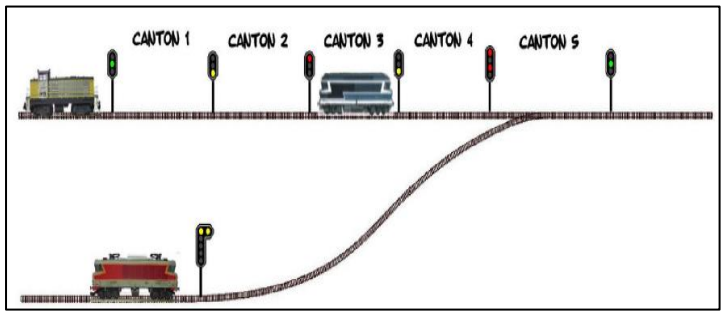


Figure XII.1 : Le système de cantonnement

XII.7.Les types de blocs

Il s'agit des systèmes employés afin de gérer les signaux.

- **Block Manuel (B.M) :** Employé sur les lignes peu fréquentées, ce système nécessite que l'agent ouvre manuellement le signal de bloc afin d'autoriser l'accès à la voie.
- **Block automatique à permissivité limitée (B.A.P.R) :** Ce système d'espacement est utilisé sur les lignes moyennement fréquentées et prend en charge l'entrée des trains dans la voie suivante par des signaux automatiques.
- **Bloc automatique lumineux (B.A.L) :** est un système d'espacement principal qui utilise des signaux automatiques pour gérer les trains en fonction de leur position et des conditions de circulation. Il est principalement employé sur les lignes très fréquentées.
- **Le système de cantonnement (systèmes d'espacement des trains) :** permet d'éviter les doublons en divisant la ligne en cantons protégés par des signaux d'arrêt.

XII.8.Le système de signalisation moderne ERTMS :

L'ERTMS (Européen Railways Traffic Management System) est un système de gestion du trafic ferroviaire européen visant à améliorer la sécurité et l'efficacité du transport ferroviaire. Il se compose de trois niveaux.

La coordination entre les opérateurs ferroviaires est renforcée par l'harmonisation des systèmes de signalisation et de contrôle de trains. L'ERTMS fait appel à des technologies de communication sans fil afin de surveiller les trains, améliorer les trajets et diminuer les risques de collisions.

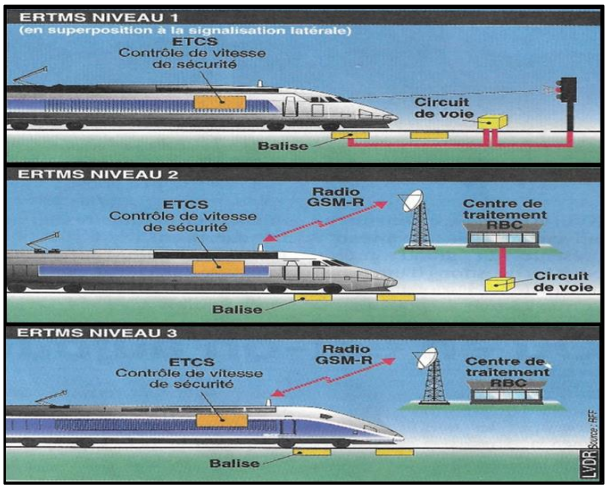


Figure XII.2 : Le système ERTMS

XII.9.Application sur notre projet

Dans le cadre de notre projet ferroviaire, nous avons opté pour l'utilisation du Bloc Automatique Lumineux (B.A.L) dans notre gare de croisement, en association avec le système ERTMS niveau 2 (GSM-R) . Le B.A.L, grâce à ses signaux automatiques, permet une gestion efficace des mouvements des trains, particulièrement ceux de marchandises, qui constituent la majorité de notre trafic. Quant à l'ERTMS, son objectif est d'améliorer la sécurité et l'efficacité opérationnelle de notre réseau ferroviaire.

Cette combinaison garantit une coordination optimale des opérations, assurant ainsi une gestion fluide et sécurisée des mouvements des trains, tout en répondant aux normes les plus élevées en matière de sécurité et de performance.

XII.10. Conclusion

Ce chapitre nous a appris que la signalisation ferroviaire est cruciale pour garantir la sécurité des utilisateurs du rail. Elle favorise la circulation fluide et régulée, améliore le confort des voyageurs et diminue les dangers qui peuvent influer la sécurité et la performance du transport ferroviaire.

Il est primordial de mettre à jour le système de signalisation ferroviaire existant et de s'adapter à la technologie, ce qui permettra d'améliorer le rendement du transport ferroviaire et de le rendre plus efficace, nous permettant ainsi d'exploiter notre réseau ferroviaire de manière efficace.

CHAPITRE XIII :

ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

CHAPITRE XIII : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Introduction

Le projet ferroviaire du contournement Tébessa - Tenoukla représente une avancée significative pour le développement des infrastructures de transport de la région. En reliant Tébessa à Tenoukla, ce projet vise à améliorer la mobilité, le commerce et le développement économique local. Cependant, il est impératif de considérer les impacts environnementaux potentiels associés à ce type de projet.

L'étude d'impact environnemental et social est un outil de mesure de la faisabilité du projet. Elle consiste à fournir une analyse détaillée des effets du projet sur l'écosystème local et de proposer des mesures d'atténuation pour minimiser ces impacts, tout en garantissant que les pratiques de construction et d'exploitation respectent les normes environnementales en vigueur.

XIII.1. Cadre Législatif et Réglementaire

Pour garantir une approche responsable et durable, le projet doit se conformer aux nombreuses lois et règlements en vigueur en Algérie en matière de protection de l'environnement. L'Algérie accorde une importance particulière à la préservation de l'environnement et à la promotion du développement durable. Voici une sélection de quelques principales dispositions légales à prendre en compte :

Tableau XIII.1: Quelques références légales et réglementaires

Domaine	Références légales et réglementaires
Protection de l'environnement et développement durable	- Loi nº 03-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. - Loi n° 01-20 du 12 Décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire.
Étude d'impact sur l'environnement	- Décret exécutif n° 90-78 du 27 février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement. - Décret exécutif n° 07-145 du 19 mai 2007 déterminant le champ d'application. le contenu et les modalités d'approbation des études et notices d'impact sur l'environnement.
Faune et flore	- Ordonnance n° 06-05 du 15 juillet 2006 relative à la protection et à la préservation de certaines espèces animales menacées de disparition. - Décret exécutif n° 12-235 du 24 mai 2012 fixant la liste des espèces animales non domestiques protégées.
Patrimoine culturel et sites archéologiques	- Loi n°98-04 du 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel.

L'Algérie met un point d'honneur à préserver l'environnement dans tous ses projets de développement. Ces lois et règlements reflètent l'engagement du pays à protéger ses ressources naturelles et à assurer un développement harmonieux et durable.

XIII.2. Description du Site :

La région traversée par le tracé ferroviaire entre Tébessa et Tenoukla présente une géographie diversifiée. Le tracé traverse le monticule de Tenoukla, qui inclut une forêt dense à la sortie de Tébessa, près de la commune de Bekkaria. Il traverse également les plaines fertiles près de Tébessa, intensivement cultivées principalement avec des céréales, des légumes et des oliviers.

Toute interruption des activités agricoles devra être compensée par des indemnités et du soutien. Le tronçon traverse de petits villages présentent des zones résidentielles et des oueds qui peuvent provoquer des inondations soudaines, particulièrement après de fortes pluies.

XIII.3. Analyse de l'état initial de la zone du projet

XIII.3.1. Situation géographique et administrative de la wilaya de Tébessa

- Située à l'extrême Est de l'Algérie, frontalière avec la Tunisie.
- Superficie : 13 878 km².
- Limites :
  - **Nord :** Souk-Ahras ;
  - **Nord-Ouest :** Oum-El Bouaghi et Khenchela ;
  - **Est :** Tunisie (300 km de frontière) ;
  - **Sud :** El-Oued.

Tableau XIII.2 : Situation administrative de la wilaya de Tébessa

Aspect	Détails
Population	693 671 habitants (2008)
Densité	46 habitants/km²
Communes	28
Daïras	12

XIII.4. Ressources physiques biologiques et humaines de la région d'étude

La région de Tébessa offre une multitude de richesses naturelles et humaines, ainsi qu'un potentiel économique et touristique remarquable. Voici un aperçu des caractéristiques de cette région, allant de sa géologie à ses activités économiques et touristiques.

Tableau XIII.3 : Ressources physiques biologiques et humaines de la zone d'étude

Ressource	Type	Description
Physique	**Relief**	- La région se divise en deux principaux domaines physiques : le domaine Atlasique au nord et le domaine saharien au sud. - Le domaine Atlasique comprend les Monts de Tébessa avec les Hauts plateaux et les Hautes plaines, tandis que le domaine saharien est caractérisé par le Plateau saharien.
	Climat	- Domaine semi-aride, avec une saison sèche prédominante et une saison humide.

	Géologie / Hydrogéologie	- Formations crétacé, miocène, quaternaire. - Zone de sismicité faible (Zone 1).
	Réseau hydrographique	- Eaux superficielles : cours d'eau et oueds. - Eaux souterraines : cette ressource couvre les besoins de différents secteurs économiques et agricoles comme l'industrie, l'irrigation et l'eau potable
Biologique	**Flore**	- La région abrite une flore variée notamment une strate herbacée comprenant des espèces telles que l'Alpha, l'armoise et le sparte, ainsi que des herbes communes dans les zones montagneuses.
	Faune	- La faune locale comprend diverses espèces animales notamment des oiseaux protégés, des mammifères comme les hérissons et les lièvres, ainsi que des reptiles. - Une diversité d'animaux cohabite avec la présence notable de sangliers renards, belettes, chacals, lièvres, hyènes et hérissons. Du côté aviaire, on peut observer des cigognes, hérons, perdrix, hérons garde-bœufs, étourneaux, vautours, colombes et moineaux ajoutant à la richesse de la faune locale.
Humaine	**Activités économiques**	- La production végétale est très diversifiée, céréales d'hiver, fourrage sec, maraîchage, fruits, olive et dates. La production animale est également importante, avec la production annuelle de viande blanche.
	Les infrastructures de base existantes	- Réseau routier devers : RN. CW. CC. - Réseau aéroportuaire : un aéroport de national à Tébessa. - Réseau ferroviaire : • Ligne minière (elle fait l'objet de cette étude) Tébessa-Annaba : transport de voyageurs, de phosphate et de minerai de fer ; • Ligne Tébessa- El Aouinet-Ain M'Lila- Jijel
	L'industrie	- Un complexe industriel à El Aouinet transformera les phosphates, avec des installations et des zones de stockage. Il sera approvisionné en roche phosphatée de Djebel Onk et d'un nouveau gisement près de Bir El Ater, ainsi qu'en soufre du port d'Annaba. - La production comprendra du DAP et de fer.
	Tourisme	- La wilaya de Tébessa constitue un important pôle touristique (elle est célèbre pour ses ruines romaines et notamment par son illustre mur de Caracalla). - La multiplicité de potentialités de cette wilaya ouvre de grandes opportunités à l'investissement et à la réalisation de projets touristiques prometteurs

XIII.5. L'impact du projet

XIII.5.1. Les impacts positifs :

La réalisation de ce contournement ferroviaire ouvre la voie à un essor multiforme pour la région, avec des perspectives prometteuses de renforcement sur plusieurs plans. Il y a des impacts directs et indirects. Il s'agit notamment de :

Tableau XIII.4 : Les impacts positifs directs et indirects du projet

Direct	Indirect
- Principalement à minimiser la perturbation et protéger l'environnement de la ville de Tébessa en réduisant le passage des trains de marchandises. - L'augmentation de la capacité de la ligne minière Est. - Création d'emplois. - L'augmentation de la vitesse de la ligne et Diminution des temps de trajet.	- La suppression du transport routier des minières, réduisant les dépenses d'entretien des routes. - La réduction du trafic routier, diminution de la pollution atmosphérique et réduction des risques d'accidents. - L'amélioration de l'accessibilité, attraction de nouvelles entreprises. - L'augmenter l'efficacité de la gestion des ressources locales.

XIII.5.2. Les impacts négatifs et les solutions d'atténuation envisagées

Les impacts négatifs sont les effets défavorables ou préjudiciables résultant d'une action ou d'un projet, qui peuvent affecter l'environnement, la santé, la sécurité, l'économie et le bien-être des communautés.

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des impacts négatifs anticipés, leur évaluation en termes d'importance, ainsi que les mesures d'atténuation recommandées.

Tableau XIII.5 : Identification des impacts négatifs du projet et les mesures d'atténuation proposées

Catégorie d'impact	Impacts négatifs	Solutions d'atténuation proposées
Sols	- La pollution causée par les eaux de lavage, les déversements accidentels de polluants et les incidents de chantier. - Une réduction des terres agricoles et une dégradation de la qualité des sols. - Le passage fréquent de trains et de véhicules compacte le sol, réduisant sa perméabilité et son absorption d'eau	- Gérer efficacement les déchets, les rejets liquides et les eaux usées. - Adopter des méthodes de stabilisation du sol afin de réduire l'érosion. - Contrôler la poussière en arrosant les zones de travail et en installant des barrières pour limiter sa dispersion. - Couvrez les camions transportant des matériaux poussiéreux. - Évitez l'utilisation de produits chimiques dangereux à proximité des zones sensibles. - Protéger les habitats naturels et les espèces locales sur le site de construction avec des mesures de conservation adaptées. - Organiser le chantier et choisir des matériaux réduisant la consommation d'énergie sont essentiels pour limiter la production de gaz à effet de serre.
L'air	- Les émissions polluantes des moteurs thermiques et la dispersion de poussières peuvent affecter la sécurité publique, la santé, les paysages. - La pollution sonore des trains et des travaux perturbe la vie des résidents et la faune.	
Eau (superficielle / souterraine)	- Les travaux de construction peuvent contaminer les eaux de surface par le ruissellement de sédiments, produits chimiques, huiles et carburant. - Les activités de construction peuvent causer l'érosion et la sédimentation, nuisant à la faune et à la flore aquatiques et altérant la qualité de l'eau. - Les travaux de construction peuvent modifier les niveaux des nappes phréatiques, affectant ainsi les puits et les sources locales.	

Flore	- Le dédoublement de la voie va engendrer une perte de ces espèces par suite des décapages du terrain naturel pour la construction de la plateforme. - La pollution de l'air et de l'eau peut avoir un impact sur les végétaux se trouvant aux abords du chantier.	- Limiter au maximum la création des pistes par les engins de chantier dans les zones cultivées. - Rétablir l'état des lieux par la re-végétalisation de l'Alpha des sites dégradés par les installations de chantier et pistes ainsi que les zones touchées par les déboisements et le décapage du couvert végétal, en utilisant les espèces végétales présentes sur site.
Faune	- La destruction des forêts, des prairies, des zones humides et d'autres habitats cruciaux pour de nombreuses espèces animales. - Le bruit des trains perturbe les comportements naturels des animaux, affectant communication, reproduction et alimentation.	- Planifier les tracés ferroviaires pour éviter les zones écologiquement sensibles - Informer les communautés et les voyageurs sur l'importance de la conservation de la faune et les mesures de protection. - Réduire la vitesse des trains dans les habitats critiques pour minimiser les collisions avec la faune
Milieux humain	- La construction de lignes ferroviaires peut entraîner l'expropriation de terres et la relocalisation des résidents, causant des perturbations sociales et économiques. - Le bruit des trains près des habitations peut perturber le sommeil, la concentration et le bien-être des résidents, affectant leur qualité de vie. - L'augmentation des risques d'accidents pour les travailleurs et les résidents locaux	- Créer des passages sécurisés pour les piétons et les véhicules afin de garantir la sécurité des résidents près des voies ferrées. - Installer des barrières acoustiques le long des voies ferrées pour atténuer le bruit pour les zones résidentielles. - Interdire l'accès au chantier à toute personne non autorisée.
Milieux agricoles	- La construction de voies ferrées réduit les terres disponibles pour la culture. - La présence de voies ferrées entrave le déplacement des machines agricoles et la gestion des ressources.	- Contourner les zones agricoles de haute valeur pour minimiser la perte de terres cultivables. - Créer des comités de liaison pour assurer la communication continue et la résolution rapide des problèmes entre les entreprises ferroviaires et les communautés agricoles. - Stocker les produits polluants sur des aires étanches, loin des terrains cultivés.

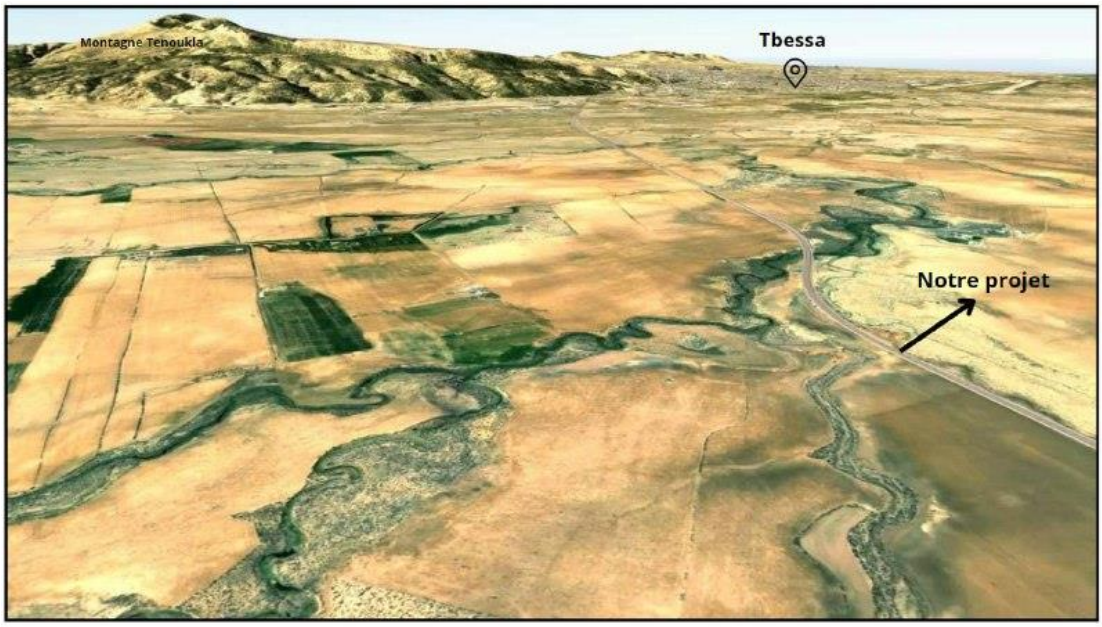


Figure XIII.1 : Le passage du projet par des terrains agricoles (Infraworks)

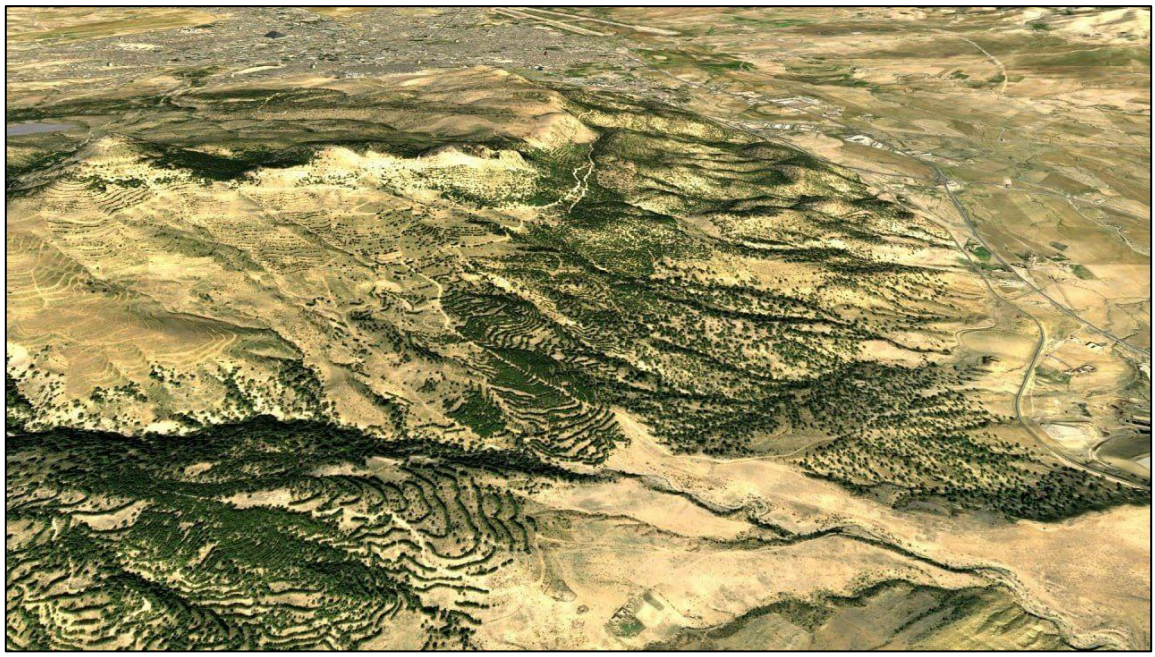


Figure XIII.2 : Le passage du projet proche de la montagne de Tenoukla (Infraworks)

XIII.6. Influence de l'environnement sur la réalisation du projet

Dans les projets ferroviaires, les risques environnementaux peuvent sérieusement entraver l'avancement du projet. Parmi ces risques, les épisodes pluvieux intenses compromettent l'assainissement des terrassements et augmentent le risque d'inondations par débordement des cours d'eau adjacents, surtout dans les zones déjà identifiées comme inondables. De plus, la pollution de l'eau et de l'air peut également retarder les travaux, nécessitant ainsi des ajustements dans la planification

❖ **Commentaire :**

Intégrer l'aspect environnemental dès l'étude préliminaire a permis d'anticiper les contraintes écologiques et d'évaluer plus précisément la faisabilité du projet. Cependant, nous aimerions souligner l'importance d'un suivi rigoureux pour nous assurer que ces mesures sont mises en œuvre efficacement, ainsi que de prêter attention aux impacts cumulatifs à long terme, notamment en lien avec le changement climatique et l'urbanisation.

XIII.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'analyse des impacts environnementaux du contournement ferroviaire, mettant en lumière plusieurs aspects cruciaux. L'intégration proactive des considérations environnementales dès les phases initiales de planification a facilité l'identification et l'anticipation des contraintes écologiques, contribuant ainsi à une évaluation plus précise de la faisabilité du projet.

Finalement la réussite de ce projet dépend d'un engagement constant envers la durabilité environnementale et d'une adaptation proactive des stratégies d'atténuation aux évolutions futures.

CHAPITRE XIV :

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

CHAPITRE XIV : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Tableau XIV.1 : Devis quantitatif et estimatif

N°	DESIGNATIONS	Unité	Quantité	Prix Unitaire	Montant HT
1	**INSTALLATIONS GENERALES**				
1.01	Amenée du matériel et installation générale de chantier	F	1.00	100 000 000.00	100 000 000.00
1.02	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1.00	20 000 000.00	20 000 000.00
1.03	Etude d'exécution et plan de recollement	F	1.00	80 000 000.00	80 000 000.00
	TOTAL 1				**200 000 000.00**
2	**TERRASSEMENTS GENERAUX**				
2.01	Décapage des terres végétale	M3	237 175.56	750.00	177 881 670.00
2.02	Remblai provenant des zones d'emprunt	M3	308 539.86	1 300.00	401 101 818.00
2.03	Déblais mise en remblai	M3	235 571.43	900.00	212 014 288.80
2.04	Déblais en terres mise en dépôt	M3	942 285.73	700.00	659 600 009.60
2.05	Fourniture Mise en place du Géotextile	M2	11 415.00	1700	19 405 500,00
2.06	Matériau de zone inondable/humide	M3	66 300.00	4200	278 460 000.00
	TOTAL 2				**1 748 459 872.80**
3	**ASSISE FERROVIAIRE**				
3.01	Fourniture et pose de Ballast	M3	126 984.00	4 000.00	507 936 000.00
3.02	Fourniture et mise en place du matériau pour Couche de sous ballast	M3	153 718.40	3 000.00	461 155 200.00
3.03	Fourniture et mise en place du matériau pour Couche de fondation	M3	117 832.00	2 500.00	294 580 000.00
3.04	Fourniture et mise en place du matériau pour Couche de forme	M3	247 350.40	900.00	222 615 360.00
	TOTAL3				1 486 286 560,00
4	**DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT**				
4.01	Dalots en béton armé (2x1) -(2x1.5) -(2x2) -(3x1) -(3x1.5) -(3x2) -(4x1)	M3	3096	45 000.00	139 320 000.00
4.02	Buses en béton arme diamètre (1000)	ML	48	35 000.00	1 680 000.00
4.03	Buses en béton arme diamètre (1200)	ML	195.2	42 000.00	8 198 400.00
4.04	Buses en béton arme diamètre (1500)	ML	17.4	50 000.00	870 000.00
4.05	Fossé en béton arme.	ML	17300	7 300.00	126 290 000.00
	TOTAL 4				**276 358 400.00**
5	**TRAVAUX DE VOIE ET DE GARE**				
5.01	Fourniture des rails neufs UIC 60 (60.34 kg/m).	T	5 298.48	121 250.00	642 440 700.00
5.02	Pose de voie a blanc	ML/V	44 000.00	9 400.00	413 600 000.00
5.03	Fourniture des appareils de voie simples UIC 60-500-1/12	U	12.00	16 000 000.00	192 000 000.00
5.04	Pose des appareils de voie simples UIC 60-500-1/12	U	12.00	412 000.00	4 944 000.00
5.05	Fourniture et Pose de garage franc	U	12.00	400 000.00	4 800 000.00
5.06	Traverses Bi-Bloc	U	73 304.00	9 000.00	659 736 000.00
5.07	Soudage aluminothermique	U	4 884.00	15 000.00	73 260 000.00
5.08	Soudage électrique	Forfait	1.00	500 000.00	500 000.00
5.09	Attache pour Rail UIC 60	U	293 216.00	1 200.00	351 859 200.00

5.10	Semelle cannelée	U	146 608.00	250.00	36 652 000.00
5.11	Heurtoir		1.00	210 000.00	210 000.00
TOTAL 5					**2 380 001 900.00**
6	**SIGNIALISATION ET ELECTRIFICATION**				
6.01	Signalisation et électrification	Forfait	1	255 000 000.00	255 000 000.00
TOTAL 6					**255 000 000.00**
Total en HT					**6 346 110 146.40**
MMONTANT TVA					**1 205 760 927.82**
MONTANT TOTAL EN TTC					**7 551 871 074.22**

Montant total en TTC (en lettres) :

Sept milliards cinq cent cinquante et un million huit cent soixante et onze mille soixante-quatorze dinars et vingt-deux centimes.

CHAPITRE XV :

PLANIFICATION DU PROJET

CHAPITRE XV : PLANIFICATION DU PROJET

Introduction

L'organisation d'un chantier est un élément fondamental pour la réussite de tout projet de construction. Elle consiste à planifier, coordonner et superviser l'ensemble des activités nécessaires à la réalisation des travaux, depuis la préparation du site jusqu'à la livraison finale de l'ouvrage.

Avant de se rendre sur le chantier et de commencer les travaux effectifs, il est indispensable de faire une planification détaillée pour orchestrer toutes les composantes du projet de manière harmonieuse et efficace, assurant ainsi la réalisation des travaux dans les meilleures conditions possibles.

XV.1. Objectifs de la planification

La planification d'un chantier vise à garantir une exécution optimale des travaux, en respectant les contraintes de temps, de coût et de qualité. Ses objectifs majeurs sont les suivants:

- Maximiser la rentabilité du projet en anticipant et en optimisant l'utilisation des ressources disponibles.
- Assurer la compréhension des spécifications techniques, des délais et des critères de qualité par toutes les parties prenantes.
- Organiser les opérations dans une séquence fluide pour une exécution efficace du travail.
- Identifier les risques et élaborer des plans de contingence pour en minimiser l'impact.

XV.2. Le diagramme de gantt :

Le Diagramme de Gantt est un outil de gestion de projet qui représente les tâches et activités sur une période donnée avec des barres horizontales. Chaque barre correspond à une tâche, sa longueur indiquant sa durée et sa position son placement dans le temps. Il permet de visualiser les dates de début et de fin de chaque tâche, ainsi que les tâches critiques qui impactent le calendrier global.

→ Voici les éléments importants à prendre en compte lors de la création d'un planning Gantt :

- Le Diagramme de Gantt offre une vue d'ensemble claire du projet, permettant aux membres de l'équipe de comprendre rapidement les étapes et les délais à respecter.
- Le Diagramme de Gantt facilite le suivi de l'avancement du projet en comparant les tâches prévues avec celles réalisées, permettant ainsi de détecter les retards et d'appliquer des corrections.
- Le Diagramme de Gantt optimise l'utilisation des ressources en identifiant les périodes de surcharge ou de sous-utilisation pour une réaffectation efficace.

XV.3. Résumé de notre projet

Dans ce projet, nous avons créé un diagramme de Gantt avec MS Project. Après avoir intégré les données du projet.

→ Le délai d'exécution de ce projet est fixé à 680 jours, répartis selon le tableau suivant :

La section	Le délai d'exécution
Installation de chantier	329 jours
Étude d'exécution	60 jours
Terrassement	435 jours
Drainage et assainissements	99 jours
Travaux de voie	680 jours

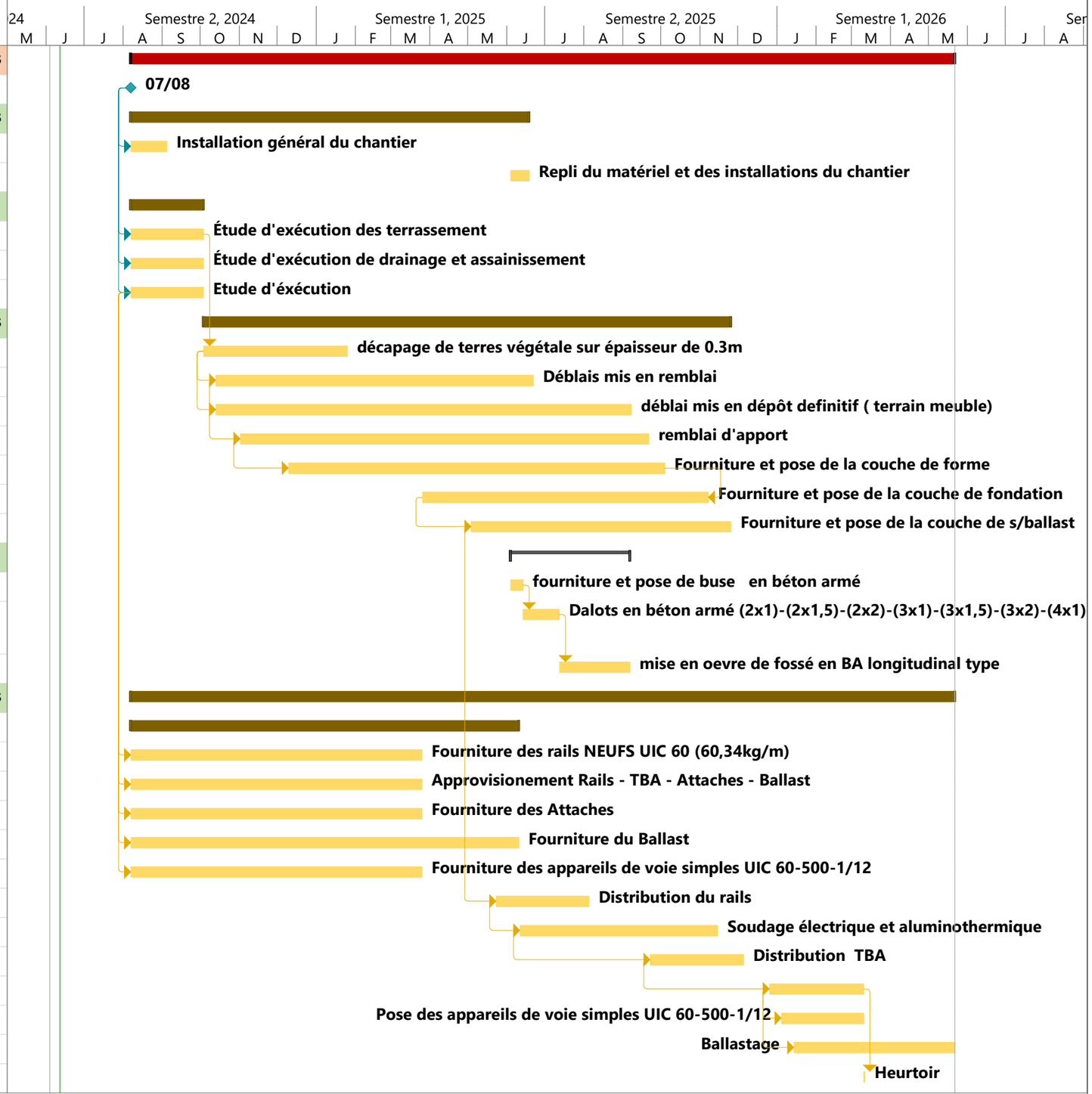
XV.4. Conclusion

Une planification minutieuse constitue le pilier fondamental de tout projet. Dans ce chapitre, nous avons exploré en détail les différentes étapes de la planification, depuis la définition des objectifs jusqu'à l'élaboration des plannings détaillés. Pour garantir la qualité de notre planning, nous avons fait appel à l'expertise d'ingénieurs spécialisés en planification.

Etude en APD d'un contournement ferroviaire à double voie Tebessa-Tenoukla du PK 0+000 au PK 22+000 avec la conception d'une gare de croisement Tenoukla

Encadré par :
Mr A.Goumettre
Mr K. HAMMADI

N°	Mode Tâche	Nom de la tâche	Unité	Quantité	Durée
1		**Planning Tbessa Tenoukla**			**679,57 jours**
2		ODS	F	1	0 jour
3		**Insatalatin de chantier**			**328,29 jours**
4		Installation général du chantier	F	1	30 jours
5		Repli du matériel et des installations du chantier	F	1	15 jours
6		**Étude d'exécution**			**60 jours**
7		Étude d'exécution des terrassement	F	1	60 jours
8		Étude d'exécution de drainage et assainissement	F	1	60 jours
9		Etude d'éxécution	F	1	60 jours
10		**TERASSEMNT**			**434,86 jours**
11		décapage de terres végétale sur épaisseur de 0.3m	m3	237 175,56	119 jours
12		Déblais mis en remblai	M3	235 571,43	262 jours
13		déblai mis en dépôt definitif (terrain meuble)	M3	308 539,86	343 jours
14		remblai d'apport	M3	235 571,43	337 jours
15		Fourniture et pose de la couche de forme	M3	247 350,40	310 jours
16		Fourniture et pose de la couche de fondation	M3	117 832,00	236 jours
17		Fourniture et pose de la couche de s/ballast	M3	153 718,40	214 jours
18		**DRAINAGE ET ASSAINISSEMENTS**			**98,43 jours**
19		fourniture et pose de buse en béton armé	ML	260.6	10 jours
20		Dalots en béton armé (2x1)-(2x1,5)-(2x2)-(3x1)-(3x1,5)-(3x2)-(4x1)	m3	3096	30 jours
21		mise en oevre de fossé en BA longitudinal type	ML	17300	58 jours
22		**TRAVAUX DE VOIE**			**679,57 jours**
23		**Approvisionement Rails - TBA - Attaches - Ballast**			**320 jours**
24		Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60,34kg/m)	T	5 298,48	240 jours
25		Fourniture des TBA	U	73 304,00	240 jours
26		Fourniture des Attaches	U	293 216,00	240 jours
27		Fourniture du Ballast	M3	126 984,00	320 jours
28		Fourniture des appareils de voie simples UIC 60-500	U	12,00	240 jours
29		Distribution du rails	ML	44000	77 jours
30		Soudage électrique et aluminothermique	U	4889	163 jours
31		Distribution TBA	ML	44000	77 jours
32		Pose de la voie	ML	44 000,00	77,86 jours
33		Pose des appareils de voie simples UIC 60-500-1/12	U	12.00	67,86 jours
34		Ballastage	M3	126 984,00	133 jours
35		Heurtoir	U	1	1 jour



Delai : DIX HUIT (18) MOIS

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le présent mémoire de fin d'études propose l'étude d'un tronçon ferroviaire de la ligne minière Est qui est le contournement Tébessa-Tenoukla, qui couvre le tronçon PK0 000 au PK22 000. Cette étude rentre dans le cadre de la dynamique nationale d'amélioration et d'optimisation de l'état et des conditions du transport ferroviaire, pour accompagner et promouvoir le développement socio-économique du pays.

Notre étude s'est focalisée sur plusieurs aspects essentiels pour la réalisation de ce projet. Nous avons mené des études géométriques approfondies pour déterminer avec précision le tracé du nouveau tronçon en prenant en compte les caractéristiques topographiques de la région étudiée. Des études géologiques et géotechniques ont également été menées pour estimer les conditions du sol et les complications possibles de construction. De plus, des études hydrauliques ont été réalisées pour concevoir les structures nécessaires pour gérer les eaux pluviales et souterraines pour s'assurer de succès et de durabilité du projet.

Différents logiciels comme AutoCAD, CIVIL 3D, InfraWorks et Geo5.0 ont permis de modéliser et simuler différentes parties du projet. Ils nous ont aidé à produire des dessins précis ainsi que des visualisations réalistes pour faciliter la prise de décision en plus d'interagir avec les intervenants.

L'application des règles de l'UIC (Union Internationale des Chemins de fer) et de la SNTF (Société Nationale des Transports Ferroviaires) était une étape incontournable dans le but d'assurer un projet conforme et sécurisé. Toutes nos opérations étaient guidées par ces lignes directrices depuis le premier croquis jusqu'aux plans de construction.

En conclusion, ce projet est une étape en avant pour l'amélioration du réseau de chemin de fer dans la région minière de l'Est. Cela signifie tout simplement qu'il soutient l'augmentation de la demande pour le transport de marchandises en offrant une mobilité durable et efficace. Ce mémoire nous a permis d'améliorer notre pratique et nos connaissances d'une façon considérable, non seulement à un niveau théorique, mais également pratique. Cela va nous donner la possibilité d'apprécier les projets de manière critique et créative le futur travail à notre niveau d'ingénierie. Ce travail est très utile pour un avenir d'ingénieur dans le domaine de chemin de fer.

Bibliographie

[1] : Groupe d'experts nationaux et internationaux, Règlement Parasismique des Ouvrages d'Art 2008, Alger, ministère des Travaux Publics.

[2] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2ème Edition.

[3] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 3ème Edition.

[4] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 2005.

[5] COSIDER, « Rapport de l'étude géologique et géotechnique ».

[6] COSIDER, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».

[7] Setra, Guide technique : Assainissement routier, Octobre 2006.

[8] SNTF, Appareils de vois.

[9] ST N°590 B-Oct 95.

[10] IN-3278-Tome 2 − Ouvrage en terre.

[11] IN 260, Dimensionnement des structures d'assise pour la construction et la réfection des voies ferrées

[12] IN 0272, Conception du tracé de la voie courante $V \leq 220$ km/h

[13] Mémoires de voie ferrée école nationale des travaux publics.

[14] KHELIFI, Mossedek, and Hamid HADBI. "Drainage et renforcement par géosynthétiques sur sol compressible".

[15] Khemissa, M. (1999). Méthodologie d'étude et règles de construction des remblais sur sols compressibles. *Actes du Séminaire sur les terrassements dans les grands travaux, ARAL, Sétif*.

[16] Le Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, Le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (Novembre 2000) « ETUDE ET REALISATION DES REMBLAIS SUR SOLS COMPRESSIBLES », GUIDE TECHNIQUE.

ANNEXE

ANNEXE A : Listing de l'axe en plan

Axe en plan : axe Tenoukla
Plage d'abscisse : Début : 0+000, Fin : 22+000

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			0+000	416625.3639	3923969.6299
DR1	ANG=147.0999 (g)	283.463			
			0+283	416834.7226	3923778.5270
CLO2	A=268.328				
	R=600.000	120.000			
			0+403	416925.9578	3923700.6594
ARC3	XC=417284.1994				
	YC=3924181.9732				
	R=600.000	252.879			
			0+656	417154.2112	3923596.2232
CLO4	A=268.328				
	R=600.000	120.000			
			0+776	417272.7801	3923578.0959
DR5	ANG=107.5362 (g)	1326.347			
			2+103	418589.8442	3923421.4513
CLO6	A=282.843				
	R=1600.000	50.000			
			2+153	418639.5238	3923415.8049
ARC7	XC=418803.6404				
	YC=3925007.3657				
	R=1600.000	245.989			
			2+399	418885.1879	3923409.4452
CLO8	A=282.843				
	R=1600.000	50.000			
			2+449	418935.0931	3923412.5135
DR9	ANG=95.7592 (g)	324.670			
			2+773	419259.0432	3923434.1252
CLO10	A=264.575				
	R=700.000	100.000			
			2+873	419358.9289	3923438.4035
ARC11	XC=419355.5589				

	YC=3922738.4116				
	R=700.000	336.941			
			3+210	419682.6224	3923357.3054
CLO12	A=264.575				
	R=700.000	100.000			
			3+310	419768.6920	3923306.4378
DR13	ANG=135.4971 (g)	3798.398			
			7+109	422991.7621	3921296.5499
CLO14	A=254.951				
	R=650.000	100.000			
			7+209	423075.2091	3921241.4923
ARC15	XC=422689.8997				
	YC=3920718.0072				
	R=650.000	703.855			
			7+913	423332.9305	3920623.0786
CLO16	A=254.951				
	R=650.000	100.000			
			8+013	423313.2793	3920525.0553
DR17	ANG=214.2279 (g)	791.524			
			8+804	423137.8496	3919753.2170
CLO18	A=268.328				
	R=600.000	120.000			
			8+924	423115.1777	3919635.4325
ARC19	XC=423710.6084				
	YC=3919561.5259				
	R=600.000	559.873			
			9+484	423296.7485	3919127.1068
CLO20	A=268.328				
	R=600.000	120.000			
			9+604	423388.9127	3919050.3410
DR21	ANG=142.0912 (g)	1895.909			
			11+500	424885.3091	3917886.1810
CLO22	A=268.328				
	R=600.000	120.000			
			11+620	424982.3820	3917815.7249
ARC23	XC=425301.6865				

	YC=3918323.7059				
	R=600.000	342.110			
			11+962	425307.0963	3917723.7302
CLO24	A=268.328				
	R=600.000	120.000			
			12+082	425426.6996	3917732.7999
DR25	ANG=93.0598 (g)	146.398			
			12+228	425572.2289	3917748.7281
CLO26	A=264.575				
	R=700.000	100.000			
			12+328	425671.3256	3917761.9686
ARC27	XC=425545.6985				
	YC=3918450.6033				
	R=700.000	80.484			
			12+409	425749.4995	3917780.9279
CLO28	A=264.575				
	R=700.000	100.000			
			12+509	425843.6517	3917814.5557
DR29	ANG=76.6455 (g)	2187.042			
			14+696	427885.1706	3918598.9996
CLO30	A=268.328				
	R=600.000	120.000			
			14+816	427998.5077	3918638.2668
ARC31	XC=428156.7251				
	YC=3918059.5032				
	R=600.000	161.577			
			14+977	428158.1913	3918659.5014
CLO32	A=268.328				
	R=600.000	120.000			
			15+097	428277.8516	3918651.2181
DR33	ANG=106.5218 (g)	62.073			
			15+160	428339.5988	3918644.8703
CLO34	A=268.328				
	R=600.000	120.000			
			15+280	428459.2591	3918636.5870
ARC35	XC=428460.7253				

	YC=3919236.5852				
	R=600.000	260.375			
			15+540	428711.6737	3918691.5853
CLO36	A=268.328				
	R=600.000	120.000			
			15+660	428817.0410	3918748.8996
DR37	ANG=66.1627 (g)	845.054			
			16+505	429545.5112	3919177.2064
CLO38	A=319.374				
	R=1700.000	60.000			
			16+565	429597.4109	3919207.3116
ARC39	XC=430433.0446				
	YC=3917726.8670				
	R=1700.000	1431.764			
			17+997	430981.2575	3919336.0478
CLO40	A=319.374				
	R=1700.000	60.000			
			18+057	431037.8197	3919316.0326
DR41	ANG=122.0266 (g)	2392.351			
			20+449	433288.3979	3918504.7113
CLO42	A=268.328				
	R=600.000	120.000			
			20+569	433399.8182	3918460.2959
ARC43	XC=433141.0057				
	YC=3917918.9863				
	R=600.000	1008.752			
			21+578	433650.4869	3917602.0812
CLO44	A=268.328				
	R=600.000	120.000			
			21+698	433580.4894	3917504.6771
DR45	ANG=241.7909 (g)	302.169			
			22+000	433396.0732	3917265.3099

ANNEXE B : Abscisse Sommets et Raccordements

Profil en long : LR1
Plage d'abscisse : Début : 0+000, Fin : 22+000
LONGUEUR DE L'AXE : 22000.000m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0+000	790.535
D1	PENTE= 1.35%	131.633		
			0+132	792.308
ARC1	S= 0+163 Z=792.731			
	R= -10000.000	62.848		
			0+194	792.956
D2	PENTE= 0.72%	3310.261		
			3+505	816.724
ARC2	S= 3+533 Z=816.928			
	R= -10000.000	56.640		
			3+561	816.971
D3	PENTE= 0.15%	1866.784		
			5+428	819.801
ARC3	S= 5+458 Z=819.846			
	R= -12000.000	59.450		
			5+488	820.038
D4	PENTE= 0.65%	2142.233		
			7+630	833.899
ARC4	S= 7+696 Z=834.324			
	R= -6000.000	131.484		
			7+761	833.309
D5	PENTE= -1.54%	768.736		
			8+530	821.435
ARC5	S= 8+577 Z=820.715			
	R= -7000.000	93.247		
			8+623	820.616
D6	PENTE= -0.21%	517.405		
			9+141	819.518
ARC6	S= 9+179 Z=819.436			
	R= -12000.000	77.038		

			9+218	819.602
D7	PENTE= 0.43%	1167.577		
			10+385	824.619
ARC7	S= 10+405 Z=824.702			
	R= -15000.000	38.770		
			10+424	824.835
D8	PENTE= 0.69%	2256.756		
			12+681	840.366
ARC8	S= 12+715 Z=840.603			
	R= -10000.000	68.816		
			12+750	840.603
D9	PENTE= -0.00%	1790.511		
			14+540	840.603
ARC9	S= 14+586 Z=840.603			
	R= -7000.000	91.222		
			14+631	841.197
D10	PENTE= 1.30%	3959.513		
			18+591	892.800
ARC10	S= 18+627 Z=893.265			
	R= -50000.000	71.229		
			18+662	893.779
D11	PENTE= 1.45%	3337.844		
			22+000	942.037

ANNEXE C : Canalisation circulaire partiellement remplie

CANALISATIONS CIRCULAIRES PARTIELLEMENT REMPLIES

H/D	TETA	Q/QPS	V/VPS	S/SPS	L/D	RH/D	RER
0.02	0.2838	0.001	0.14	0.005	0.280	0.013	0.151
0.04	0.4027	0.003	0.22	0.013	0.392	0.026	0.187
0.06	0.4949	0.007	0.29	0.024	0.475	0.039	0.210
0.08	0.5735	0.013	0.35	0.037	0.543	0.051	0.228
0.10	0.6435	0.021	0.40	0.052	0.600	0.064	0.241
0.12	0.7075	0.031	0.45	0.068	0.650	0.075	0.251
0.14	0.7670	0.042	0.50	0.085	0.694	0.087	0.260
0.16	0.8230	0.056	0.54	0.103	0.733	0.099	0.266
0.18	0.8763	0.071	0.58	0.122	0.768	0.110	0.272
0.20	0.9273	0.088	0.62	0.142	0.800	0.121	0.276
0.22	0.9764	0.106	0.65	0.163	0.828	0.131	0.279
0.24	1.0239	0.126	0.68	0.185	0.854	0.142	0.281
0.26	1.0701	0.148	0.72	0.207	0.877	0.152	0.283
0.28	1.1152	0.171	0.75	0.229	0.898	0.161	0.284
0.30	1.1593	0.196	0.78	0.252	0.917	0.171	0.284
0.32	1.2025	0.222	0.80	0.276	0.933	0.180	0.284
0.34	1.2451	0.249	0.83	0.300	0.947	0.189	0.283
0.36	1.2870	0.277	0.86	0.324	0.960	0.198	0.281
0.38	1.3284	0.307	0.88	0.349	0.971	0.206	0.279
0.40	1.3694	0.337	0.90	0.374	0.980	0.214	0.277
0.42	1.4101	0.368	0.92	0.399	0.987	0.222	0.274
0.44	1.4505	0.400	0.94	0.424	0.993	0.229	0.271
0.46	1.4907	0.433	0.96	0.449	0.997	0.237	0.268
0.48	1.5308	0.466	0.98	0.475	0.999	0.243	0.264
0.50	1.5708	0.500	1.00	0.500	1.000	0.250	0.260
0.52	1.6108	0.534	1.02	0.525	0.999	0.256	0.255
0.54	1.6509	0.568	1.03	0.551	0.997	0.262	0.250
0.56	1.6911	0.603	1.05	0.576	0.993	0.268	0.245
0.58	1.7315	0.637	1.06	0.601	0.987	0.273	0.239
0.60	1.7722	0.672	1.07	0.626	0.980	0.278	0.233
0.62	1.8132	0.706	1.08	0.651	0.971	0.282	0.227
0.64	1.8546	0.740	1.09	0.676	0.960	0.286	0.221
0.66	1.8965	0.773	1.10	0.700	0.947	0.290	0.214
0.68	1.9391	0.806	1.11	0.724	0.933	0.293	0.207
0.70	1.9823	0.837	1.12	0.748	0.917	0.296	0.200
0.72	2.0264	0.868	1.13	0.771	0.898	0.299	0.192
0.74	2.0715	0.898	1.13	0.793	0.877	0.301	0.184
0.76	2.1176	0.926	1.14	0.815	0.854	0.302	0.175
0.78	2.1652	0.953	1.14	0.837	0.828	0.304	0.166
0.80	2.2143	0.977	1.14	0.858	0.800	0.304	0.157
0.82	2.2653	1.000	1.14	0.878	0.768	0.304	0.148
0.84	2.3186	1.021	1.14	0.897	0.733	0.304	0.138
0.86	2.3746	1.039	1.14	0.915	0.694	0.303	0.127
0.88	2.4341	1.054	1.13	0.932	0.650	0.301	0.116
0.90	2.4981	1.066	1.12	0.948	0.600	0.298	0.104
0.92	2.5681	1.073	1.12	0.963	0.543	0.294	0.091
0.94	2.6467	1.076	1.10	0.976	0.475	0.289	0.077
0.96	2.7389	1.071	1.09	0.987	0.392	0.283	0.061
0.98	2.8578	1.057	1.06	0.995	0.280	0.274	0.041
1.00	3.1416	1.000	1.00	1.000	0.000	0.250	0.000

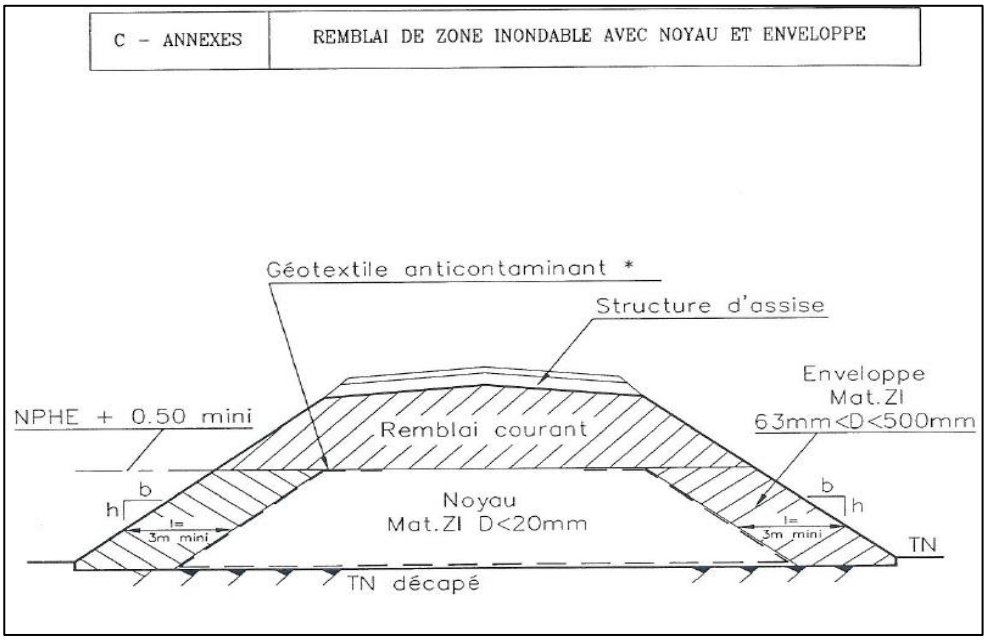
ANNEXE D : : La localisation des sondages et essais in -situ réalisés du P K00+000 au PK22+000

Essais	Pk	Profondeur (m)	Objectif
PU-01	**0+ 380**	4	Zone de remblai
PDL-01		Refus	Zone de remblai
PU-02	**0+ 800**	4	Zone de remblai
PDL-02		Refus	
SP-16	**01+ 243**	15	Zone de remblai
SC-17		15	Zone de remblai
SC-18	**01+ 615**	15	Passage inferieur
PU-03	**01+ 700**	5	Passage inferieur
PDL-03		Refus	Passage inferieur
F-01	**02+ 760**	15	
PDL-04		Refus	Zone de remblai
PU-04	**02+ 885**	4	
PDL-05		Refus	
PU-05	**03+ 234**	4	
PDL-06		Refus	
SP-17	**03+ 360**	15	Passage inferieur
SC-19		15	Passage inferieur
F-02	**03+ 650**	12	
CPT-01		Refus	Zone de remblai
PDL-01		Refus	Zone de remblai
F-03	**04+ 732**	20	
CPT-02		Refus	
PDL-02	**04+ 800**	Refus	
F-04	**04+ 975**	20	Zone de remblai
CPT-03		Refus	Zone de remblai
PDL-03	**05+ 225**	Refus	Zone de remblai
PU-06	**05+ 357**	4	
CPT-04		Refus	Zone de remblai
SP-01	**05+ 555**	15	Zone de remblai
F-05	**06+ 075**	12	
PDL-07		Refus	Zone de remblai
PDL-04	**06+ 080**	Refus	Zone de remblai
SP-02	**06+ 300**	15	Zone de remblai
SC-07		12	Zone de remblai
F-06	**06+ 700**	12	
SP-18	**07+ 542**	15	Passage inferieur
SC-20		15	Passage inferieur
PU-07	**07+ 660**	4	
PDL-08		Refus	Zone de remblai
SP-19	**08+ 534**	15	Zone de remblai
SC-21		15	Zone de remblai
PU-08	**09+ 120**	4	Zone de remblai
PDL-09		Refus	Zone de remblai
F-07	**09+ 420**	15	Zone de remblai
SP-03		15	Zone de remblai
F-08	**09+ 840**	12	Zone de remblai
PU-09	**11+ 100**	4	Zone de remblai
PDL-10		Refus	Zone de remblai
F-09	**11+ 810**	12	
SP-04		15	
F-10	**12+ 200**	12	Zone de remblai
PDL-11		Refus	Zone de remblai
SC-13	**12+650**	12	Gare Tenoukla
SP-05-TT	**12+ 580**	15	Gare Tenoukla
F-11	**13+ 190**	12	Gare Tenoukla
SP-06		15	Gare Tenoukla
PU-10		4	Gare Tenoukla
PDL-12		Refus	Gare Tenoukla
F-12	**15+ 000**	12	
SP-07		15	
PU-11	**15+ 700**	4	Zone de remblai.
PDL-13		Refus	Zone de remblai.
PU-12	**16+ 800**	4	
PU-13		4	
F-13	**18+ 460**	20	Zone de remblai
SP-08		15	Zone de remblai
SP-20	**19+ 161**	15	Passage inferieur
SC-22		15	Passage inferieur
PU-14	**19+ 500**	4	
SP-21	**20+ 135**	15	
SC-23		15	
PU-15		4	
PU-16	**21+ 300**	4	Zone de déblai
PDL-17		Refus	Zone de déblai
PU-17	**21+ 668**	4	Zone de déblai
F-14		10	Zone de déblai

ANNEXE E : calcul NPHE

PK	NPHE	TN	FSR	PLF	Z NPHE – Z TN	Hauteur d'enrochement	NPHE-PLF	Recommendation
0+375	790	788.786	791.808	791.157	**1.214**	**1.714**	**1.157**	**Protection par enrochement jusqu'au niveau NPHE+0,5 m**
0+400	790	789.493	791.921	791.27	**0.507**	**1.007**	**1.27**	
0+425	790	789.706	792.033	791.382	**0.294**	**0.794**	**1.382**	
0+450	790	789.825	792.146	791.495	**0.175**	**0.675**	**1.495**	
8+800	817.4	817.209	820.664	820.013	**0.191**	**0.691**	**2.613**	
8+815	817.4	816.97	820.664	820.013	**0.43**	**0.93**	**2.613**	
8+825	817.4	816.328	820.666	820.015	**1.072**	**1.572**	**2.615**	
8+850	817.4	817.171	820.668	820.017	**0.229**	**0.729**	**2.617**	
8+875	817.4	817.353	820.67	820.019	**0.047**	**0.547**	**2.619**	
8+900	817.4	817.109	820.673	820.022	**0.291**	**0.791**	**2.622**	
8+925	817.4	816.993	820.675	820.024	**0.407**	**0.907**	**2.624**	
8+935	817.4	816.827	820.677	820.026	**0.573**	**1.073**	**2.626**	
8+950	817.4	816.797	820.677	820.026	**0.603**	**1.103**	**2.626**	
8+975	817.4	816.607	820.679	820.028	**0.793**	**1.293**	**2.628**	
8+100	817.4	816.764	820.681	820.03	**0.636**	**1.136**	**2.63**	
9+02	817.4	816.652	820.683	820.032	**0.748**	**1.248**	**2.632**	
9+050	817.4	816.666	820.685	820.034	**0.734**	**1.234**	**2.634**	
9+075	817.4	816.698	820.687	820.036	**0.702**	**1.202**	**2.636**	
9+100	817.4	816.911	820.69	820.039	**0.489**	**0.989**	**2.639**	
9+125	817.4	816.973	820.692	820.041	**0.427**	**0.927**	**2.641**	
9+150	817.4	817.087	820.694	820.043	**0.313**	**0.813**	**2.643**	
9+175	817.4	817.018	820.696	820.045	**0.382**	**0.882**	**2.645**	
9+200	817.4	817.069	820.698	820.047	**0.331**	**0.831**	**2.647**	
9+225	817.4	817.12	820.7	820.049	**0.28**	**0.78**	**2.649**	
9+250	817.4	817.118	820.702	820.051	**0.282**	**0.782**	**2.651**	
9+275	817.4	817.152	820.704	820.053	**0.248**	**0.748**	**2.653**	
9+300	817.4	817.204	820.706	820.055	**0.196**	**0.696**	**2.655**	
9+325	817.4	817.238	820.709	820.058	**0.162**	**0.662**	**2.658**	
9+350	817.4	817.231	820.711	820.06	**0.169**	**0.669**	**2.66**	

ANNEXE F : Profil transversal du remblai à construire dans zone inondable selon IN3278



ANNEXE G : Classes de qualité des sols UIC 719R

Classification des sols (identification géotechnique)		Classe de qualité des sols
0.1	Sols organiques	QS0
0.2	Sols fins (comportant plus de 15 % de fines[a]) foisonnés, humides et donc non compactables	
0.3	Sols thixotropes[b] (quick-clay par exemple)	
0.4	Sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse)	
0.5	Sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels, par exemple)	
0.6	Sols mixtes "minéraux organiques"[b]	
1.1	Sols comportant plus de 40 % de fines[a] (sauf sols 0.2)	QS1
1.2	Roches très évolutives	
	Par exemple :	
	- Craies de ρ_d < 1,7 t/m^3 et de friabilité forte - Marnes - Schistes altérés	
1.3	Sols comportant de 15 à 40 % de fines[a] (sauf sols 0.2)	QS1[c]
1.4	Roches évolutives	
	Par exemple :	
	- Craies de ρ_d < 1,7 t/m^3 et de friabilité faible - Schistes altérés	
1.5	Roches tendres	
	Par exemple :	
	Si microdeval en présence d'eau (MDE) > 40 et Los Angeles (LA) > 40	
2.1	Sols comportant de 5 à 15 % de fines[a]	QS2[d]
2.2	Sols comportant moins de 5 % de fines[a] mais uniformes ($C_U \leq 6$)	
2.3	Roches moyennement dures	
	Par exemple :	
	Si 25 < MDE ≤ 40 et 30 < LA ≤ 40	

ANNEXE H : Les épaisseurs minimales de la couche d'assise selon UIC719R

$$e = E + a + b + c + d + f + g$$

(e en mètres)

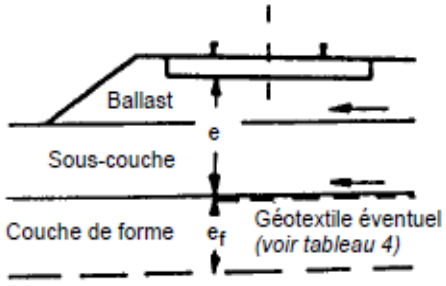


Fig. 9 - Calcul de l'épaisseur minimale "e" des couches d'assise

E	= 0,70 m	pour les plates-formes de classe de portance P1[a]
E	= 0,55 m	pour les plates-formes de classe de portance P2[a]
E	= 0,45 m	pour les plates-formes de classe de portance P3[a]
a	= 0	pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V > 160 km/h, quel que soit le groupe UIC)[b]
a	= - 0,05 m	pour les groupes UIC 3 et 4[b]
a	= - 0,10 m	pour les groupes UIC 5 et 6[b]
b	= 0	pour les traverses bois de longueur 2,60 m
b	$= \frac{2,50 - L}{2}$	pour les traverses béton de longueur L (b en m, L en m, b peut être négatif si L > 2,50 m)
c	= 0	pour un dimensionnement normal
c	= - 0,10 m	à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autres que "7, 8, 9 sans voyageur"[b]
d	= 0	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 kN
d	= + 0,05 m	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 kN
d	= + 0,12 m	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 kN
f	= 0	pour toutes les lignes parcourues à V ≤ 160 km/h et pour les plates-formes de portance P3 des lignes parcourues à grande vitesse[a]
f	= + 0,05 m	pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse[a]
f	= + 0,10 m	pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse[a]
g	= +	géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2[c]
g	= 0	(pas de géotextile) lorsque la couche de forme est en sol QS3[c]

a. Les classes de portance des plates-formes sont définies au tableau 4.
b. Les groupes UIC sont définis dans la fiche n° 714 (édition du 01.01.89) (v oir Bibliographie).
c. Les classes de qualité des sols sont définies au tableau 3.

ANNEXE I : Matériaux zone inondable selon ST 590B

ST590 Ind.B

Fiche n° 7 : Matériaux de zone inondable

Type de matériau : CiB3, D3, R21, R22, R41, R42, R61, R62, F31, F71

désignation		Grave 0/D	Observations
Caractéristiques intrinsèques			
résistance	LA + MDA	<= 80	
Caractéristiques de fabrication			
dimensions nominales	d	0	
	D	63 à 500	
granularité	P[Dmax]	>= 99%	
(fuseau de spécification)	P[D]	[1]	
	P[D/20]		
	P[0,08]	<= 5%	[2]
angularité			
forme			
propreté			
Caractéristiques complémentaires			
sensibilité au gel		non gélif	
dégradabilité		non mesurable	
granulats artificiels		[3]	

[1] si D <= 200 mm : P[D] = 99 à 85 % (Dmax = 1,25 D)
si D > 200 mm : P[D] >= 99 % (D = Dmax)
[2] mesuré sur la fraction 0/50
[3] voir recommandations d'emploi en annexes 1 et 2