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

Étude APD d'un dédoublement, modernisation et /ou rectification de la ligne minière Est section-Nord Annaba-Bouchegouf tronçon : du PK 40+000 au PK 54+000 avec conception de la gare de Bouchegouf

Présenté par :

AYACHE Oumnia

BENMANSOUR Rania

Encadré par :

Mr. ZENNOUCHE.Smail

Mr. FEDGHOUCHE.Ferhat

Promotion 2023 / 2024

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

Remerciement

Nous exprimons tout d'abord notre gratitude envers Allah qui nous a donné la force et nous a guidés sur la bonne voie pour atteindre ce moment précis.

Nous adressons ensuite nos remerciements à nos chers parents et à nos familles qui nous ont soutenu tout au long de ces années.

Nous tenons à exprimer notre profond remerciement envers notre encadrant, Monsieur ***S. Zennouche****, ingénieur en travaux publics à* ***Cosider Engineering,*** *pour nous avoir accordé sa confiance et accepté de diriger ce mémoire. Nous lui exprimons notre gratitude pour son soutien et ses recommandations. Nos remerciements chaleureux aux membres de* ***GCB*** *et à* ***Mme. Meridji*** *ingénieur à Setirail pour leurs accueils, les conseils précieux qu'ils nous ont donnés lors de nos tâches ont contribué à la réussite de notre stage.*

Nous remercions également tous nos enseignants, en particulier ***Mr. Morsli****, pour leur soutien, leurs remarques et leur encouragement, ainsi tous les membres du personnel de l'ENSTP pour leurs précieux et leurs efforts, en particulier Mme Bourebia, Mme Makoudi et Mme Boumehraz.*

Nous exprimons notre gratitude sincère envers tous les amis que nous avons rencontrés pendant les années que nous avons passées à l'ENSTP.

Dédicaces

Aujourd'hui, je suis ici grâce à Dieu, car grâce à lui mon rêve qui a duré est désormais une réalité dont je suis fière.

Mon ange et ma force après Dieu, à ma première supportrice ma mère, je te dédie cette réussite, car elle n'aurait pas existé sans sa contribution, à mon père, qui m'a donné sans rien attendre en retour et ma soutenu sans relâche, à la lune qui éclaire mon chemin ma sœur Lina, qui a toujours cru en mes compétences. Aucune dédicace ne peut rendre compte de la profondeur de mon amour et de ma gratitude envers vous.

À mes chères sœurs d'âme Katia, Besma, Amira et Cherifa pour leurs soutiens inébranlables et à qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite, ainsi à Oussama qui m'a est d'une aide précieuse tout le long de ce parcours.

Je tiens particulièrement à remercier Oumnia, mon binôme, pour sa patience indéfectible tout au long de ce projet, ainsi à Feriel et Madina mes chères amies et compagnes d'ingénierie.

Je souhaite exprimer ma gratitude envers tata Rachida, qui est toujours présente pour moi et qui nous a accompagnés lors de notre visite de chantier d'Annaba.

BENMANSOUR Rania

Dédicaces

Je rends grâce à Dieu, qui m'a donné de la force et le courage de mener à bien ce travail.

J'offre ce modeste travail :

À mes chers parents, ma mère pour son amour et ses encouragements, ainsi que mon père pour son soutien, son affectation et la confiance qu'il m'a accordée, aucune dédicace se saurait témoigner de mon amour profond, de ma gratitude immense et de mon plus grand respect. Je ne pourrais jamais oublier la tendresse de l'amour dévoué dont ils m'ont toujours entouré depuis mon enfance.

À mes sœurs et à toute ma famille, source d'espoir et motivation.

À mon binôme et chère amie Rania pour sa compréhension, sa patience et son soutien moral, ainsi à Oussama pour son aide inestimable qu'il nous apporte tout le long de ce parcours.

À tous mes amis, à tous ceux que j'apprécie et à toutes les personnes qui m'encouragent et se sont donnes la peine de me soutenir tout au long de cette année, sans oublier Tata Rachida qui nous a accompagnés lors de la visite de chantier d'Annaba.

AYACHE Oumnia

Résumé

Résumé

Le présent projet se concentre principalement sur l'élaboration de l'étude d'avant-projet détaillé (APD) d'une modernisation, un dédoublement de la voie et d'une rectification de tracé afin d'augmenter la vitesse à 120 km/h sur le tronçon du Pk 40+000 au Pk 54+000 de la ligne minière Annaba-Bouchegouf. Il inclut également de la conception de la gare de Bouchegouf.

La détermination des caractéristiques techniques les plus appropriées à la ligne ferroviaire projetée sera basé sur les recommandations et les pratiques en vigueur à la SNTF et aux d'autres systèmes ferroviaires conformes aux normes UIC (Union Internationale des Chemins de fer). La modélisation géométrique du projet a été effectuée en utilisant le logiciel CIVIL 3D 2023.

Mots clés : voie ferrée, ligne minière, traverse, rail, appareil de voie, heurtoir, garage franc.

ملخص

تهدف هذه المذكرة الى دراسة تفصيلية أولية لما قبل المشروع (APD)لتحديث ومضاعفة وتصحيح مسار السكة الحديدية من اجل زيادة السرعة الى 120 كم /ساعة من خط التعدين عنابة- بوشقوف من PK 40+000الى PK 54+000ويشمل أيضا تصميم محطة بوشقوف.

سيعتمد تحديد الخصائص التقنية الأنسب لخط السكة الحديدية المقترحة على التوصيات والممارسات التي تتبعها SNTF وأنظمة السكك الحديدية الأخرى التي تتوافق مع معايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC). تم تنفيذ النمذجة الهندسية للمشروع باستخدام برنامج CIVIL 3D 2023.

المصطلحات الرئيسية: خط سكة حديد، خط سكة حديد معدني، عارضة، سكة، جهاز السكة، حاجز، موقف قطار.

Summary

The present project focuses mainly on the elaboration of the detailed pre-project study (APD) of a modernization, a double-track, and a track correction in order to increase the speed to 120 km/h on the section of the Pk 40+000 to Pk 54+000 of the Annaba-Bouchegouf mining line. It also includes the design of the Bouchegouf station.

The determination of the most appropriate technical characteristics of the project railway line will be based on the recommendations and practices in force for the SNTF and other rail systems compliant with UIC standards (Union Internationale des Chemins de fer). The geometric modeling of the project was carried out using the software CIVIL 3D 2023.

Key terms: railway, mine line, rail, railway equipment, buffer stop, free garage.

Sommaire

Sommaire

Introduction générale *1*

Chapitre I : Généralité

I. Introduction 3
II. Réseau du chemin de fer en Algérie 3
III. Histoire du chemin de fer an Algérie 3
III.1. Premières lignes (1857-1892) 3
III.2. Développement (1892- 1962) 3
III.3. Après l'indépendance (1962- aujourd'hui) 4
IV. Histoire de la ligne minière de l'EST de l'Algérie 4
V. Conclusion 4

Chapitre II : Recherche Bibliographique

I. Introduction 5
II. Le BIM 5
II.1. Collaboration entre les acteurs du projet 5
III. La planification 5
IV. Collaboration entre BIM et la planification 4D 5
IV.1. Les avantages de la planification 4D 6
V. Les différents logiciels 6
V.1. SYNCHRO 4D 6
V.2. NAVISWORKS 7
V.3. Fuzor 8
VI. Conclusion 8

Chapitre III : Présentation du projet

I. Introduction 9
II. Aperçu sur la voie existante 9
II.1. Les caractéristiques de la voie existante 9
II.2. Les éléments du tracé de la voie existante 10
II.2.1. Caractéristiques géométriques 10
II.2.2. Passage à niveau 11
II.2.3. Les ouvrages hydrauliques 11
II.2.4. La gare 11
III. Présentation de la wilaya de Guelma 12
III.1. Situation géographique 12
III.2. Population 12

Sommaire

III.3. Climat 13
III.3.1. Température 13
III.3.2. Précipitation 13
III.3.3. Vent 13
III.3.4. Humidité relative 13
IV. Présentation du projet 13
IV.1. Introduction 13
IV.2. Localisation du projet 13
V. Les caractéristiques du projet 14
V.1. Les caractéristiques de base 14
V.2. Les caractéristiques de la voie 15
V.3. Les caractéristiques de la superstructure 15
VI. L'objectif du projet 15
VII. Conclusion 16

Chapitre IV : La superstructure ferroviaire

I. Introduction 17
II. Les éléments de la superstructure 17
II.1. Le rail 17
II.1.1. Les différentes composantes du rail 17
II.1.2. L'inclinaison des rails 19
II.1.3. Défauts de rails 19
II.2. Les traverses 19
II.2.1. Le rôle des traverses 19
II.2.2. Les types de traverses 19
II.3. Les attaches 21
II.4. Les caténaires 22
II.5. Les appareils de voie 22
II.6. Long rail soudé 23
II.7. Soudage des rails: 23
II.7.1. Types de soudure 24
II.8. Pose de voie 25
II.9. Le processus de pose de voie 25
II.10. Libération des contraintes 26
III. Conclusion 26

Chapitre V : La Géométrie de la voie

I. Introduction 27
II. Tracé en plan 27

Sommaire

II.1. Terminologie 27
II.1.1. Les alignements droits 27
II.1.2. La courbe circulaire 27
II.1.3. Les courbes de raccordements 27
II.1.4. Dévers 28
II.1.5. La longueur minimale d'alignement 31
II.1.6. Clothoïde. 31
II.2. Application sur le projet 32
II.3. Les contraintes le long du tracé 34
II.4. Les zones de dédoublements et de rectifications de notre tracé 35
III. Profil en long 35
III.1. Introduction 35
III.2. Les éléments du profil en long 36
III.2.1. Les alignements droits 36
III.2.2. Les cercles 36
III.3. Application sur notre projet 37
IV. Profil en travers 38
IV.1. Introduction 38
IV.2. Section type de la plateforme 38
V. Conclusion 38

Chapitre VI : Étude Hydrologique et Hydraulique

I. Introduction 39
II. Réseau hydrographie 39
III. Étude hydrologique 40
III.1. Les caractéristiques climatiques et pluviométriques 40
III.1.1. Le climat 40
III.1.2. La température 40
III.1.3. Les précipitations 41
III.2. Les caractéristiques morphologiques des bassins versants 42
III.2.1. Calcul de débit maximal dans les bassins versants (débit de crue) 44
IV. Étude hydraulique 48
IV.1. Dimensionnement des ouvrages transversaux 48
IV.1.1. Buse 49
IV.1.2. Dalot 50
IV.2. Dimensionnement des ouvrages longitudinaux 54
IV.2.1. Fossés 54
V. Conclusion 56

Sommaire

Chapitre VII : Étude Géologique et Géotechnique

I. Introduction 57
II. Étude géologique 57
II.1. Le relief 57
II.2. La sismicité 57
II.3. Les unités géologiques de notre tracé 59
III. Étude géotechnique 59
III.1. Programme d'investigation géotechnique 59
III.1.1. Essais in situ 60
III.1.2. Essais de laboratoire 61
III.2. Les résultats des essais réalisés 61
III.3. Les unités géotechniques 62
III.4. Interprétation des résultats 66
III.5. Conception des ouvrages en terre 67
III.5.1. La vérification de la stabilité au poinçonnement 67
III.5.2. La vérification de la stabilité la rupture par glissement 68
III.5.3. Tassement 70
III.6. Agressivité du sol 70
IV. Assise ferroviaires 71
IV.1. Introduction 71
IV.2. Les couches d'assise 71
IV.2.1. Ballast 71
IV.2.2. Sous couche 71
IV.2.3. Le géotextile 72
IV.3. La plateforme 72
IV.3.1. Définition 72
IV.3.2. Classe de portance de la plateforme 72
IV.3.3. Classification des sols pour la plateforme 72
IV.3.4. La plateforme proposée 73
IV.4. Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise 73
V. Conclusion 74

Chapitre VIII : Terrassement et Ouvrages

I. Terrassement 75
I.1. Introduction 75
I.2. Les terrassements 75
I.3. Les ouvrages en terre 75
I.3.1. La conception des remblais 75

Sommaire

I.3.2. La conception des déblais 77
II. Les ouvrages 79
II.1. Les ouvrages d'art de notre projet 79
II.1.1. Rétablissement routier 79
II.1.2. Pistes à aménager ou à supprimer 80
II.1.3. Tunnel 80
II.1.4. Ouvrages hydrauliques 80
II.1.5. Protection des conduites électriques 80
II.1.6. Protection des conduites d'AEP 81
II.1.7. Protection des conduites de gaz 81
III. Le profil en travers du notre projet 81
IV. Conclusion 82

Chapitre IX : Conception de la gare de Bouchegouf

I. Introduction 83
II. Les types de gare 83
III. Étude de plan de masse d'une gare 83
IV. Aménagement de la gare 84
IV.1. Les installations d'une gare à voyageurs 84
IV.2. Marge de glissement à l'aval des signaux 84
IV.2.1. La longueur de la marge de glissement LG 84
IV.3. Garage franc GF 85
IV.4. La longueur utile de la voie de stationnement Lu 85
IV.5. Heurtoir 86
V. Les haltes 86
VI. Les caractéristiques géométriques de la gare 86
VI.1. La déclivité dans les gares: 86
VI.2. Quai: 87
VI.3. Les appareils de voie 88
VI.3.1. Conditions générales 88
VI.3.2. Les règles d'implantation 89
VII. Gare de Bouchegouf 89
VII.1. Description de la gare 89
VII.2. Les caractéristiques de la gare de Bouchegouf 90
VIII. Assainissement de la gare 91
VIII.1. Assainissement transversal 91
VIII.2. Assainissement longitudinale 91
VIII.3. Drainage des eaux de la plateforme 91

Sommaire

IX. Conclusion 92

Chapitre X : Signalisation ferroviaire

I. Introduction 93
II. Le rôle de la signalisation ferroviaire 93
III. Les risques ferroviaires et ces solutions 93
IV. Système de cantonnement 94
V. Blocs ferroviaires 94
VI. Les principaux signaux ferroviaires 94
VII. Le système ERTMS 96
VIII. Implantation longitudinale 97
IX. Application pour notre projet 97
X. Conclusion 97

Chapitre XI : Impact sur l'environnement

I. Introduction 98
II. Description de la zone d'étude (état initial) 98
II.1. Contexte physique de la région 98
II.2. Contexte socio-économie de la région 98
II.2.1. Agriculture 98
II.2.2. Industrie 98
II.2.3. Commerce 98
III. Les facteurs environnementaux prise en considération 99
III.1. Les ressours d'eau 99
III.2. L'agriculture 99
IV. Les impacts: 99
IV.1. Impacts positifs 99
IV.2. Impacts négatifs 99

Chapitre XII : Devis Quantitatif et Estimatif

I. Devis quantitatif et estimatif 100

Chapitre XIII : Planification

I. Introduction 102
II. Objectif de la planification 102
III. Le diagramme de Gantt 102
IV. Application sur notre projet 102
Conclusion Générale 103

Liste des figures

Figure .1 : Localisation de la ligne minière 2
Figure II.1 : Coordination entre BIM et logiciel Synchro 4D 7
Figure II.2 : Coordination entre BIM et logiciel Navisworks 7
Figure II.3 : Coordination entre BIM et logiciel Fuzor 8
Figure III.1 : Rail UIC 54 10
Figure III.2 : Situation géographique de la Wilaya de Guelma 12
Figure III.3 : Localisation du projet 14
Figure IV.1 : Les composants du rail 18
Figure IV.2 : Rail UIC 60 18
Figure IV.3 : Traverse monobloc 19
Figure IV.4 : Traverse bibloc 20
Figure IV.5 : Les dimension de la traverse (vue de face) 20
Figure IV.6 : Les dimensions de la traverse (vue de Haut) 20
Figure IV.7 : Le système d'attache 21
Figure IV.8 : Éléments d'attache élastique 21
Figure IV.9 : Système de fixation 21
Figure IV.10 : Caténaire 22
Figure IV.11 : Construction d'un branchement 22
Figure IV.12 : Traversé à jonction simple 22
Figure IV.13 : Traversé à jonction doubles 23
Figure IV.14 : Schéma d'appareil d'appui 23
Figure IV.15 : Soudage aluminothermique 24
Figure IV.16 : Soudeuse électrique 24
Figure IV.17 : Pose de voie 25
Figure IV.18 : Frappeur 26
Figure V.1: Courbe de raccordement 27
Figure VI.1: Oued Seybouse 39
FigureVI.2 : Étages bioclimatiques de la zone d'étude 40
Figure VI.3 : Délimitation des bassins versants 43
Figure VI.4 : Schéma du dalot 50
Figure VII.1: Carte des structures géologiques 57
Figure VII.2 : Carte de zonage sismique 58
Figure VII.3 : Les carottes 60
Figure VII.4 : Pénétromètre dynamique lourd 60
Figure VII.5 : Stabilisation d'un remblai (statique) 69
figure VII.6 : Stabilisation d'un remblai (sismique) 69
Figure VII.7: Stabilisation d'un remblai (statique) 69
Figure VII.8 :Stabilisation d'un Remblai (sismique) 69
Figure VII.9: Stabilisation d'un deblai (statique) 69
Figure VII.10:Stabilisation d'un déblai (sismique) 69
Figure VII.11: Épaisseurs des couches d'assises 73
Figure IX.1 : Garage franc 85
Figure IX.2 : Longueur utile 85
Figure IX. 3 : Heurtoir 86
Figure IX. 4 : Hauteur du quai 87
Figure XI.5 : Les côtes des quais (H, L) 87

Figures

Figure XI.6 : Les côtes des quais (h_i, l_i) 88
Figure IX.5 : Schéma de la gare de Bouchegouf 90
Figure IX.6 : Ouvrage de drainage de la plateforme 91
Figure X.1 : Espacement des trains 94
Figure X.2 : Les trois niveaux du système de contrôle des trains ERTMS 96

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Les caractéristiques de la voie existante 9
Tableau III.2 : Les caractéristiques di rail UIC 54 10
Tableau III.3 : Les différents rayons de la voie existante 10
Tableau III.4 : Les ouvrages hydrauliques existants 11
Tableau III.5 : Les caractéristiques du rail 14
Tableau III.6 : Les caractéristiques de la voie 15
Tableau III.7 : Les caractéristiques de la superstructure 15
Tableau V.1 : Valeurs admissibles de dévers 28
Tableau V.2: Valeurs limites d'insuffisance 29
Tableau V.3 : Valeurs limites d'excès 29
Tableau V.4 : Valeurs limites de variation de dévers (selon 1^{e} condition) 30
Tableau V.5 : Valeurs limites de variation de dévers (selon 2^{e} condition) 30
Tableau V.6 : Valeurs limites de la variation de l'insuffisance 31
Tableau V.7 : Formules de calcul de la longueur de la rampe de dévers 31
Tableau V.8 : Formules des calculs de la longueur d'alignement 31
Tableau V.9 : Valeurs limites des éléments caractéristiques du tracé 32
Tableau V.10 : Récapitulatif des paramètres du tracé 33
Tableau V.11 : Les contraintes du tracé 34
Tableau V.12 : Les zones de déboulements et de rectifications 35
Tableau V.13 : Les déclivités maximales 36
Tableau V.14 : Longueurs minimales des déclivités 36
Tableau V.15 : Les valeurs des rayons minimales 37
Tableau V.16 : Les paramètres géométriques du profil en long (SNTF) 37
Tableau V.17 : Le PK de zone sans raccordement 38
Tableau V.18 : Les épaisseurs minimales du ballast 38
Tableau VI.1 : Moyenne annuelles et mensuelles des températures a la station de Tébessa (source ONM) 40
Tableau VI.2 : Valeurs des pluies annuelles selon les fréquences choisies 41
Tableau VI.3 : Valeurs des pluies journalières 41
Tableau VI.4 : Les précipitations maximales journalières 41
Tableau VI.5 : Valeur du paramètre « a » selon les fréquences 42
Tableau VI.6 : Les caractéristiques morphologiques des bassins versants 43
Tableau VI.7 : Les Valeurs de C_1, C_2 et C_3 45
Tableau VI.8 : Les formules de calculs du temps de concentration 45
Tableau VI.9 : Les paramètres des formules de calculs du temps de concentration 45
Tableau VI.10 : les débits de crue retenus des talwegs pour une période de 100 ans 47
Tableau VI.11 : La vérification des conditions d'auto-curage 48
Tableau VI.12 : Les conditions d'auto-curage (BV N°11) 49
Tableau VI.13 : Calculs récapitulatifs des ouvrages busés de notre projet 50
Tableau VI.14 : Vérifications des conditions d'auto-curage des ouvrages busée de notre projet 50
Tableau VI.15 : Vérification des conditions d'auto-curage (BV N°15) 52
Tableau VI.16 : Calculs récapitulatifs des ouvrages dalots de notre projet 52
Tableau VI.17 : Vérifications des conditions d'auto-curage des ouvrages dalots de notre projet 52
Tableau VI.18 : La liste des ouvrages projetés 53
Tableau VI.19 : Les caractéristiques du remblai et déblai 55

Tableaux

Tableau VI.20 : Calcul du débit évacuer dans le cas de remblai et déblai 55
Tableau VI.21 : Les dimensions du fossé 56
Tableau VII.1 : Coefficient d'accélération A 58
TableauVII.2 : La géologie du tracé 59
Tableau VII.3 : La lithologie des puits de reconnaissances 61
Tableau VII.4 : Résume des résultats des essais de laboratoire réaliser sur les échantillons des puits de reconnaissances 63
Tableau VII.5 : Résume des résultats des essais de laboratoire réaliser sur les échantillons des sondages carottés 64
Tableau VII.6 : Analyse chimique du sondage carotté 65
Tableau VII.7 : Interprétation des résultats 66
Tableau VII.8 : Vérification de la stabilité au poinçonnement 68
Tableau VII.9 : les caractéristiques du sol en place 68
Tableau VII.10 : Les caracteristiques du sol en place 69
Tableau VII.11 : récapitulatif des pentes utilisées en remblai et en déblai 70
Tableau VII.12 : Zonage de qualité de la plateforme 73
Tableau VIII.1 : Valeurs NPHE oued Seybouse 76
TableauVIII.2 : Synthèse des zones de remblais 77
Tableau VIII.3 : Interprétations des zones de déblais 78
Tableau VIII.4 : La liste des ouvrages d'art 79
Tableau VIII.5 : Pistes de notre projet 80
Tableau VIII.6 : Liste des lignes électriques à franchir 81
Tableau VIII.7 : Les caractéristiques du profil en travers de notre tracé 81
Tableau VIII.8 : Les cubatures des terrassements 82
Tableau VIII.9 : Les cubatures des couches d'assise 82
Tableau IX.1: La longueur de la marge de glissement LG 84
Tableau IX.2 Les haltes projetées sur notre projet 86
Tableau IX.3 : Les caractéristiques du quai 87
Tableau XI.4: Calcul des côtes des quais 88
TableauIX.5 : Longueur de l'appareil de voie 88
Tableau IX.6 : Branchements 89
Tableau IX.7 : Caractéristiques de la gare de Bouchegouf 90
Tableau X.1 : Les risques ferroviaires et ces solutions 93
Tableau X.2 : Les différentes signalisations lumineuses et leurs indications 95

Liste des abréviations

ADV : Appareil de voie

AEP : Adduction en eau potable

APD : Avant-projet détaillée

Bv : Bassin versant

B.V : Bâtiment voyageur

C : Cohésion

CaCo3 : Calcium Carbonate

CGS : Centre de génie parasismique

CRS : Ciment résistant aux sulfates

Cu : Coefficient d'uniformité

FPR : Fin raccordement progressive

GTR : Guide des terrassements routier

GF : garage franc

HT : Haute tension

IDF : intensité -durée – fréquence

Ip : Indice de plasticité

IP : indice de perméabilité

LA : Los Angeles

LRS : Long rail soudé

Lu : longueur utile

MDE : Micro Deval

MO : Matière organique

NPHE : Niveau des plus hautes eaux

OH : Ouvrage hydraulique

ONM : Office nation météorologie

OPN : Optimum Proctor normal

ORP : Origine raccordement progressive

Ph : Potentiel d'Hydrogène

PK : Point kilométrique

PU : Puit de reconnaissance

PVC : Poly-Vinyl Chloride

Qps : Débit plein section

RN 16 : Route nationale numéro 16

RPA : Règles parasismique algériens

SC : Sondage carotté

SNTF : Société nationale du transport ferroviaire

SPT : Essai de pénétration standard

TN : terrain naturel

TVO : Tout venant oued

UIC : Union international des chemins de fer

VAX : Voie d'accès à la X

VBS : Bleu de méthylène

Vps : vitesse pleine section

W126 : Chemin de wilaya numéro 126

ERTMS : Européen railways Traffic Management System

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

Introduction générale

Introduction générale :

Le transport joue un rôle important dans de nombreuses activités de la vie quotidienne car il facilite l'échange d'informations et de biens, ainsi qu'une meilleure économie.

Le transport ferroviaire est un moyen fiable et rapide de se déplacer. Il est extrêmement capable de déplacer beaucoup de personnes et de marchandises, comme il est considéré comme l'un des plus moyens importants en termes de coût, de temps et de fiabilité.

L'Algérie met tout en œuvre pour développer le transport ferroviaire dans le cadre du processus de développement global et s'engage à doubler, moderniser et électrifier le réseau ferroviaire en l'équipant des systèmes de signalisation et de communication les plus avancées. En utilisant les moyens de transport ferroviaire, qui sont un outil de progrès, afin de maximiser l'exploitation de ses ressources naturelles.

Des gares modernes pour les voyageurs et les marchandises sont également construites un peu partout dans tout le pays.

L'un des objectifs principaux est de développer le périphérique nord de 1822 kilomètres (Km) pour augmenter la vitesse ferroviaire tout en garantissant qu'il est équipé des systèmes de signalisation et de communication les plus récents conformément aux normes internationales.

En Extrême-Orient algérien, des travaux de construction et de reconstruction ont commencé pour transformer un nombre limité de lignes minières en projets de modernisation et de transformation, avec de grands ateliers sur cette ligne reliant les villes d'Annaba, Souk Ahras, Tébessa et Djebel -Onk, la longueur totale de la ligne est de 350 kilomètres (Km), car elle facilite le transport du minerai de fer. Les minerais de phosphate provenant des mines d'Ounza.et Boukhara, ainsi que des minerais du Djebel Onk, sont disponibles dans la localité de Bir EL Ater.

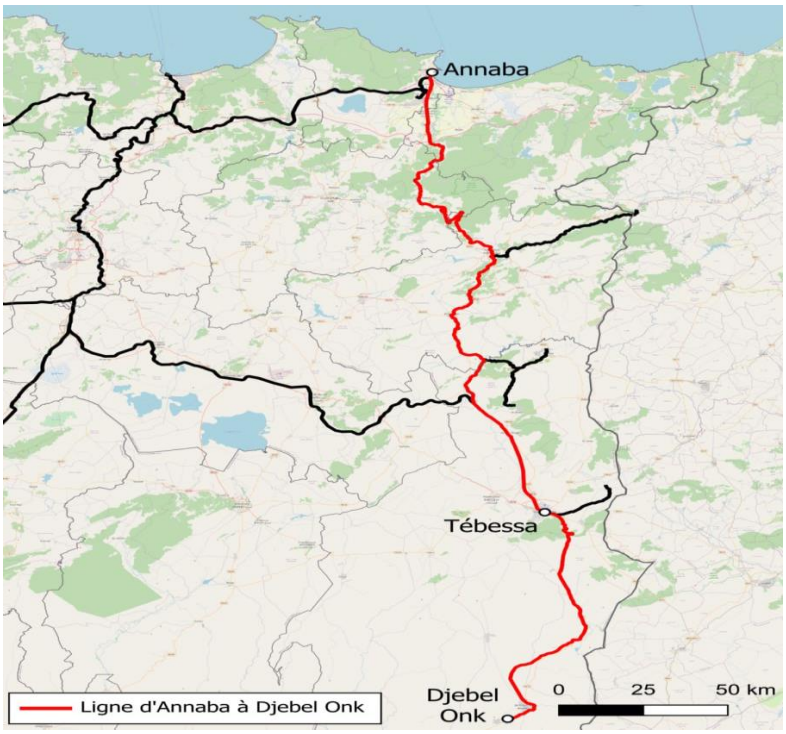


Figure .1 : Localisation de la ligne minière[1]

Notre projet a porté sur une étude en phase d'avant-projet détaillée (APD) d'un tronçon de 14 kilomètres (Km), débutant de Boukemouza la commune d'oued Fragha avant l'arrivée de la ville de BOUCHEGOUF au point kilométrique PK 40+000 et se terminant au point kilométrique PK 54+000. L'étude de la gare de BOUCHEGOUF est également prévue.

Ce travail se développera en suivant les axes ci-dessous :

- **Généralité sur la voie ferrée**
- **Une recherche bibliographique :** la collaboration entre BIM et la planification 4D
- Une présentation du projet
- **Description de la superstructure**
- **Une géométrie de la voie :** qui comporte des aspects fondamentaux plus une recherche bibliographique sur notre projet.
- **Étude hydraulique, géologique et géotechnique.**
- **Traitement des contraintes existantes.**
- **Une conception et un aménagement de la gare de Bouchegouf.**
- **Traitement des systèmes de signalisation**
- **Voir les impacts environnementaux de notre projet.**
- **Faire un devis quantitatif et estimatif du projet.**

[1]https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjch_aR6tSGAxV6_rsIHS9-BvEQh-wKegQIJRAC&url=https%3A%2F%2Ffr.wikipedia.org%2Fwiki%2FLigne_de_Annaba_%25C3%25A0_Djebel_Onk&usg=AOvVaw1T0CQ9xVq9bPa4vAmOCaPe&opi=89978449

CHAPITRE I :
Généralité

I. Introduction :

L'Algérie accorde une grande importance au développement du transport ferroviaire, ce qui entraîne des investissements considérables pour moderniser, dédoubler et réaliser des nouvelles infrastructures ferroviaires à travers tout le pays, dans le cadre de son processus de développement global.

Parmi les objectifs stratégiques, l'État met en place un plan national visant à connecter toutes les régions de l'Algérie au réseau ferroviaire, afin d'atteindre un réseau qui stimulera l'économie du pays.

II. Réseau du chemin de fer en Algérie :

Le chemin de fer en Algérie possède une histoire ancienne qui remontre au milieu du XIXe siècle (19 $^{-ème}$ siècle). Il débute en 1857 lors de la colonisation française de l'Algérie avec la création de 5 014 Km de chemin de fer transportant des voyageurs et des marchandises. Depuis l'obtention de l'indépendance du pays, ce réseau a subi de nombreuses transformations. Le réseau ferroviaire est l'objectif des autorités publiques pour relier toutes les villes d'Algérie.

III. Histoire du chemin de fer an Algérie :

III.1. Premières lignes (1857-1892) :

- En 1857, un arrêté impérial de Napoléon III permet la construction d'un réseau ferroviaire algérien de 1357 Km, organise autour d'une ligne reliant les trois chefs-lieux de départements (Alger, Constantine, Oran) et les lignes secondaires vers les points importants.

- La première ligne, construit en 1858, a relié sur une distance de 11 Km la mine de fer des Karezas au port de la Seybouse à proximité d'Annaba.

- Le réseau se développe progressivement entre 1857 et 1892, avec la concession des premières lignes à la compagnie des chemins de fer algériens (CFA) fondée en 1860.

III.2. Développement (1892- 1962) :

Entre 1892 et 1914, le réseau se développe encore, avec la mise en place de lignes d'intérêt local et la construction de lignes minières. Le réseau atteint 4 000 Km en 1920 après la Première Guerre mondiale. Des lignes supplémentaires sont mises en place, telles que Alger-Oran en 1934. L'exploitation est regroupée en 1959 par la création de la Société Nationale des Chemins de Fer en Algérie (SNCFA).

III.3. Après l'indépendance (1962- aujourd'hui) :

La SNCF est transformée en Société Nationale des Chemins de Fer Algériens (SNTF) après 1962. Le réseau est en mauvais état et nécessite une révolution. Les infrastructures ferroviaires Nationals ont été modernisées et étendues afin de relier les régions du pays, du Nord au Sud et de l'Est à l'Ouest, avec des lignes mixtes de voyageurs et marchandises et des gares modernes. En 2022, la longueur du réseau ferroviaire algérien et d'environ 6 300 Km, et des projets sont en cours pour l'élargir et le moderniser davantage le portant à 6 500 Km.

IV. Histoire de la ligne minière de l'EST de l'Algérie :

La ligne minière de l'Algérie qui relie Annaba à Djebel Onk est une ligne ferroviaire stratégique long de 340 Km qui traverse sept wilayas. En 1874, la ligne a été donnée à la Société de construction Batignolles pour relier Annaba à Guelma sur une distance de 88 Km. Le premier tronçon entre Annaba et Duvivier (Bouchegouf) a été ouvert en 1876 puis jusqu'à Guelma en 1877. En 1877, la section de 52 Km entre Bouchegouf et Souk-Ahras est donnée à la compagnie de Bône à Guelma qui la prolongera jusqu'en Tunisie. Le deuxième plan de développement ferroviaire de 1879 prévoir la construction de la ligne de Souk-Ahras à Tébessa.

V. Conclusion :

L'Algérie est un pays vaste et étendu, nécessite incontestablement un réseau ferroviaire dense. Malheureusement, ce n'est pas le cas actuellement ce qui rend impérative l'amélioration de ce secteur. En effet, cela favoriserait les investissements et stimulerait les échanges entre les différentes régions du pays.

CHAPITRE II : Recherche Bibliographique

I. Introduction :

L'exploitation synchronisée de plusieurs ressources rares et hétérogènes est essentielle pour produire les circulations ferroviaires, notamment l'infrastructure, les engins ferroviaires ainsi que les agents de conduite. L'exploitation de ces moyens ferroviaires entraine des dépenses considérables, il est primordial de garantir une gestion efficace et optimisée de ces ressources matérielles et humaines dans un contexte de concurrence ouverte. Une planification optimisée de chaque ressource est essentielle pour optimiser le plan de transport.

II. Le BIM :

Le BIM (Building information Modeling) est une technologie qui révolutionne la façon dont les constructions sont réalisées. Il nous permet de créer un modèle numérique complet comprenant toutes les informations nécessaires pour élaborer, construire et entretenir de manière efficace. Grâce au BIM, la collaboration entre les différents acteurs du projet est améliorée, ainsi que l'évaluation des risques avant le début des travaux du projet.

II.1. Collaboration entre les acteurs du projet :

Il est crucial que les différents acteurs d'un projet BIM collaborent afin de garantir le succès du projet, la mise en place de cette approche favorise la coopération entre ces divers secteurs :

- ✓ Le maître d'ouvrage et son équipe de travail (architecte, bureaux d'études) sont responsables du projet.
- ✓ Les professions au sein de l'équipe de maitrise d'œuvre (architectes, ingénieurs, économistes, hydraulicien.)
- ✓ Les sociétés de construction (constructeurs, prestataires de services)
- ✓ Les prestataires et les producteurs.

III. La planification :

La planification est un modèle qui permet de visualiser la conception du système ferroviaire. Cela permet aux acteurs impliqués dans le projet repérer les conflits ou les collisions dès le début de la conception, d'améliorer la qualité de la conception et de réduire les conflits tout en respectant les contraintes techniques et fonctionnelles liées à l'utilisation de ces ressources, en utilisant des logiciels tels que Ms-Project et Primavera.

IV. Collaboration entre BIM et la planification 4D :

Grâce au BIM 3D, il est possible de connecter le modèle 3D aux activités du planning, ce qui permet une visualisation et une compréhension plus approfondies du déroulement du projet dans le temps.

Le modèle en quatre dimensions offre un moyen visuel de communiquer et de discuter du calendrier avec toutes les parties impliquées. La planification en 4D permet d'améliorer la coordination entre les divers domaines d'activité impliqués dans le projet.

IV.1. Les avantages de la planification 4D :

Grâce aux modelés 4D et à la puissance des logiciels, la conception des postes électriques est simplifiée et une approche intégrée est possible, cette dernière présente divers bénéfices dans le domaine de la planification ferroviaire :

- ✓ **Amélioration de la qualité :** il est aisé et rapide de changer le type ou l'emplacement d'un équipement tout en évitant d'autres risques d'erreur, en plus d'améliorer la conception en fonction des exigences du projet.
- ✓ **Réduction des erreurs :** ils offrent la possibilité de calculer et de vérifier automatiquement les dégagements nécessaires aux équipements et les quantités de matériaux, ce qui permet de diminuer les risques d'erreurs.
- ✓ **Gagne de temps :** on peut rapidement élaborer les plans précis, établir la nomenclature des matériaux et recueillir les données sur les équipements. Les entrepreneurs et d'autres acteurs ont été exposés aux modèles 4D, ce qui permet d'accélérer la délivrance des permis et de gagner beaucoup de temps lors de la construction, ce qui entraine des améliorations notables en termes d'efficacité.
- ✓ **Réduire le coût :** la diminution du délai de réalisation a un impact direct sur les dépenses d'un projet.

V. Les différents logiciels :

Après avoir obtenu le modèle 3D sur BIM du projet, il est possible de travailler en collaboration avec la planification 4D en utilisant les logiciels tels que : SYNCHRO 4D, Navisworks, Fuzor.

V.1. SYNCHRO 4D :

SYNCHRO 4D nous offre la possibilité de concevoir, organiser et surveiller des projets en utilisant un modèle de construction. On importe le modèle BIM dans Synchro 4D. Ce logiciel combine les informations du modèle 3D avec un calendrier de projet afin de générer une représentation en quatre dimensions du projet. Les barres d'activités d'un diagramme de Gantt peuvent être directement liées aux éléments correspondants du modèle 3D.

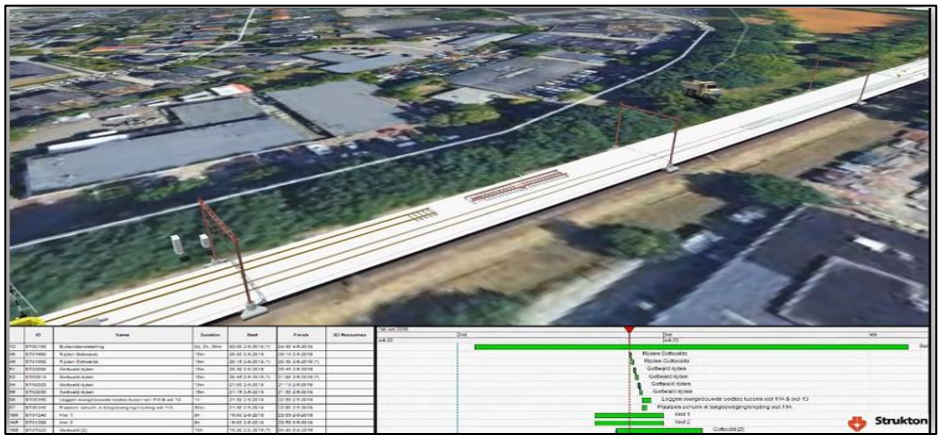


Figure II.1 : Coordination entre BIM et logiciel Synchro 4D[2]

V.2. NAVISWORKS :

Navisworks sert à la coordination et à la gestion des projets ferroviaires, notamment pour le chemin de fer et les caténaires. Afin d'avoir créé notre modèle il faut exporter les modèles BIM, on utilise des formats compatibles avec Navisworks tels que NWC (Navisworks cache) ou NWD (document), utiliser Navisworks pour importer ces derniers, ensuite on prépare les paramètres de détection de conflits en fonction de nos exigences. Crée une simulation 4D en utilisant les données de la planification, ainsi on procède à des réunions de revue de projet en utilisant les illustrations de Navisworks afin d'assurer une communication claire et précise des idées et des difficultés.



Figure II.2 : Coordination entre BIM et logiciel Navisworks[3]

[2] https://youtube.com/watch?v=ahzxYP_ON9k&si=-4p14QBXFJgpkXet
[3] https://youtube.com/watch?v=Bqw_y-rTZVQ&si=MpSpyasebfbcgM7Q

V.3. Fuzor :

Après avoir créé le modèle BIM et nous avons assuré que les données et les attributs sont complets et cohérentistes doit installer les fichiers dans Fuzor et intégrer le calendrier pour effectuer des simulations en 4D. Après tout ça il faut examiner et améliorer le calendrier de construction et observer les changements des modèles BIM puis garantisse la cohérence.



Figure II.3 : Coordination entre BIM et logiciel Fuzor[4]

VI. Conclusion :

Grâce à la collaboration entre BIM et la planification 4D, nous pouvons obtenir une planification plus précise BIM ajoute une dimension temporelle au modèle 3D, ce qui permet de visualiser le projet de construction à tout moment. De plus, les logiciels 4D offrent une chronologie interactive pour faciliter la planification et la coordination des activités. Grâce à cette combinaison, les risques sont réduits et la fiabilité des plans est améliorée.

[4] https://youtube.com/watch?v=ImDGLRxvC7o&si=fTRCo6fxpWgLJBSS

CHAPITRE III :
Présentation du projet

I. Introduction :

Le chemin de fer est une voie ferroviaire équipée d'infrastructure spécialisée qui permet la circulation des trains. Il est un élément essentiel du transport contemporain.

Les éléments clés d'un chemin de fer sont :

- ♣ Voie ferrée : comportent deux rails en parallèle qui reposent sur des traverses et un ballast.
- ♣ Matériel roulant : comprend des locomotives pour la traction et des wagons pour le transport de voyageurs et marchandises.
- ♣ Installations connexes : comprennent les gares, la signalisation et les passages à niveau.

Le réseau ferroviaire est un ensemble complexe de voies ferrées, des gares et d'infrastructures. Comme il offre un transport rapide et fiable, il est crucial pour relancer l'économie.

En Algérie, le réseau ferroviaire fait son apparition au milieu du XIXe siècle. Aujourd'hui il est en pleine évolution grâce à des projets d'extension, électrification et modernisation afin de développer l'économie. En 2022, l'Algérie a un réseau ferroviaire d'une longueur totale de 6 300 kilomètres dont 324 km électrifié.

Dans le cadre de projets de modernisation et dédoublement de la voie sur les lignes à voie unique, avec une rectification du tracé de la ligne ferroviaire Annaba-Bouchegouf, l'objectif principal est d'accroitre la capacité du transport sur la ligne avec une augmentation de vitesse.

II. Aperçu sur la voie existante :

II.1. Les caractéristiques de la voie existante :

La ligne minière Annaba-Bouchegouf est utilisée en voie unique, à une vitesse de 80 Km/h, ses caractéristiques techniques sont les suivants :

Tableau III.1 : Les caractéristiques de la voie existante

Éléments	***Caractéristiques***	
Vitesses	*Vitesse maximal (marchandise=60km/h, voyageur= 80Km/h)*	
Écartement de la voie	*e =1435 mm en alignements*	
Charges à l'essieu	*Pleine voie= 22.5 t* *Ouvrages d'arts = 25 t*	
Traction	*Diesel-électrique*	
Le gabarit	*Gabarit GC détermine l'air réservée aux véhicules*	
Longueur de la ligne minières	*350 Km*	
Rayon minimal	*290 m correspond à une vitesse de 80km/h*	
Passage à niveau	*11*	
Haltes	*Oued Fragha*	*Bou-daroua*

♣ Le tableau suivant donne les caractéristiques du rail UIC 54 :

Tableau III.2 : Les caractéristiques di rail UIC 54

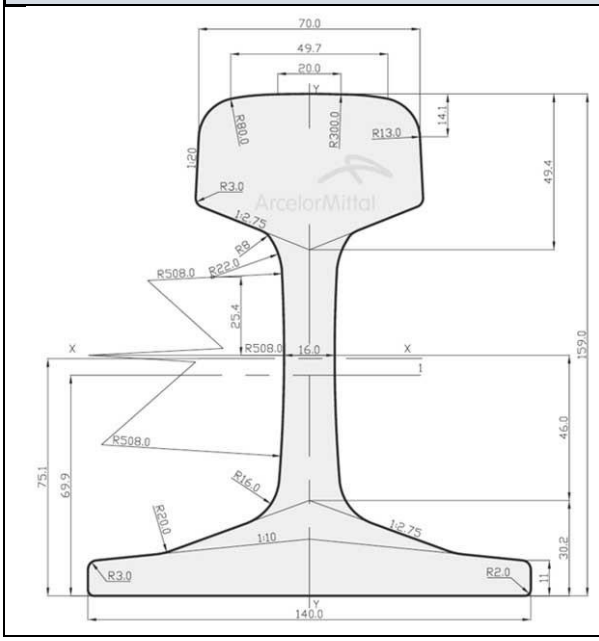
La voie existante : UIC 54	*Caractéristiques du UIC 54*	
	***La surface de la section***	*69.77 cm^2*
	La nuance	*900A/1100*
	La dureté au milieu de la table de roulement	*200 à 350 HT*
	Resistance à la traction	*700 à1300 N/mm^2*
	La longueur min des barres	*18 m*
	Masse	*54.77 Kg/ml*
	Hauteur du rail	*159 mm*
	Largeur du champignon	*70 mm*
	Largeur du patin	*140 mm*
	Epaisseur de l'âme	*16 mm*

Figure III.1 : Rail UIC 54 [5]

Afin de réaliser le dédoublement de la ligne minière Annaba-Bouchegouf, il est crucial d'analyser toutes les caractéristiques de la voie actuelle pour identifier les améliorations requises pour la moderniser. Cette analyse nous permet de rectifier la ligne existante et la dédoubler pour répondre aux exigences. La rectification de la voie sera réalisée en transférant les traverses et le rail vers un nouveau tracé.

II.2. Les éléments du tracé de la voie existante :

On se concentre d'étudier les éléments du tronçon du Pk 40+000 au Pk 54+000.

II.2.1. Caractéristiques géométriques :

Tableau III .3 : Les différents rayons de la voie existante

N°	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***	***9***	***10***	***11***	***12***
Rayon(m)	*302*	*406*	*384*	*300*	*300*	*300*	*300*	*500*	*290*	*290*	*290*	*292*
N°	***13***	***14***	***15***	***16***	***17***	***18***	***19***	***20***	***21***	***22***	***23***	***24***
Rayon(m)	*292*	*300*	*300*	*300*	*300*	*300*	*475*	*300*	*350*	*700*	*800*	*290*

N°	***25***	***27***	***28***	***29***	***30***
Rayon(m)	*290*	*700*	*390*	*390*	*292*

[5] https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjP5Yrvl9eGAxV4TKQEHbE8CLEQh-wKegQIbRAC&url=https%3A%2F%2Frails.arcelormittal.com%2Ftypes-rails%2Ftransport-rails%2Feuropean-standards%2Frail-54e2&usg=AOvVaw3_7p4pXptUOBeZpBku2Wwd&opi=89978449

Notre projet vise à moderniser, dédoubler et rectifier la voie existante en augmentant la vitesse à 120 Km/h, ce qui correspond à un rayon minimum de 560 m (voir le chapitre V). Selon **le tableau III.3** précèdent de la voie existante, il est évident que la plupart des rayons sont inférieurs à 560 m, ce qui nécessite des modifications des courbes du tracé et du couloir, à l'exception des alignements droits où il est possible de dédoubler la voie.

II.2.2. Passage à niveau :

L'existence des passages à niveau représente un risque considérable, tels que des accidents graves, parfois mortels, ainsi que des retards causés au réseau. Par conséquent, le maître d'ouvrage exige leurs suppressions.
Ainsi, il est crucial de rétablir des passages supérieurs ou inférieurs de la voie (voir chapitre VIII).

II.2.3. Les ouvrages hydrauliques :

Le tableau ci-après présent tous les ouvrages existants sur le tronçon du Pk 40+000 au Pk 54+ 000 de la ligne minière :

Tableau III.4 : Les ouvrages hydrauliques existants

PK	*Les ouvrages existants*	*PK*	*Les ouvrages existants*
41+575	*(1.5×1.5)*	***47+888***	*(1.5×1.5)*
41+757	*(1.5×1)*	***48+075***	*(1.5×1.5)*
43+620	*(2×1.5)*	***48+441***	*(3×1.5)*
43+820	*(1.5×1)*	***48+562***	*(1.5×1.5)*
43+783	*(1.5×1.5)*	***48+741***	*(1.5×1.5)*
45+967	*(1.5×1.5)*	***49+216***	*(4×3)*
46+084	*(1.5×1.5)*	***51+180***	*(2×1.5)*
46+211	*(1.5×1.5)*	***52+400***	*(2× 3)*
47+111	*(1.5×1.5)*		

II.2.4. La gare :

La gare de Bouchegouf est composée de deux voies principales d'UIC 54 et de 6 voies de service, ce qui permet une bonne réception du trafic de marchandises. En outre elle dispose de voies de services en traverse métallique qui sont en pleine terre, ainsi que de deux quais de voyageurs recouverts de béton de mauvaise qualité. L'installation du réseau d'assainissement et de drainage est en panne, avec une végétation bien poussée entre les voies.

III. Présentation de la wilaya de Guelma :

La wilaya de Guelma est localisée dans le nord-est de l'Algérie et joue un rôle stratégique en tant que carrefour reliant les côtes des wilayas d'Annaba, El Tarf et Skikda aux régions intérieures telle que Constantine, Oum Bouaghi et Souk-Ahras.

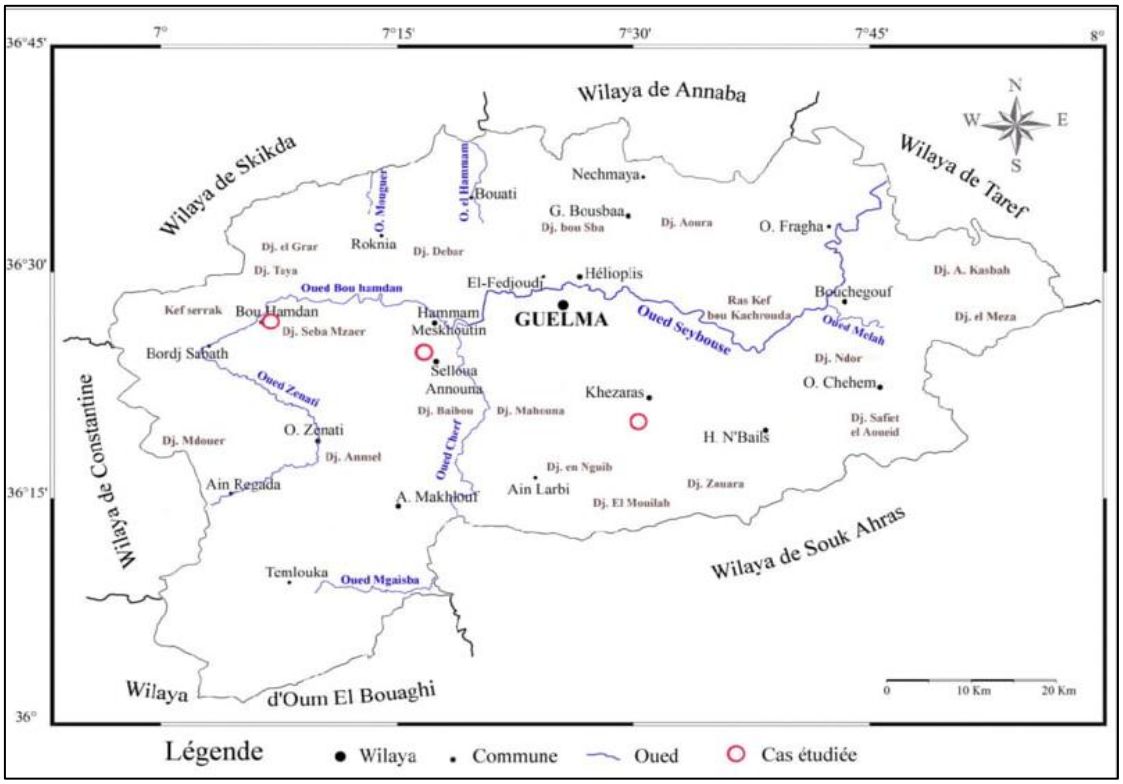


Figure III.2 : Situation géographique de la Wilaya de Guelma [6]

III.1. Situation géographique :

La Wilaya de Guelma a une superficie de 3 686,84 km^2. Elle se situe aux coordonnées géographiques suivantes :

- Latitude varie entre 36.02512400° et 36.67331300°.
- Longitude-Est compris entre 6.940277996 °et 7.959965001°.

III.2. Population :

En 2021, la population de la wilaya de Guelma a été estimée à 570 114 habitants et une densité moyenne d'environ 115 habitants par km^2.

[6] https://www.researchgate.net/publication/362304439/figure/fig1/AS:1182779689709568@1659008061352/Carte-toponymique-de-la-Wilaya-de-Guelma.png

III.3. Climat :

La wilaya de Guelma est caractérisée par des caractéristiques climatologiques spécifiques, elle a un climat méditerranéen avec des étés chauds.

III.3.1. Température :

La température de cette wilaya est de 18,5°C, comme elle atteint 34°C en été et d'environ 10.2°C en hiver. Le mois de juillet est généralement le plus chaud, tandis que le mois de janvier est le plus froid.

III.3.2. Précipitation :

Les précipitations moyennes par an sont d'environ 560.1 mm, avec 119 jours de pluie en moyenne. Les mois les plus froids à Guelma sont janvier, février mars, tandis que les mois les plus pluvieux sont janvier et février.

III.3.3. Vent :

Le vent à Guelma est faible avec des vitesses varient en fonction des conditions météorologiques et peuvent atteindre en moyenne 4 km/h à 23 km/h.

III.3.4. Humidité relative :

C'est une grandeur utilisée pour exprimer la quantité de vapeur d'eau dans l'air, elle varie en fonction des saisons et des conditions atmosphériques. À Guelma l'humidité varie entre 71% et 95%, avec une valeur moyenne de 71%. Dans la saison froide, l'humidité a une valeur de 95% tandis qu'en saison chaude varie entre 71% et 94%.

IV. Présentation du projet :

IV.1. Introduction :

Le présent projet fait l'objet d'une étude d'avant -projet détailler (APD), d'un tronçon de 14 km qui est inclus dans la ligne ferroviaire d'Annaba-Bouchegouf, dans le but de moderniser, dédoubler et rectifier cette voie. L'étude inclut également la conception de la gare de Bouchegouf en incluant plusieurs services pour la rendre plus attrayante, confortable et pratique.

IV.2. Localisation du projet :

La ligne minière Est de l'Algérie, qui relie Annaba à Djebel Onk, a une longueur de 358,72 Km. Le tronçon reliant Annaba à Bouchegouf, qui s'étend sur 54 mètres de cette ligne minière

traverse trois wilayas : Annaba, El Taraf et Guelma, est en cours de modernisation et de dédoublement. Il se situe entre le port d'Annaba et la ville d'oued Fragha dans la wilaya de Guelma. Notre projet se situe dans le deuxième tronçon de la ligne ferroviaire Annaba-Bouchegouf qui s'étend sur 14 km du Pk 40+000 au Pk 54+000, plus la gare de Bouchegouf qui se trouve sur la ligne ferroviaire entre Annaba et Djbel Onk.

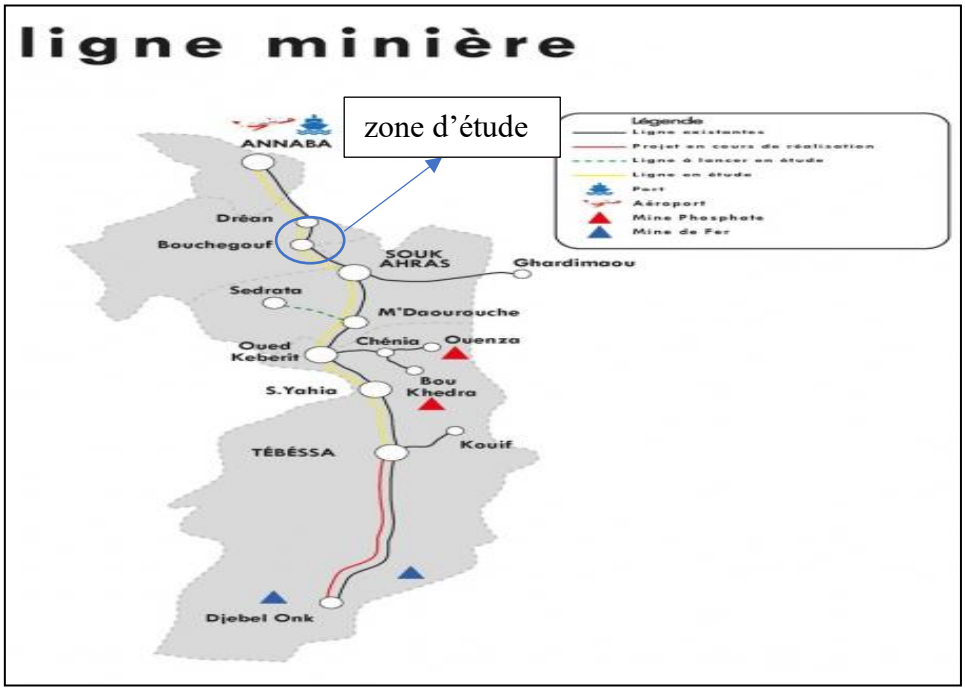


Figure III.3 : Localisation du projet[7]

V. Les caractéristiques du projet :

La ligne est conçue avec une plateforme en double voie en exploitant le couloir de la ligne existante, avec une modernisation, un dédoublement et une rectification de la géométrie du tracé. Cependant, tous les ouvrages d'art les ponts-rails et les tunnels ferroviaires sont conçus comme des voies doubles.

V.1. Les caractéristiques de base :

Tableau III.5 : Les caractéristiques du rail

Éléments	*Caractéristiques*
La longueur de la ligne	*14 Km*
Trafic	*Mixte : voyageurs, marchandises*
Ouvrages d'art	*Pour double voie*
Caractéristiques géométriques	*Recommandations de la SNTF et les standards UIC*
Mode de traction	*Mixte (électrique – diesel)*

[7] https://i.postimg.cc/26BB48PW/675d28c04794e3c683f4419536c4c15f_XL.jpg

V.2. Les caractéristiques de la voie :

Les caractéristiques générales de la voie sont résumées comme suit :

Tableau III.6 : Les caractéristiques de la voie

Éléments	*Caractéristiques*
Vitesses	*Vitesse maximal(voyageurs)= 120Km/h* *Vitesse marchandises=80 Km/h*
Écartement de la voie	*e=1435 mm en alignements*
Entre axe de voies	*5,00 m*
Charges à l'essieu	*Pleine voie= 22.5 t* *Ouvrages d'arts = 25 t*
Electrification	*25 KV*
Distance axe voie-axe caténaire	*3.15 m au minimum*
Le gabarit	*Gabarit GC détermine l'air réservée aux véhicules et trains*

V.3. Les caractéristiques de la superstructure :

Les caractéristiques générales de la superstructure sont résumées comme suit :

Tableau III.7 : Les caractéristiques de la superstructure

Éléments	*Caractéristiques*
Rails	*UIC 54 E1 (voie existante)* *UIC 60 E1(60.21 kg/m) (la nouvelle voie)*
Traverses	*Bi- blocs sur le ballast*
Bande latérale	*Installation des câbles pour la télécommunication*
Attaches	*De type nabla élastique (attache à lame)*

VI. L'objectif du projet :

La modernisation de notre projet nous permettra d'augmenter la capacité de transport des matériaux miniers, assurant ainsi une utilisation optimale des ressources minières dans la région de l'est et du sud du pays, par conséquent avoir un trafic intense pour répondre aux besoins.

Ce projet sert à améliorer l'efficacité et la fiabilité du transport ferroviaire de minerais dans la région devrait être le but de la construction de la gare.

VII. Conclusion :

Il s'agit de l'un des plus grands projets stratégiques de la province d'Annaba et du pays, celui du dédoublement et de la modernisation de la ligne ferroviaire.

Cette ligne hybride fait partie du principal projet de développement de la ligne minière reliant Annaba à Bouchegouf, son objectif principal est le transport minier, y compris le transport de voyageurs et marchandises. Le projet constitue l'artère économique de l'Algérie dans le cadre du libre-échange et porteront des avantages économiques et sociaux à tous. Nous devons veiller à ce que cet investissement soit durable à long terme pour qu'il protège également l'environnement pour des générations futures.

CHAPITRE IV :
La superstructure ferroviaire

I. Introduction :

Ces dernières années, la fabrication de voies ferrées s'est développée rapidement. Les voies sont soumises à des contraintes statiques et dynamiques et se trouvent souvent dans des conditions géologiques difficiles.

Afin de pouvoir résister aux efforts verticaux, transversaux et longitudinaux la voie comprend différents éléments tels que les rails, les traverses, les fixations, le ballast, les aiguillages et les signaux, il faut donc y prêter attention et c'est là qu'intervient la maintenance.

II. Les éléments de la superstructure :

❖ **L'armement de la voie :**

Bien que la capacité de la voie à supporter divers types de trafic, l'armement soit essentiel pour assurer la durabilité et la sécurité du transport ferroviaire. Ce dernier inclut :

II.1. Le rail :

Il s'agit d'un ensemble de barres fixées sur des supports verticaux, qu'il s'agisse d'une barre en acier ou d'une ligne continue de barres posées au sol, formant ainsi une voie ferrée afin de transporter les charges, de rouler et de guider les trains.

L'acier utilisé il faut qu'il soit de bonnes caractéristiques mécaniques et physiques afin de pouvoir résister aux dégradations et corrosions, ce dernier se compose de trois parties : la première c'est la table de roulement (le champignon permettant le roulement de la roue), l'âme et le patin.

Le rail joue un rôle essentiel dans plusieurs fonctions :

- ✓ Supporte des efforts transversaux aux mouvements de lacet, et à l'action de la force centrifuge qui agisse sur le rail, soit vers l'intérieur où soient à l'extérieur.
- ✓ Assure que le courant électrique est transmis, ce qui est utilisé pour la signalisation, traction des trains sur les lignes électrifiées.
- ✓ Permets le guidage des roues du train et assure leurs roulements.

II.1.1. Les différentes composantes du rail :

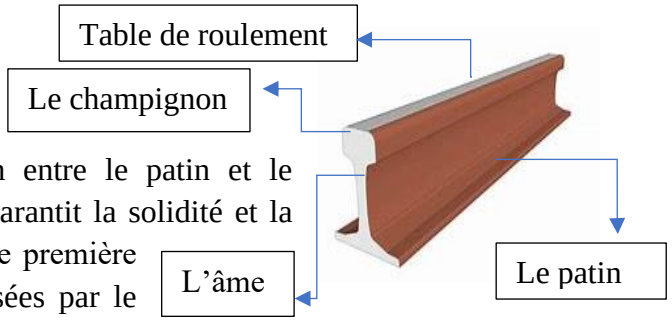
a. La table de roulement :

La surface supérieure du champignon est où les roues du train se déplacent. Cette surface est minutieusement usinée afin d'assurer une surface de roulement uniforme et sans défaut. Il est essentiel d'entretenir régulièrement la table de roulement afin de garantir la sécurité et le confort des passagers.

b. Le champignon :

La surface supérieure du rail est utilisée comme surface de roulement pour les roues du train. Grâce à sa forme bombée, les vibrations et les chocs sont réduits, ce qui permet aux roues de glisser aisément sur le rail.

c. L'âme :



Au centre du rail, elle établit un lien entre le patin et le champignon. Grâce à sa forme en « I », elle garantit la solidité et la rigidité du rail, étant conçue à partie d'acier de première qualité afin de faire face aux contraintes causées par le passage des trains.

Figure IV.1 : Les composants du rail[1]

d. Le patin :

Il représente le bas du rail qui repose sur la traverse**.** Ça forme en « L » est fixé à la traverse pour répartie la charge et le maintenir en position.

- Dans le projet Annaba – Bouchegouf, on utilise le rail du type UIC60 :

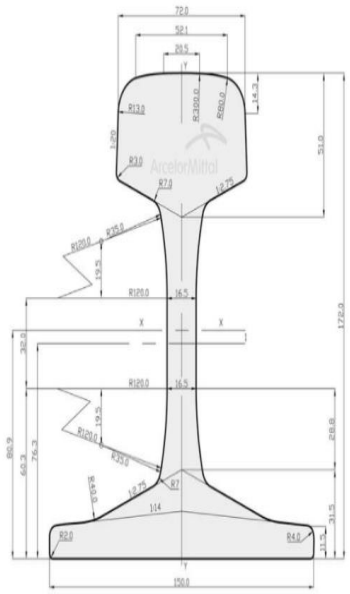
La nouvelle voie : UIC 60 E1	*Les caractéristiques*	*UIC 60*
	***La surface de la section***	*76.70 cm²*
	Dressage	*Classe A*
	La nuance	*260(carbone-manganèse)*
	La dureté au milieu de la table de roulement	*260 HBW*
	Allongement	*Supérieur à 10 %*
	Resistance à la traction	*Supérieur à 880 N/ mm²*
	La longueur min des barres	*18 m*
	Masse	*60.21 Kg/ml*
	Hauteur du rail	*172 mm*
	Largeur du champignon	*72 mm*
	Largeur du patin	*150 mm*
	Epaisseur de l'âme	*16.5 mm*

Figure IV.2 : Rail UIC 60[2]

[1] https://www.researchgate.net/figure/Schematic-3D-model-of-the-repaired-rail-used-as-the-solution-domain-in-the-FE-model_fig12_354375737
[2] https://trainhowtomodels.blogspot.com/2017/12/railway-track-material-specifications.html

II.1.2. L'inclinaison des rails :

Généralement les rails sont inclinés par rapport au plan de roulement, avec une pente de 1/20, afin d'assurer le centrage et facilitent le guidage des roues lorsqu'elles traversent les voies.

II.1.3. Défauts de rails :

On peut classer les défauts de rail en fonction de leur nature, de leurs gravités et de leurs emplacements sur la voie ferrée, il existe trois types de défauts :

- ✓ **Les fissures** : On observe fréquemment des fissures fines et très serrées sur la table de roulement des rails, qui se propagent ensuite vers le champignon. Ces fissures se forment à cause de la fatigue et si elles ne sont pas éliminées, elles entrainent des ébréchures.
- ✓ **L'ondulation** : Cette déformation est causée par un contact de roulement, ce qui provoque des bruits et des vibrations qui entrainent une charge sur la voie et les trains, cela nous provoque des dommages.
- ✓ **Le poinçonnement :** Cela peut-être provoquait par la présence d'un objet dur lors du passage des roues sur le rail, ce qui peut générer une fissure.

II.2. Les traverses :

Les traverses sont des éléments places perpendiculairement à la voie ferrée afin de soutenir les rails et de les maintenir en position.

II.2.1. Le rôle des traverses :

Leurs fonctions consistent à maintenir l'écartement, l'inclinaison des rails et à transmettre les charges des trains sur les rails aux ballasts, garantissant ainsi la stabilité et l'alignement des rails. De cette manière, les charges exercées par les trains sont réparties de manière uniforme, assurant ainsi la sécurité et la durabilité de l'infrastructure ferroviaire.

II.2.2. Les types de traverses :

Il existe 3 types de traverses qui sont les suivantes :

II.2.2.1. Traverse en béton :

Traverse monobloc : Elles sont fabriquées à partir d'une seule pièce solide conçue pour une utilisation intense, ce qui leur confère une résistance accrue à la flexion. Elles sont employées sur les voies à fort trafic.



Figure IV.3 : Traverse monobloc[10]

[10] https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=WmmdOQD6&id=0AC6CB2D07A9CDE0439138F0C199310BA547C679&thid=O

a) Traverse bibloc : Deux blocs en béton armé reliés entre elles par une entretoise. Elles sont employées sur les voies à faible trafic.



Figure IV.4 : Traverse bibloc[11]

II.2.2.2. Traverse métallique :

En général, elles sont conçues à partie d'acier l'aminé en forme d'U renversée, ce qui leur donne la capacité de faire face aux intempéries, aux pourritures, aux insectes et aux incendies.

II.2.2.3. Traverse en bois :

Elles ont été utilisées auparavant, mais leurs utilisations diminuent en raison du coût élevé et de leurs durées de vie courtes. Elles sont utilisées dans certaines applications telles que les appareils de voie.

- Dans notre projet, on a utilisé des traverses de type **B440** dont les caractéristiques suivantes :

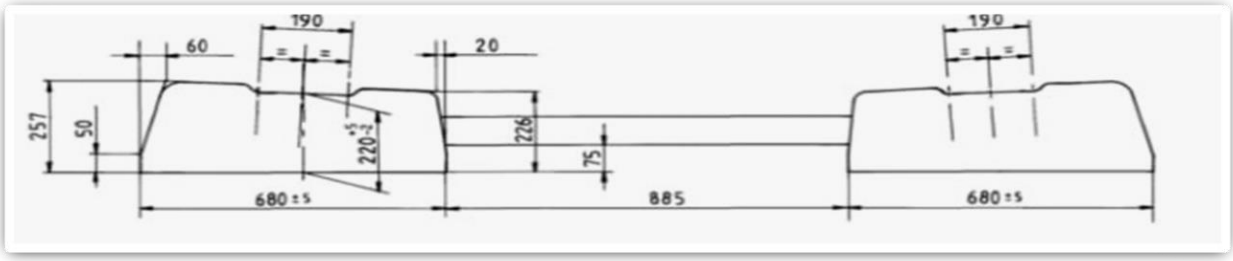


Figure IV.5 : Les dimension de la traverse (vue de face)



Figure IV.6 : Les dimensions de la traverse (vue de Haut)

[11] Traverse bi-blocs en béton armé - Stradal Ferroviaire (stradal-ferroviaire.fr)

II.3. Les attaches :

Les attaches sont des éléments métalliques spécialement conçus pour fixer le rail sur la traverse en offrant une certaine élasticité dans les sens horizontaux et verticaux. Ces attaches sont fixées par des boulons appelés tire-fond. Le choix des attaches dépend du type de traverse utilisé et joue un rôle crucial dans la sécurité et le confort des voyageurs.

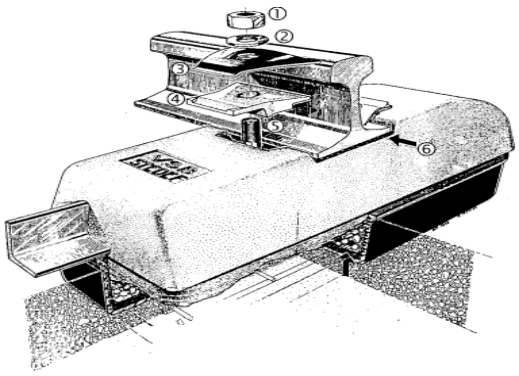


Figure IV.7 : Le système d'attache

♣ **La semelle d'élastomère *:***

Elle a une épaisseur de 9 mm et se trouve entre le rail et la traverse afin d'absorber les vibrations et de diminuer les bruits indésirables.

♦ Dans notre projet, on a utilisé des attaches élastiques du type NABLA :

	Butée isolante de rail		Attache élastique du type NABLA
	Semelle cannelée		T boulon et écrou

Figure IV.8 : Éléments d'attache élastique[12]



Figure IV.9 : Système de fixation[13]

[12] https://fr.gkrailway.com/systeme-de-fixation-de-rails/systeme-de-fixation-de-rails-nabla/
[13] http://www.railway-fasteners.com/news/rail-fastening-system-key-techniques.html

II.4. Les caténaires :

Il s'agit d'un système comprenant des câbles porteurs et des fils conducteurs qui assurent l'alimentation des trains électriques. Ces conducteurs en cuivre sont suspendus par des pendules et sont connectés à des porteurs pour capter le courant électrique.

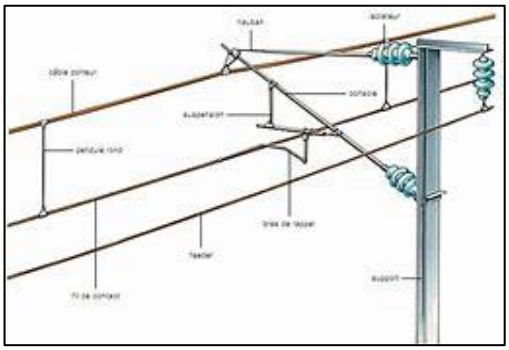


Figure IV.10 : Caténaire[14]

II.5. Les appareils de voie :

Un simple mouvement de la voie ferrée suffit à changer la trajectoire du train. Le train nécessite une infrastructure ou un élément externe pour se déplacer et adopter une nouvelle direction. Grâce à l'appareil de voie, il est possible de modifier la trajectoire d'un train d'une voie principale à une voie de service ou de franchir une voie de croisement.

- Tout d'abord le branchement, il permet la ramification de voie, ce dernier se compose de trois parties :
  a) L'aiguille : c'est la partie mobile
  b) L'intermédiaire : c'est la partie fixe
  c) Le croisement : c'est la partie Tallon

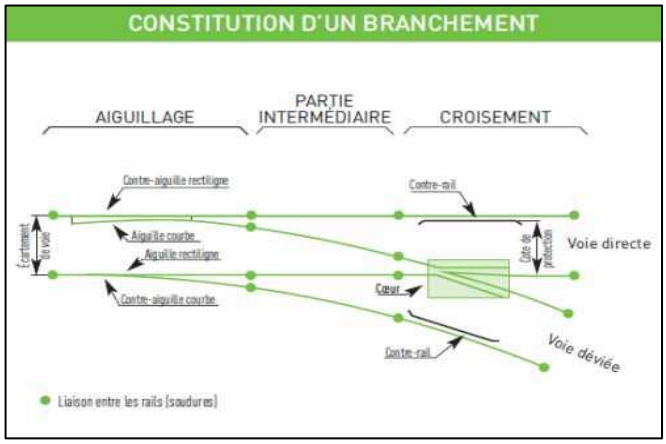


Figure IV.11 : Construction d'un branchement[15]

- Ensuite, il y a les traversées : elle permet à une voie de croiser une autre, elle se compose de deux types :

a) **Traversée à jonction simple :** la jonction est uniquement dans un seul sens.

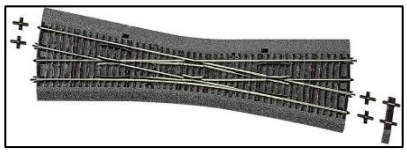


Figure IV.12 : Traversé à jonction simple[16]

[14] https://th.bing.com/th/id/OIP.jzsmzuTBUc5_9BW52KaPXwHaFJ?w=256&h=180&c=7&r=0&o=5&pid=1.7
[15] https://www.lajauneetlarouge.com/wp-content/uploads/2011/07/649-transport-advschema.jpg
[16] https://utmmodelismeferroviaire.fr/wp-content/uploads/2022/03/Roco-42591-1040x364.jpg

b) **Traversée à jonction double** : la jonction est dans deux sens.



Figure IV.13 : Traversé à jonction doubles[17]

- Enfin, les passages à niveau qui assurent la sécurité au croisement.
  - Les appareils de voies se commandent soit mécaniquement (à pied d'œuvre) soit électriquement (à distance).

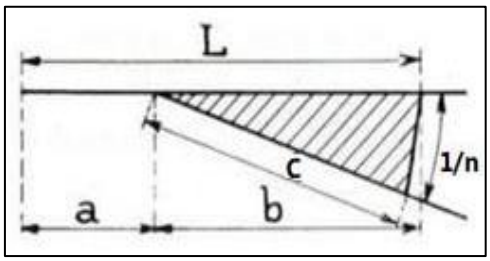


Figure IV.14 : Schéma d'appareil d'appui

II.6. Long rail soudé :

Le long rail soudé, également connu sous le nom LRS, est un type de voie ferrée ou de rails soudés en longueur continue. C'est une technologie qui permet d'augmenter la vitesse et l'efficacité des trains tout en améliorant le confort des passagers en réduisant les vibrations et les bruits. De plus, elle permet de supprimer les soudures et les joints fréquents présents dans les voies traditionnelles.

- **Avantages :** L'utilisation du LRS présent plusieurs avantages, parmi ses avantages on a :

- Un LRS rend le trajet des trains plus agréable en réduisant les dommages causés aux trains et au chemin de fer. Cela réduit les coûts et prolonge la durée de vie de la piste.
- Les trains peuvent voyager à des vitesses élevées avec plus de sécurité.
-Un LRS réduit la pollution sonore causée par les trains en éliminant les joints.

II.7. Soudage des rails :

C'est un processus qui nécessite la fusion des sections pour créer un LRS, pour cela les étapes à suivre sont les suivantes :

-**Préparation du rail :** consiste à meuler les extrémités des sections pour créer des surfaces libres.

[17] https://asset.conrad.com/media10/isa/160267/c1/-/fr/241096_BB_00_FB/traversee-jonction-double-pour-h0-voie-c-trix-trix-h0-62624-188-3-mm-1-pcs.jpg?x=1125&y=1125&format=jpg&ex=1125&ey=1125&align=center

-**Soudage du rail :** tout d'abord, les rails de 18 m sont soudés par une soudure électrique, afin d'avoir des rails de 288m.

-**Refroidissement de la soudure :** est effectué une fois la soudure terminée pour assurer sa solidité et sa durabilité.

-Contrôle de qualité : garantir que le rail satisfait aux exigences**.**

II.7.1. Types de soudure :

II.7.1.1. Soudage aluminothermique :

C'est une technique qui est produite par une réaction chimique entre l'aluminium et les grains d'oxyde de fer entre les rails à souder. Le rail est chauffé après l'installation d'un moule d'étanche. La réaction chimique commence lorsque la soudure est placée dans un creuset réfractaire, puis le moule est allumé. Le moule contient de l'acier en fusion qui fonde les abouts des rails. Après le refroidissement, le démoulage a lieu et l'excédent de mental est retiré afin de reconstituer le profil du rail. L'opération est terminée par le moulage.

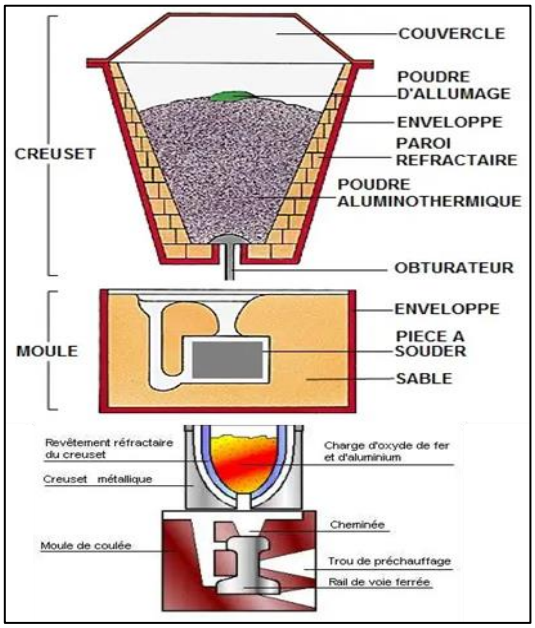


Figure IV.15 : Soudage aluminothermique[18]

II.7.1.2. Soudage électrique :

C'est une méthode de soudage qui consiste à transmettre un courant aux rails, les chauffant jusqu'à ce qu'ils fusionnent sous l'effet de la haute pression.



Figure IV.16 : Soudeuse électrique[19]

[18] https://images.app.goo.gl/9uMiyjSTmEwsnQnt7
[19] https://youtu.be/CP2yP2-tKSk

II.8. Pose de voie :

Le processus de pose de voie peut commencer après avoir préparé le site, ce qui implique de placer les rails dans la bonne position et de les fixer au sol. La construction d'une voie doit respecter les exigences suivantes :

-le marquage de la position : est important pour garantir la position correcte du rail.
-la pose du rail : se fait par section, qui doit être alignée avec la section précédente
-la fixation du rail : sera effectuée à l'aide de boulons ou de clips. Ces derniers sont serrés pour maintenir le rail en place.

II.9. Le processus de pose de voie :

a. **Préparation logistique :** une situation logistique est choisie à proximité du chantier ferroviaire. Il contient tous les matériaux de voie nécessaires à la construction de chemins de fer. Les équipes topographiques valident les coordonnées géométriques de la plateforme et positionnent les voies.

Pre ballastage : mise en œuvre du ballast avec un finisheur.



Figure IV.17 : Pose de voie[20]

b. **Pose de traverses :** les traverses sont installées à l'aide d'une pelle routée, qui établit 1666 traverses par kilomètre, tout en garantissant une distance de 0,6 m entre les traverses**.**

c. **Assemblage de voies :** les rails sont pris en charge par une tireuse avec une série de pinces placées au-dessus des wagons de rails. Ils sont fixés à l'aide des attaches élastiques (tirfonnage).

d. **Ballastage :** le ballast est transporté jusqu'à la voie, puis décharger par plusieurs phases :

- ✓ **Relevage 1 :** c'est l'installation de la première couche de 15 cm du ballast. La régaleuse va régaler le ballast ensuite une bourreuse va relever la voie avec un certaine épaisseur bien déterminer pour dresser le ballast.

- ✓ **Relevage 2 :** consiste à poser une deuxième couche de ballast de 8 cm, qui sera régalé et bourré. Le passage d'un locotracteur charge au maximum permet de stabiliser la situation.

[20] https://youtu.be/CP2yP2-tKSk

- ✓ **Relevage 3 :** poser la troisième couche de ballast de 5 cm, puis la régaleuse et la bourreuse passe pour la niveler. À la fin, on met un nivellement complémentaire du ballast de 2 à 2,5 cm, une régaleuse règle le profil final du ballast et nettoie la voie.

II.10. Libération des contraintes :

Afin de gérer le risque de flambement du rail, on procède à la libération des contraintes. La libération des contraintes est une opération qui consiste à faire répartir les contraintes du rail pour permettre au rail de faire face aux variations de température qu'il devra subir plus tard en raison des changements climatiques. La mise en liberté des contraintes favorise la stabilité, la pérennité et la sécurité de l'infrastructure ferroviaire.



Figure IV.18 : Frappeur[21]

- **Le joint de dilatation :** est l'espace libéré entre deux sections de voie ferrée, qui permet aux rails de se dilater et de se contracter en raison des variations de température.

III. Conclusion :

Dans ce chapitre, on expose les définitions de divers éléments constitutifs de la superstructure de la voie ferrée, soulignant leur importance capitale pour garantir une circulation efficace des trains.

[21] https://www.robel.com/fileadmin/_processed_/d/f/csm_26.01_1_3f273a415d.jpg

CHAPITRE V :
La Géométrie de la voie

I. Introduction :

La géométrie de la voie comprend les différentes normes utiliser dans la conception, par laquelle les caractéristiques sont mesurées afin d'assurer les conditions optimales pour le passage des trains.

II. Tracé en plan :

Le tracé en plan représente la trajectoire de l'axe de la voie sur un plan horizontal. Il est généralement composé des éléments suivants : alignements droits, pleine courbe te courbe de transition.

Sur les voies mixtes, le tracé est caractérisé par :

- **V_m :** vitesse des marchandises (trains à vitesses lentes).
- **V_v :** vitesse des voyageurs (trains à vitesses rapides).

II.1. Terminologie :

♦ Les éléments d'un tracé en plan :

Le tracé en plan permet de définir la configuration et les caractéristiques de la voie ferrée, il comprend les éléments suivants :

II.1.1. Les alignements droits : sont des segments rectilignes de rayon infini, ils offrent une sécurité et une stabilité du trajet.

II.1.2. La courbe circulaire : est la courbe de rayon précise qui relie deux alignements droits, elle permet une transition précise dans les parties droites.

II.1.3. Les courbes de raccordements :

La courbe de raccordement représente la section de passage qui est utilisée entre un alignement et une courbe circulaire, deux courbes circulaires ayant même direction, mais de rayons différents ou bien entre une courbe et une contre-courbe. On l'utilisera afin d'assurer un confort et une sécurité pour les voyageurs et les marchandises.

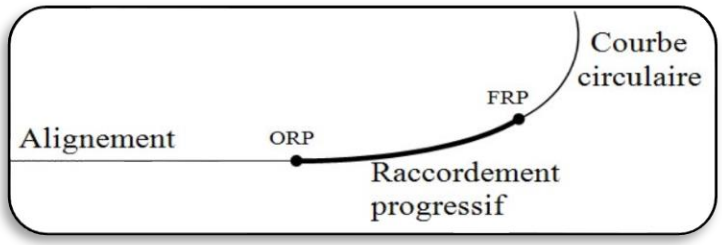


Figure V.1: Courbe de raccordement[22]

[22] http://geniecivilettravauxpublics.blogspot.com/2012/11/les-voies-ferreestrace-en-plan.html

II.1.4. Dévers :

II.1.4.1. Dévers théorique :

C'est l'inclinaison latérale de la voie sur une courbe pour compenser la force centrifuge, il est calculé en fonction de la vitesse maximale de la ligne.

Formule	*Les paramètres*
$d_{th} = \frac{11{,}8 * Vmax^2}{R}$	*d_{th} : dévers théorique en mm.* *Vmax : la vitesse maximale de la ligne.* *R : rayon de la courbe en mètre.*

II.1.4.2. Dévers prescrit (pratique) :

Sur les voies mixtes, les trains circulent avec des vitesses différentes. Pour cela le devers pratique est utilisé afin de réduire le risque de déraillement.

Sa formule est donnée par :

Formule	*Les Paramètres*
$dp = \frac{1000 * C}{R}$	***C :** coefficient de devers (**C= 0,006*V$_v^2$**), qu'il doit être un multiple de 15.* ***R :** rayon de courbure en mètre.* ***Dp :** dévers pratique en mètre.*

II.1.4.3. Dévers maximum admissible :

Tableau V.1 : Valeurs admissibles de dévers

Selon l'SNTF, en plein courbe les valeurs du dévers sont fixées comme suit :

Dévers pratique	*Valeurs (mm)*
Normal	*160*
Exceptionnelle	*180*

II.1.4.4. Insuffisance de dévers I :

L'insuffisance de dévers représente la différence entre le dévers théorique des trains rapides et le devers pratique. Comme elle représente le manque de compensation de la force centrifuge.

- La formule de calcul est :

$$\mathbf{I = d_{thmax} - dp} = \frac{11{,}8 * Vv^2}{R} - dp \leq I_{max}$$

♣ Limitation :

Tableau V.2: Valeurs limites d'insuffisance

Selon l'SNTF, en plein courbe et pour une vitesse V≤220 km/h on a :

Insuffisance	*Valeurs (mm)*
Normal	*150*
Exceptionnelle	*160*

II.1.4.5. Excès de dévers E :

L'excès de dévers représente la différence entre le dévers théorique des trains lents et le dévers pratique. C'est la sensation d'un décalage intérieure pour les marchandises.

- La formule de calcul est :

$$\mathbf{E=dp-d_{thmin}=}dp-\frac{11{,}8*Vm^2}{R}\leq \mathbf{E_{max}}$$

Tableau V.3 : Valeurs limites d'excès

♣ Limitation :

Selon l'SNTF, en plein courbe et pour une vitesse ≤220Km/h on a :

Excès	*Valeurs (mm)*
Normal	*110*
Exceptionnelle	*130*

II.1.4.6. Rayon minimal :

Il représente le rayon de la courbe la plus serrée du tracé que le train peut emprunter en toute sécurité.

♣ Il est calculé par Les formules suivantes en prenant la valeur maximale :

- En fonction de I et dp : $\mathbf{R_{min}}=\frac{11{,}8*Vmax^2}{Imax+dp}$

(Vmax : vitesse des voyageurs).

- En fonction de Emax et Imax : $\mathbf{R_{min}}=\frac{11{,}8*(Vv^2-Vm^2)}{Imax+Emax}$

♣ Dévers du rayon minimal : $\mathbf{d\ (R_{min})}=\frac{Emax*Vv^2+Imax*Vm^2}{Vv^2-Vm^2}<\mathbf{d_{pmax}}$

II.1.4.7. Variation de dévers par rapport aux longueurs :

C'est le taux $\frac{\Delta d}{\Delta L}$ en **[*mm/m*]**, selon lequel le dévers varie par unité de longueur.

- Limitation : la variation du dévers doit satisfaire les deux conditions suivantes, selon IN 0272 :

♦ **1ère condition** : en fonction de la vitesse des trains rapides

Tableau V.4 : Valeurs limites de variation de dévers (selon 1e condition)

	Variation de dévers	
	En fonction de la vitesse	***Par rapport au temps***
Normal	$^{180}/_{V}\ [mm/m]$	*50* $[mm/s]$
Exceptionnelle	$^{216}/_{V}\ [mm/m]$	*60* $[mm/s]$

♦ **2 -ème condition :** en fonction du dévers et du rayon de la pleine courbe adjacente aux raccordements.

Tableau V.5 : Valeurs limites de variation de dévers (selon 2e condition)

Valeur du dévers en pleine courbe dp (mm) et R (m)	*Limitation de la variation du dévers*
$\frac{R-100}{2} \geq dp > \frac{R-150}{2}$	$\frac{\Delta d}{\Delta L} \leq 2\ mm/m$
$\frac{R-150}{2} \geq dp > \frac{R-250}{3}$	$\frac{\Delta d}{\Delta L} \leq 3mm/m$
$\frac{R-250}{3} > dp$	$\frac{\Delta d}{\Delta L} \leq 4mm/m$

II.1.4.8. Variation de dévers par rapport au temps :

En franchissant une rampe de dévers, on calcule la variation de dévers par rapport au temps par la formule suivante :

$$\frac{dd}{dt} = \frac{dp * Vmax}{3,6 * L}$$

II.1.4.9. Variation de l'insuffisance de dévers par rapport aux temps :

Il est essentiel de réduire le taux de variation de l'insuffisance de dévers afin de favoriser une adaptation progressive. La variation de dévers en fonction du temps est exprimée en (mm/s) et par la relation suivante selon IN 0272 :

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I * Vmax}{3,6 * Lrp}$$

- Pour les grandes vitesses, les valeurs limites sont :

Tableau V.6 : Valeurs limites de la variation de l'insuffisance

	$\Delta I/_{\Delta t}$ $[mm/s]$
Normale	*75*
Exceptionnelle	*90*

II.1.4.10. La longueur minimale de la rampe de dévers :

Selon l'SNTF, les formules de calcul de la longueur de la rampe de devers sont données dans le tableau suivant :

Tableau V.7 : Formules de calcul de la longueur de la rampe de dévers

	L_{min}
Normal	$\frac{dp * Vmax}{180}$
Exceptionnelle	$\frac{dp * Vmax}{216}$

- La longueur de la rampe de dévers doit satisfaire la condition suivante :

$$\mathbf{L \geq 0,4}Vmax \geq \mathbf{30}m.$$

II.1.5. La longueur minimale d'alignement :

D'après le référentiel technique (SNTF), les alignements doivent avoir une longueur minimale qui respecte les valeurs suivantes :

Tableau V.8 : Formules des calculs de la longueur d'alignement

Valeur limite normal	*V/2*
Valeur limite exceptionnelle	*V/3*

II.1.6. Clothoïde : elle représente la variation uniforme de la courbure. Elle facilite la transition entre les alignements droits et les courbes.

Expression de calcul : $\mathbf{A^2 = Lrp * R}$

D'où : A : paramètre de clothoïde.

R : rayon de la courbe (m).

Lrp : longueur de la clothoïde (m).

II.2. Application sur le projet :

- Vitesses **:**
  - Vitesse des marchandises Vm= 80 Km/h.
  - Vitesse des voyageurs Vv=120 Km/h.
- Valeurs des éléments caractéristiques selon SNTF :

Tableau V.9 : Valeurs limites des éléments caractéristiques du tracé

Valeurs	*Normal*	*Exceptionnelle*
I (insuffisance de dévers)	*150 mm*	*160 mm*
E (excès de dévers)	*110 mm*	*130 mm*
d (dévers)	*160 mm*	*180 mm*
$\frac{\Delta I}{\Delta t}$***(Variation de l'insuffisance de dévers)***	*75 mm/s*	*90 mm/s*
$\frac{\Delta d}{\Delta L}$***(Variation de dévers par rapport aux longueurs)***	*1,5mm/m*	*1,8 mm/m*
$\frac{\Delta d}{\Delta t}$***(Variation de dévers par rapport au temps)***	*50mm/s*	*60mm/s*

♣ **Les calculs :**

- **Dévers associé au rayon min :**

$$d\,(Rmin)=\frac{Emax*Vv^2+Imax*Vm^2}{Vv^2-Vm^2}=318\text{ mm}>dmax=160\text{ mm (SNTF)}$$

Alors on prend $\mathbf{d_{max}}$ **=160 mm.**

- **Rayon minimal :**

Rmin $=\frac{11,8*Vmax^2}{Imax+dp}=548{,}129\ m$, donc on prend **Rmin =560m.**

- **Coefficient C :**

C= 0,006*V_v^2=86,4**,** ce coefficient il doit être un multiple de 15. D'où **C=90.**

♦ **Pour un rayon de 600m :**

- **Dévers pratique :**

  dp $=\frac{1000*C}{R}=150mm<dmax=160\ mm$**,**condition vérifiée.

- **Dévers théorique max (voyageurs) :**

  $d_{th}=\frac{11,8*Vmax^2}{R}$ = 283,2 mm.

- **Dévers théorique min (marchandises) :**

  $d_{th}=\frac{11,8*Vmax^2}{R}$ = 125,87 mm.

- **Insuffisance :**

  I= d_{thmax}-dp =133,2 mm ≤ I_{max} =150 mm, condition vérifiée.

- **Excès :**
  E=dp-d_{thmin} =24,13 mm ≤E_{max} =110mm, condition vérifiée.
- **Longueur de la clothoïde :**
  L_{rp}= $\frac{dp*Vmax}{180}$ = 100 m.
- **Le paramètre du clothoïde :**
  A=$\sqrt{Lrp * R}$ =244,95
- **Variation de dévers par rapport aux longueurs :**
  $\frac{\Delta d}{\Delta L} = \frac{dp}{Lrp}$ =1,36 mm/m.
- **Variation de dévers par rapport au temps :**
  $\frac{dd}{\Delta t} = \frac{dp*Vmax}{3{,}6*Lrp}$ =45.45 mm/s.
- **Variation de l'insuffisance de dévers par rapport au temps :**
  $\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I*Vmax}{3{,}6*Lrp}$ = 44.4 mm/s.

♦ Le tableau ci-dessous représente le listing des paramètres et des dévers correspondants à chaque rayon du tracé en plan du tronçon d'étude :

Tableau V.10 : Récapitulatif des paramètres du tracé

		Formule	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rayon (m)		-	600	900	800	400	1500	1000	1200	3000	330	302
Vitesse km/h	Min	-	80	80	80	60	80	80	80	80	40	40
	Max	-	120	120	120	100	120	120	120	120	80	80
d_{th} (mm)		$\frac{11.8 * Vmax}{R}$	283.2	188.8	212.4	295	113.3	169.9	141.6	56.64	228.9	250.1
C		$0.006*V_{ma}^2$	86.4			60	86.4				38.4	38.4
C adopté		-	90			60	90				45	45
dp (mm)		$\frac{1000 * C}{R}$	150	100	112.5	150	60	90	75	28.8	136.36	149
dp adopté		-	150	100	120	150	60	95	75	30	110	160
I (mm)		dth_{max}-dp	133.2	88.8	92.4	145	53.28	74.92	66.6	26.64	118.8	90.07
E(mm)		$dp\text{-}dth_{min}$	24.13	16.1	25.6	43.8	9.65	19.48	12.07	4.83	52.79	97.48
Lrp (m)		$\frac{dp * Vmax}{180}$	100	66.7	80	83.3	40	63.3	50	20	48.9	71.1
Lrp adopté		-	110	70	80	85	50	70	60	30	50	75
dd/dl (mm/m)		$\frac{dp}{Lrp}$	1.36	1.43	1.5	1.76	1.2	1.36	1.25	1	2.2	2.13
dI/dt (mm/s)		$\frac{I * Vmax}{Lrp * 3.6}$	40.36	42.3	38.5	47.4	35.52	35.68	37	29.6	52.82	26.69
dd/dt (mm/s)		$\frac{dp * Vmax}{Lrp * 3.6}$	45.45	47.6	50	49.02	40	45.24	41.67	33.33	48.89	47.41

NB : à partir du Pk 36+000, le tracé en plan représente une clothoïde, et étant donné que notre projet débute au Pk 40+000, nous avons seulement pris une longueur de 44.4 m de la longueur totale de la clothoïde.

♣ **Remarque :** Dans le cadre de notre projet, nous avons utilisé un rayon de 400 m, ce qui nous oblige à réduire la vitesse de 120 Km/h à 100 Km/h pour les voyageurs et de 80 km/h à 60 km/h pour les marchandises, afin de vérifier les conditions requises pour le tracé en plan. Ainsi au niveau de gare et à la sortie, on a utilisé un rayon de 330 m et 302 m respectivement avec une vitesse de 80 km/h pour les voyageurs et 40 km/h pour les marchandises.

- **Cas particulier de notre projet :**

À la sortie de la gare le tracé subie un changement d'entre axe du PK 53+400 au PK 53+925, afin de pouvoir garder le tracé de l'ouvrage d'art existant, pour cela on utilise une courbe en s avec un devers qui vaut zéro.

II.3. Les contraintes le long du tracé :

Le tableau suivant illustre les diverses contraintes présentes sur notre tracé :

Tableau V.11 : Les contraintes du tracé

Obstacle à franchir		PK	Ouvrage projeté
Piste		40+045	Passage inférieur
		43+860	
		45+545	
		48+195	
Route	**RN 16**	42+250	Passage inférieur
		43+350	
		46+450	
		48+550	
		51+625	
	Route	52+175	
	Pont routier	50+950	
Chemin de wilaya W126		52+470	
Ligne électrique		42+925	Déplacer
		46+556	
		47+950	
		48+325	
		48+458	
		48+530	
		52+511	
		53+884	
Oued		48+750	Ouvrages hydrauliques
		49+175	
		49+625	

	51+175	
Habitation	43+325	A démolir
	45+750	
	Du 45+650 au 45+775	
Bassin	48+400	
Conduite AEP (adduction en eau potable)	46+575	Protéger ou Déplacer
	48+089	
Conduite de gaz	50+125	Déplacer
Arbres	Du 44+275 jusqu'à 44+500	Abattage
	Du 44+975 jusqu'à 45+125	

II.4. Les zones de dédoublements et de rectifications de notre tracé :

Les zones de dédoublements et de rectifications de notre projet sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.12 : Les zones de déboulements et de rectifications

PK Zones Dédoublement		***PK zones rectifications***	
Début	***Fin***	***Début***	***Fin***
41+663	42+092	40+000	41+633
43+691	44+010	42+092	43+691
46+051	46+244	44+010	46+051
48+991	49+506	46+244	48+991
50+745	51+507	49+506	50+745
/	/	51+507	52+025

III. Profil en long

III.1. Introduction :

Le profil en long est une représentation graphique extrêmement cruciale qui nous permet de définir un tracé optimal de la voie à suivre en tenant compte les caractéristiques topographiques du terrain. De plus, il est crucial pour estimer précisément les coûts du projet.

III.2. Les éléments du profil en long :

III.2.1. Les alignements droits :

Le profil en long présente des déclivités notables, ce qui traduit par la tangente de l'angle entre le profil en long et l'horizontal, ce qui crée une rampe pour les montées et une pente pour les descentes, assurant ainsi une sécurité optimale et un bon démarrage.

En outre, lors de la conception de la gare, il convient de souligner que généralement, un palier d'une longueur supérieure à 1200 mètre est utilisé.

Tableau V.13 : Les déclivités maximales

	Les normes (SNTF)	
L (m)	***Normal***	***Exceptionnel***
L< 3000	*16‰*	*18‰*
3000 < L <15000	*16‰ à 13‰*	*18‰ à 15‰*
L> 15000	*13‰*	*15‰*
La gare	*0‰*	*0‰*

Notons que la position des droites par rapport au terrain naturel est déterminée par différents éléments tels que :

- ✓ Équilibrer les remblais, déblais.
- ✓ Minimiser les mouvements de terres.
- ✓ Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.

- ▪ Il est donc nécessaire de limiter la longueur minimale des déclivités constantes à :

Tableau V.14 : Longueurs minimales des déclivités

Les paramètres	***Normal***	***Exceptionnel***
Longueurs minimales des déclivités	$V/2$	$V/2.5$

- ▪ Les éléments de droites font apparaître des angles dits saillants ou rentrants, correspondant aux zones de raccordement par cercle.

III.2.2. Les cercles :

La variation brusque d'un changement de déclivité est soumise à une variation soudaine de l'accélération verticale, cette accélération est donnée par la formule suivante :

$$A_v = {V^2}/{3.6^2 * R_v}$$

❖ **Pour V< 220 Km/h** $\begin{cases} A_v = 0.22\ m/s^2 \text{ (normal)} \\ A_v = 0.31 m/s^2 (exceptionnel) \end{cases}$

Remplaçant les valeurs de A_v dans la formule :

$$R_v = {V^2}/{3.6^2 * A_v}$$

- Selon SNTF :

Tableau V.15 : Les valeurs des rayons minimales

Les paramètres	*Normal*	*Exceptionnel*
Rayon vertical minimal	***0.35* V²***	***0.25* V²***

Il convient de souligner que l'emplacement des cercles par rapport au terrain naturel est influencé par des divers facteurs tels que :

- ✓ L'implantation des appareils de voies ne doit pas être en courbe.
- ✓ Il n'est pas recommandé de conflit entre les courbes de transition en plan et les courbes de raccordement en profil en long.

III.3. Application sur notre projet :

La vitesse de notre projet est de : 120 Km/h.

Tableau V.16 : Les paramètres géométriques du profil en long (SNTF)

	$R_{min}(m)$		$L_{min}(m)$	
	Normal	**Exceptionnel**	**Normal**	**Exceptionnel**
Les formules	0.35. V²	0.25. V²	V/2	V/2.5
Applications	5040	3600	60	48

♣ **Remarque :**

Notre projet comprend des zones dédoublées, ce qui nécessite que la nouvelle voie soit au même niveau que la ligne existante pour le tracé du profil en long (la ligne rouge). Dans certains cas spécifiques, il est possible d'accepter une hauteur de différences d'altitudes maximale de 40 cm. Dans notre cas, nous avons utilisé une hauteur maximale de 37.8 cm au PK 50+746.

D'après la norme IN 0272 (page 25), les raccordements de déclivités aux points de changements de pente ne sont pas recommandés lorsque la différence algébrique est inférieure à 2‰. Voici ci-dessous le PK où on n'a pas utilisé les raccordements :

Tableau V.17 : Le PK de zone sans raccordement

PK	*Les différences algébriques (‰)*
43+661	*0.4*
45+359	*0.76*

IV. Profil en travers :

IV.1. Introduction :

Le profil en travers représente une coupe perpendiculaire à l'axe de la voie, qui illustre la structure et la géométrie de la voie, telle que les volumes du déblai et du remblai. Ceci rend les choix de construction plus simples comme il assure la sécurité et l'efficacité des infrastructures, tout en permettant de gagner du temps.

IV.2. Section type de la plateforme :

Incluant toutes les dimensions (de la voie, pentes des surfaces et des talus, la superstructure et l'infrastructure), ainsi le système d'évacuation des eaux.

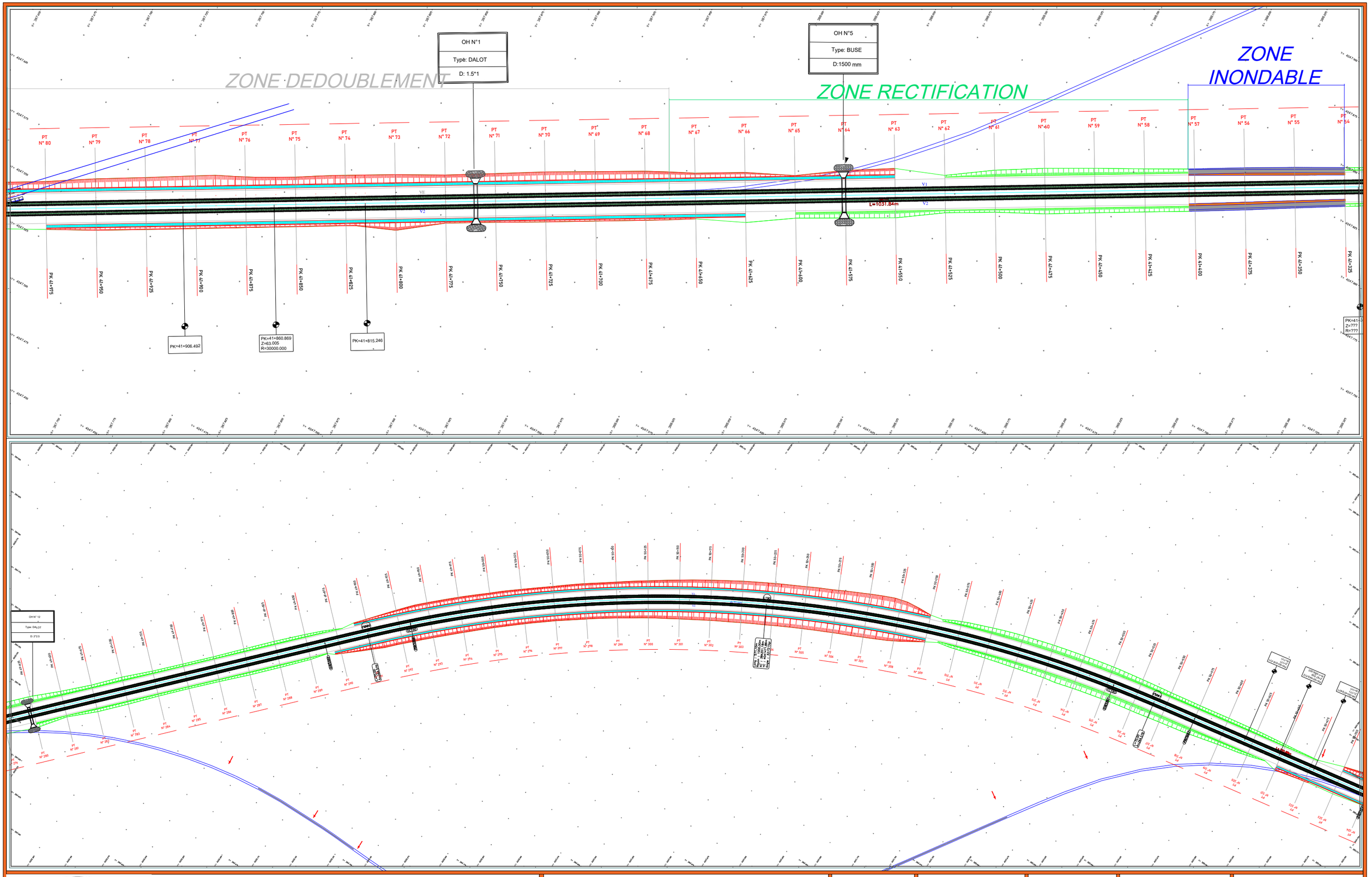
Selon la référence de l'SNTF (chapitre 6), les épaisseurs minimales du ballast sont indiquées comme suit :

Tableau V.18 : Les épaisseurs minimales du ballast

Epaisseur normal	*0.3 cm*
Cas viaduc et tunnel	*0.35 cm*

V. Conclusion :

Une analyse a été réalisée pour les différents aspects de l'étude géométrique de la voie ferroviaire, l'établissement des alignements pour assurer une vitesse constante et éviter les déraillements des trains, il est nécessaire de calculer les courbes et les contres courbes des transitions, en prenant en compte les normes des déclivités et du dévers. Il est possible de visualiser les divers paramètres et normes du l'SNTF dans cette section du tracé en plan et du profil en long.

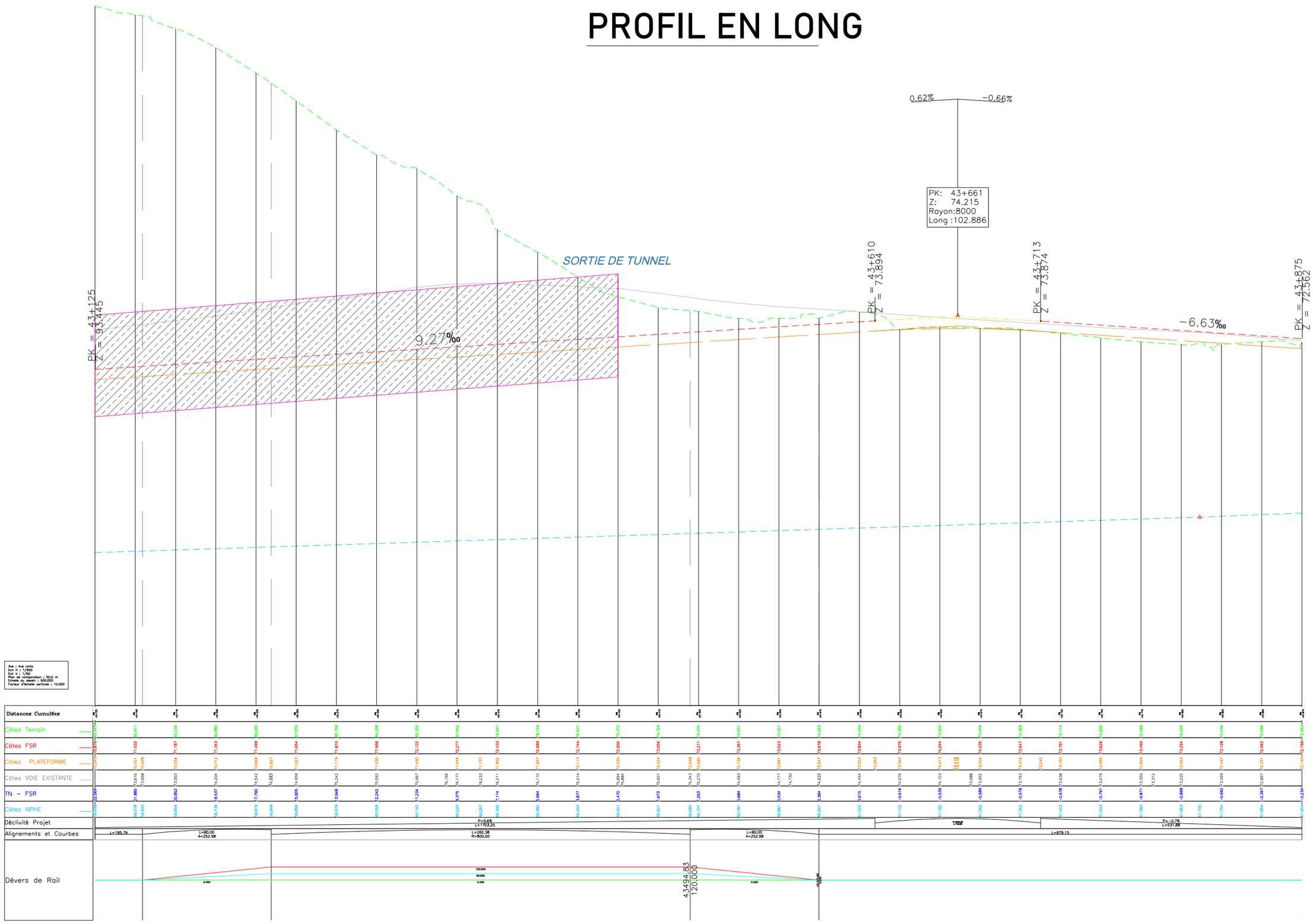


ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

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'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude APD modernisation,dedoublement et/ou rectification de la ligne miniére Annaba-Bouchegouf du PK 40+000 au PK 54+000	*BENMANSOUR Rania* *AYACHE Oumnia*	*Mr.ZENNOUCHE Smail*	Ech H : 1/2 Ech V : 1/3	*Vue en plan*	**2023 / 2024**

PROFIL EN LONG



ENSTP
المدرسة الوطنيـــة العليـــا للأشـــغال العموميـــة
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build 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'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude APD modernisation,dedoublement et/ou rectification de la ligne miniére Annaba-Bouchegouf du PK 40+000 au PK 54+000	*BENMANSOUR Rania* *AYACHE Oumnia*	*Mr.ZENNOUCHE* *Smail*	Ech H : 1/500 Ech V : 1/50	*PROFIL EN LONG*	**2023 / 2024**

CHAPITRE VI :
Étude Hydrologique et Hydraulique

I. Introduction :

En construisant une voie ferroviaire a un effet significatif sur le débit d'eau en modifiant les conditions hydrauliques naturelles du site. L'étude hydraulique et hydrologique sera effectuée pour faciliter la compréhension et la gestion du danger associé à l'eau, telle que les inondations, le ruissellement des eaux pluviales et la stabilité du relief environnant.

II. Réseau hydrographie :

Le réseau hydrographie de Guelma présente une variété de caractéristiques liées à la circulation et au drainage de l'eau. Elle englobe différentes terrasses, telles que les terrasses basses, moyennes et hautes de la rivière de Seybouse.

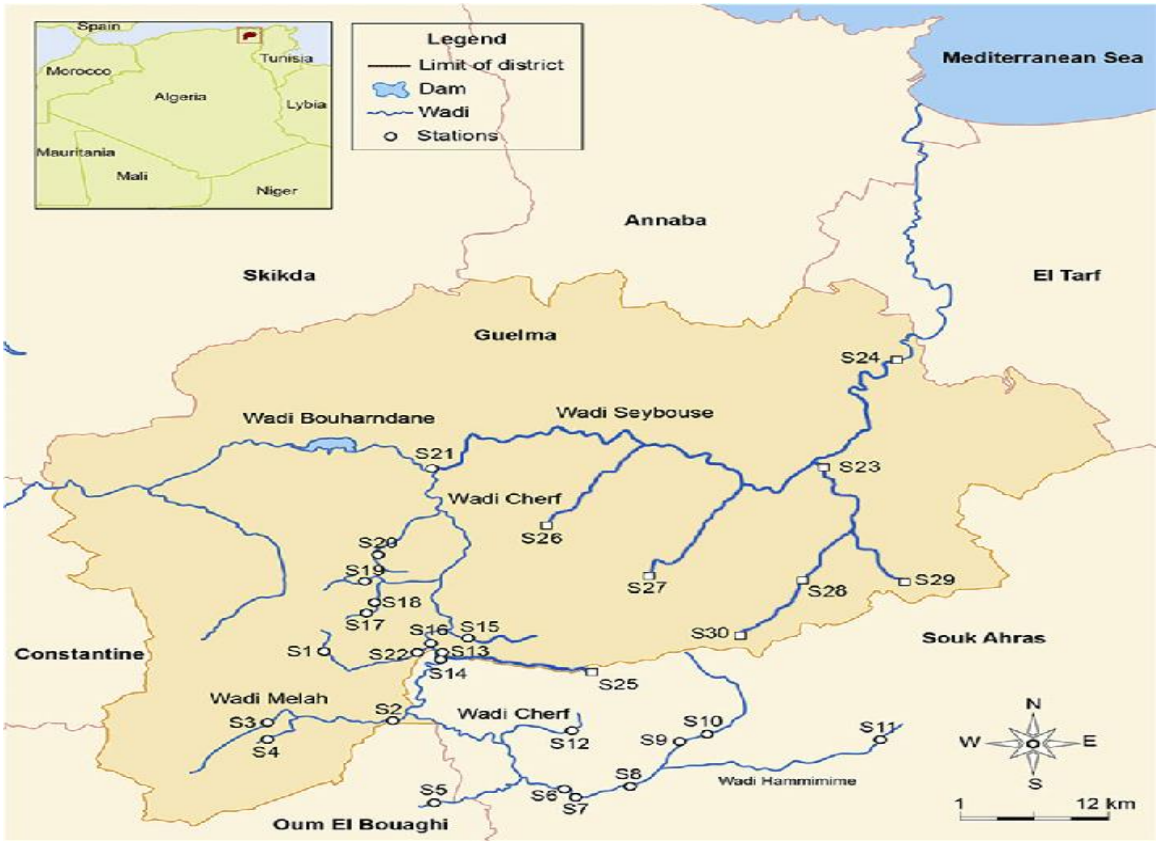


Figure VI.1: Oued Seybouse[23]

L'oued Seybouse se situe dans le nord-est de l'Algérie, il s'étire sur une distance de 225 kilomètres, passant par les provinces de Guelma et Annaba avant de se jeter dans la mer Méditerranée près d'Annaba.

[23] https://www.researchgate.net/publication/349927262/figure/fig1/AS:1002336474374146@1615987046876/Distribution-map-of-sampling-localities-at-the-Seybouse-River-open-circles-Additional.png

III. Étude hydrologique :

L'étude hydrologique c'est la science qui concerne l'étude des eaux, ainsi que ses caractéristiques et son usage, cette dernière porte sur les interactions entre l'atmosphère, la surface de la terre et le sous-sol, elle permet d'organiser les échanges avec l'environnement et leur influence sur les activités humaines.

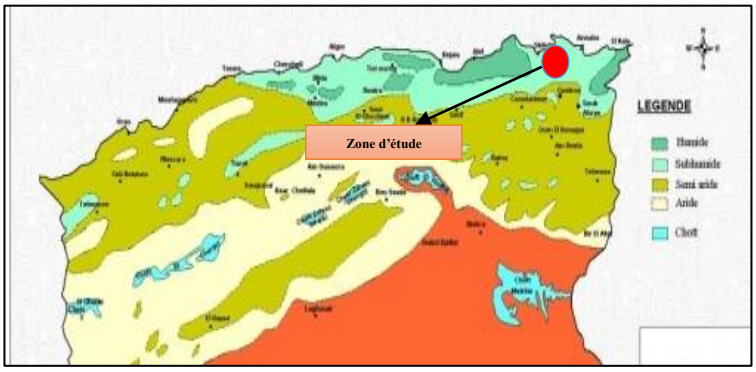
L'hydrologie comprend différents aspects tels que les précipitations, l'infiltration, le ruissèlement et le déversement de cours d'eau.

L'objectif de cette étude dans le domaine des projets ferroviaires est d'assurer la durabilité de la ligne ferroviaire et de minimiser les impacts sur l'environnement.

III.1. Les caractéristiques climatiques et pluviométriques :

III.1.1. Le climat :

La région de BOUCHEGOUF est attribuée au domaine de précipitation méditerranéenne, cette dernière est abondamment arrosée et caractérisée par un climat subhumide.



FigureVI.2 : Étages bioclimatiques de la zone d'étude[24]

III.1.2. La température :

On présente ci-dessous l'analyse des températures dans les régions les plus importantes traversées par le corridor :

Tableau VI.1 : Moyenne annuelles et mensuelles des températures a la station de Tébessa (source ONM)

Station	*S*	*O*	*N*	*D*	*J*	*F*	*M*	*A*	*M*	*J*	*J*	*A*	*Moyenne Annuelle*
Annaba (1972-2005)	*23.1*	*19.6*	*15.3*	*13*	*11.7*	*11.8*	*13.1*	*14.9*	*18.1*	*21.8*	*24.9*	*25.5*	*17.7*

[24] Carte bioclimatique de l'Algérie. * Source : La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte. Revue Vertigo volume 8, numéro 1. Avril 2008.-Nedjraoui Dalila et Bédrani Slimane.

III.1.3. Les précipitations :

Le sud de la région d'étude présente un réseau hydrographique dense avec des précipitations moyennes qui varient entre 700 mm et 1000 mm.

Les caractéristiques de la région d'étude de notre projet ont été reçues auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) et de l'Office National de la Météorologie (ONM).

III.1.3.1. Les précipitations annuelles :

Les données des pluviométries concernant la zone de notre projet ont été obtenues grâce à un prêt de l'ANRH.

Tableau VI.2 : Valeurs des pluies annuelles selon les fréquences choisies

Période de retour	*10*	*20*	*50*	*100*
Fréquence	*0.9*	*0.95*	*0.98*	*0.99*
Boukhemouza(mm)	*868.6*	*936.2*	*1012.3*	*1063.1*

III.1.3.2. Les précipitations journalières :

Les précipitations journalières désignent la quantité de pluie qui tombe au cours d'une journée. Elles sont employées lors des analyses fréquentielles pour prévenir les dommages causés par les eaux.

Tableau VI.3 : Valeurs des pluies journalières

Fréquences	*0.9*	*0.95*	*0.98*	*0.99*
Boukhemouza	*97.1*	*113*	*133.5*	*148.8*

L'analyse des précipitations journalières maximales repose sur les données recueillies de la station pluviométrique EL KERMA, dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI.4 : Les précipitations maximales journalières

Années	*1972*	*1973*	*1978*	*1979*	*1981*	*1982*	*1985*	*1968*	*1987*	*1988*
Pa (mm)	*62.4*	*41.2*	*78.8*	*35.7*	*43*	*67.2*	*34*	*35.8*	*21.7*	*53.2*
Années	*1989*	*1990*	*1991*	*1992*	*1993*	*1994*	*1995*	*1996*	*1997*	*1999*
Pa (mm)	*41.5*	*69.9*	*59.3*	*86.5*	*41.5*	*47.7*	*38.1*	*29*	*43.6*	*63.2*
Années	*2000*	*2001*	*2002*	*2003*	*2004*	*2005*	*2006*	*2007*	*2008*	*2010*
Pa (mm)	*24.8*	*32.7*	*106.3*	*48.3*	*45.8*	*32.5*	*85.6*	*60.5*	*50.6*	*67.7*

Années	*2011*	*2012*
Pa (mm)	*56.9*	*64.2*

III.1.3.3. Pluies de courtes durées :

Les relevés des précipitations sont utilisés pour déterminer la loi d'intensité, durée et la fréquence. En se basant sur le dépouillement à intensités constantes, on a évalué la quantité de pluie pour les différentes périodes (1h,2h,3h,6h,12h et 24h).

La relation Intensité -Durée-Fréquence (IDF) est donnée par la formule suivante :

$$I(t, T) = a * Tc^{-b}$$

Tableau VI.5 : Valeur du paramètre « b »

Station	*b*
Guelma	*0.63*

D'où :

- I : intensité de pluie en mm/h.
- T : temps de concentration (h).
- a et b : paramètres de Montana.

Tableau VI.5 : Valeur du paramètre « a » selon les fréquences

Temps de retours	**2**	**5**	**10**	**20**	**50**	**100**
A	14.3	19.9	23.7	27.2	31.9	35.3

III.2. Les caractéristiques morphologiques des bassins versants :

L'évaluation des caractéristiques des bassins versants, nécessite de calculer les paramètres ci-dessous pour évaluer les débits de crue.

Les paramètres sont les suivants :

- K_C : indice de compacité.
- S (Km²) : la surface.
- P (Km) : le périmètre.
- H_{min} ,H_{max} et H_{moy} : altitude minimale, maximale et la moyenne.
- L(Km) : longueur du plus long talweg.
- D_H : différence entre l'altitude maximale et minimale du bassin.

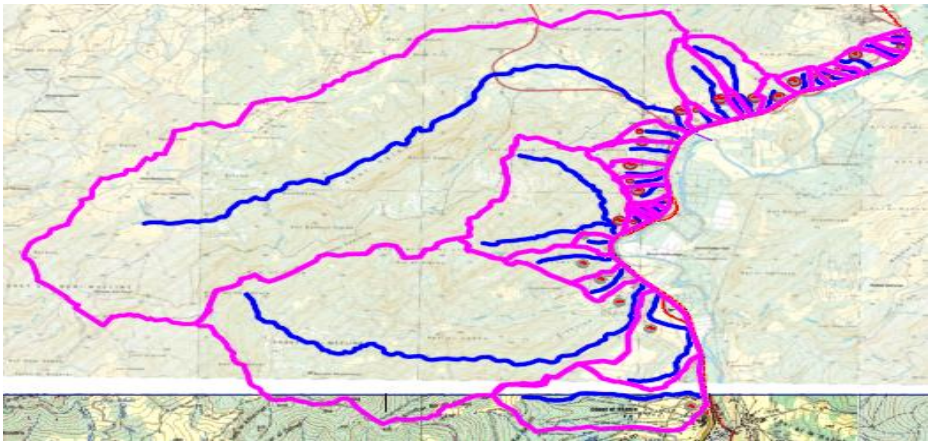


Figure VI.3 : Délimitation des bassins versants

Voici ci-dessous un tableau récapitulatif des caractéristiques des paramètres des bassins versants des talwegs qui traversent la ligne de notre projet :

Tableau VI.6 : Les caractéristiques morphologiques des bassins versants

N° Bv	Pk	Kc	S(km²)	L(km)	P(km)	H_{max} (m)	H_{min}(m)	D_H(m)
1	40+146	1.44	0.0831	0.256	1.487	141.153	52.946	88.207
2	40+298	1.33	0.1361	0.334	1.747	143.878	52.450	91.428
3	40+625	1.48	0.1457	0.737	2.017	142.411	53.682	88.729
4	41+287	1.18	0.3683	0.708	2.549	105.403	55.461	49.942
5	41+575	1.39	0.1197	0.349	1.713	172.569	56.682	115.887
6	41+757	1.30	0.116	0.513	1.583	182.078	61.418	120.66
7	42+180	1.33	0.1039	0.274	1.527	184.417	62.363	122.054
8	43+620	1.43	1.1382	2.17	5.438	353.953	73.525	280.428
9	43+820	1.45	0.1117	0.495	1.729	348.709	72.055	276.654
10	44+042	1.32	1.1359	1.543	5.008	306.361	70.663	235.698
11	44+431	1.32	0.2176	0.387	2.201	188.541	66.252	122.289
12	44+761	1.50	41.2396	12	34.453	286.381	66.076	724.924
13	45+043	1.22	0.4061	0.659	2.787	241.875	66.379	175.496
14	45+402	1.33	0.6661	0.734	3.886	208.892	66.569	142.323
15	45+782	1.24	0.3151	0.718	2.487	220.363	76.060	150.303
16	45+967	1.39	0.1938	0.538	2.185	189.152	70.930	118.222
17	46+211	1.12	0.257	0.545	2.034	212.139	75.109	137.03

18	***47+888***	*1.26*	*5.313*	*3*	*10.354*	*545.467*	*73.820*	*471.647*
19	***48+071***	*1.20*	*0.2344*	*0.383*	*2.07*	*203.769*	*81.527*	*122.242*
20	***48+441***	*1.33*	*1.0122*	*1.348*	*4.776*	*424.23*	*80.450*	*343.78*
21	***48+741***	*1.28*	*0.4605*	*0.899*	*3.094*	*148.0233*	*79.856*	*68.1673*
22	***49+216***	*3.51*	*3*	*9.314*	*21.718*	*516.5*	*78.741*	*437.759*
23	***49+624***	*1.32*	*2.42*	*3.426*	*7.269*	*187.995*	*78.381*	*109.614*
24	***52+400***	*1.43*	*4.05*	*3.249*	*10.24*	*342.484*	*92.435*	*250.049*

III.2.1. Calcul de débit maximal dans les bassins versants (débit de crue) :

Il est nécessaire d'estimer les débits maximaux d'un cours d'eau en raison des conséquences dévastatrices bien connues de ces évènements hydrologiques.

Le débit du projet est déterminé en fonction des limites d'utilisation de chaque formule utilisée.

❖ Les formules utilisées dans notre projet sont les suivantes :

III.2.1.1. La formule rationnelle : (A < 10 Km²)

Le principe de la formule rationnelle, le fait que la pluie génératrice de crue est celle de durée égale au temps de concentration.

- Voici la formule pour le calcul du débit maximal :

La formule	*Les paramètres*
$Q_A = \frac{C.I.A}{3.6}$	Q_A **:** *le débit de crue de fréquence (m^3/s)* **C :** *coefficient de ruissellement* **I :** *intensité de pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration(mm/h)* **A :** *la surface du bassin versant (Km)*

- **Le coefficient de ruissèlement :**

Le coefficient de ruissèlement représente la fraction de ruissèlement d'eau par rapport aux précipitations totales tombées sur les bassins versants.

La méthode de KENESSEY nous donne : $C_r = C_1 + C_2 + C_3$

Tel que : C_r **:** Coefficient de ruissèlement.

C_1 : Dépend de la pente du cours d'eau principal.

C_2 **:** Dépend de la perméabilité du terrain**.**

C_3 : Dépend de la couverture végétale du bassin versant

Les valeurs des pentes ont été représentées dans le tableau des caractéristiques morphologiques des bassins versant des écoulements superficiels traversés par le tracé du projet de la ligne minière du tronçon Chbeita Mokhtar – Bouchegouf.

Tableau VI.7 : Les Valeurs de C_1, C_2 et C_3

La pente du cours d'eau %	*Coefficient C_1*	*La perméabilité du terrain*	*Coefficient C_2*	*La couverture végétale du bassin versant*	*Coefficient C_3*
P < 3.5	*0.01 – 0.05*	***Imperméable***	*0.22 – 0.3*	***Rocheux***	*0.22 – 0.3*
3.5 < P< 11	*0.06 – 0.1*	***Assez perméable***	*0.1 – 0.2*	***Les prés***	*0.17 – 0.25*
11 < P< 35	*0.12 – 0.2*	***Perméable***	*0.06 – 0.1*	***Champ labours***	*0.07 – 0.15*
P >35	*0.22 – 0.3*	***Très perméable***	*0.06 – 0.05*	***Forets, sols sableux***	*0.03 – 0.05*

- Les valeurs de la perméabilité ont été estimées en utilisant la carte géologique de la région étudiée.
- Pour l'estimation du coefficient C_3, on a utilisé la carte d'affectation des terres de la wilaya d'Annaba, d'EL Taref et de Guelma.

- **Temps de concentration :**

Les formules de calculs du temps de concentration sont données dans le tableau suivant :

Tableau VI.8 : Les formules de calculs du temps de concentration

Formule	Kirpich	Ventura	Passini	Giandotti
Tc	$\frac{0.0195 * L^{0.77}}{I^{0.385}}$	$0.127\sqrt{\frac{S}{P}}$	$0.108\frac{\sqrt[3]{S*L}}{\sqrt{P}}$	$\frac{4\sqrt{S}+1.5L}{0.8\sqrt{h}}$
Surface km²	0.004<S<0.81	<5	5<S<25	25<S<200

- Les différents paramètres utilisés dans les formules de calcul du temps de concentration sont définis dans le tableau suivant :

Tableau VI.9 : Les paramètres des formules de calculs du temps de concentration

Formule Tc (h)	*Paramètres*	*Définition*
Kirpich	*I (m/m)*	*Pente du bassin versant*
	L (m)	*Longueur du cours d'eau principal*
Ventura	*S (km²)*	*Surface du bassin versant*
	P (m/m)	*Pente moyenne du bassin versant*
Passini	*L (km)*	*Longueur du cours d'eau principal*
	S(km²)	*Surface du bassin versant*

	p (m/m)	*Pente moyenne du bassin versant*
Giandotti	*L (km)*	*Longueur du cours d'eau principal*
	S(km²)	*Surface du bassin versant*
	h (m) =H_{moy}-H_{min}	*H_{moy} : altitude moyenne* *H_{min} : altitude minimale*

III.2.1.1. La formule de crupedix : (A> 50 Km² jusqu'à 2000 Km²)

Elle nous a permis d'estimer le débit instantané décennal à partir de la pluie journalière décennale et de la surface.

Les formules	Les paramètres
$\mathbf{Q_{10} = A^{0.8}.(\frac{P_{10}}{80})^{0.8}. R}$	Q_{10}= débit de crue instantanée de fréquence décennale (m^3/s) A : surface du Bv (Km²) P_{10} : précipitation journalière de fréquence décennale(mm) R : coefficient régional. R=2 pour les terrains perméables. R=1.5 à 1.8 pour les terrains imperméables. R= 1 pour les terrains intermédiaires.
$\mathbf{Q_{100}= b'.Q_{10}}$	b′ : paramètre régionale dépend de la superficie du BV **b′=2** par défaut si A>20 Km²

III.2.1.2. La formule de Mallet et Gauthier : (S>10km²)

La formule	*Les paramètres*
$Q100=2*k*\log(1+a*p) *\frac{s}{\sqrt{L}}*\sqrt{(1+4*\log T-\log s)}$	***Q100 :*** *débit de crue de période de retour voulue (m³/s).* ***k :*** *paramètre (facteur pluviométrique considéré dans sa variabilité compris entre 0.5 et 5.* ***P :*** *précipitation Moyenne interannuelle (m).* ***a :*** *paramètre (facteur pluviométrique considéré moyennement) qui varie de 20 à 30.* ***S :*** *surface du BV (km²).* ***L :*** *longueur du talweg principale (km).* ***T :*** *période de retour en année (ans).*

NB : le paramètre « a » est pris généralement égale à 20 en Algérie.
Dans notre projet k=2.

III.2.1.3. La formule de transition de transition (10 km²<A<50 km²)

La formule	*Les paramètres*
$Q_{T=} \alpha * Q_{RT} + \beta * Q_{CT}$	Q_T *: le débit de crue de fréquence (m^3/s)* α*= (50-S)/40 : coefficient varie entre 0 et 1* Q_{RT}*: Débit fournie par la formule rationnelle* Q_{CT}*: Débit fournie par la formule Crupedix* β*= 1-α*

III.2.1.4. Résultats de calculs des débits pour notre projet :

Dans le tableau ci-dessous, nous évaluerons les débits centennaux maximums des cours d'eau en utilisant les formules précédentes :

Tableau VI.10 : les débits de crue retenus des talwegs pour une période de 100 ans

N° Bv	Pk	S(km²)	Cr	Tc (h)	I (mm/h)	Q (m³/s)			Débit retenue
						Rationnel	Mallet et Gauthier	Transition	
1	**40+146**	0.0831	0.45	0.062	203.50	2.114	/	/	2.114
2	**40+298**	0.1361	0.45	0.0900	160.92	2.738	/	/	2.738
3	**40+625**	0.1457	0.45	0.1400	121.82	2.219	/	/	2.219
4	**41+287**	0.3683	0.35	0.2900	77.00	2.757	/	/	2.757
5	**41+575**	0.1197	0.45	0.0760	179.00	2.678	/	/	2.678
6	**41+757**	0.116	0.45	0.089	162.05	2.350	/	/	2.350
7	**42+180**	0.1039	0.55	0.0610	205.60	3.264	/	/	3.264
10	**43+620**	1.1382	0.45	0.3770	65.26	9.286	/	/	9.286
11	**43+820**	0.1117	0.55	0.0570	214.57	3.662	/	/	3.662
12	**44+042**	1.1359	0.45	0.3460	68.89	9.782	/	/	9.782
13	**44+431**	0.2176	0.45	0.1050	146.02	3.972	/	/	3.972
14	**44+761**	41.2	0.35	2.846	18.26	263.373	170.13	69.52	69.52
15	**45+043**	0.4061	0.45	0.157	113.33	5.753	/	/	5.753
16	**45+402**	0.6661	0.45	0.235	87.90	7.319	/	/	7.319
17	**45+782**	0.3151	0.45	0.156	113.79	4.482	/	/	4.482
18	**45+967**	0.1938	0.45	0.119	134.95	3.269	/	/	3.269
19	**46+211**	0.257	0.45	0.128	128.89	4.141	/	/	4.141
25	**47+888**	5.313	0.3	0.6855	44.78	17.183	/	/	17.183
26	**48+071**	0.2344	0.4	0.109	142.63	3.715	/	/	3.715
27	**48+441**	1.0122	0.45	0.253	83.91	10.617	/	/	10.617
28	**48+741**	0.4605	0.35	0.313	73.38	3.285	/	/	3.285
29	**49+216**	3	0.35	1.5117	27.21	5.594	/	/	5.594
30	**49+624**	2.42	0.26	1.105	33.15	5.794	/	/	5.794
31	**52+400**	4.05	0.35	0.923	37.13	14.655	/	/	14.655

IV. Étude hydraulique :

L'étude hydraulique a pour objet d'analyser et gérer les aspects liés à l'eau, tels que l'évaluation du drainage, de l'évacuation des eaux et de la régulation des eaux pluviales. Son objectif est d'anticiper et de réduire les dangers hydrauliques, pour garantir la durabilité et la sécurité de la structure.

IV.1. Dimensionnement des ouvrages transversaux :

Les ouvrages transversaux ont pour objectifs d'assurer que le débit évacué dans le cas d'une pluie intense est inférieur au débit maximal que l'ouvrage peut supporter. On peut déterminer le débit de saturation par la formule de Manning-Strickler comme indiquée dans la formule ci -dessous :

La formule	*Les paramètres*
$Q_s = K_s * S_m * R_h^{2/3} * \sqrt{I}$	Q_s *: débit de saturation de l'ouvrage* K_s *: coefficient de rugosité (pour le béton 70)* S_m: *section mouillé.* R_h *: rayon hydraulique.* I *: la pente longitudinale de l'ouvrage(m/m)*

Tableau VI.11 : La vérification des conditions d'auto-curage

Les conditions	*Les vérifications*
1	*1m/s < V< 4m/s*
2	*Q=0.1* Q_{ps} *V> 0.6 m/s*
3	*Q=0.01* Q_{ps} *V >0.3 m/s*

NB : (V) c'est la vitesse d'écoulement**.**

♣ Ouvrages hydrauliques existants :

Notre projet inclut des zones dédoublées sur lesquelles la ligne existante a été déjà équipée d'ouvrages hydrauliques, il est donc nécessaire de prendre en compte cette situation.

Suite à la visite du site et en se basant sur les données et les informations collectées, ainsi que sur l'analyse de l'état des ouvrages existants (ouvrages en maçonnerie), il est important de vérifier la présence des fissures, de la corrosion et du débordement d'oued afin de déterminer si on peut les maintenir que ce soit sur le plan structurel ou hydraulique, nous avons donc décidé de faire une extension dans les zones de dédoublement de ces ouvrages, en maintenant les points kilométriques des ouvrages existants et leurs dimensions, mais en modifiant leurs types.

IV.1.1. Buse :

Prédimensionnement :

$$Q_s = Q_{max}$$

$$S_m = \frac{\pi * D^2}{4} \longrightarrow D = 4^{5/8} * \left(\frac{Q_{max\,(100)}}{K_s * \pi * \sqrt{I}}\right)^{3/8}$$

$$R_h = \frac{D}{4}$$

- **Application sur notre projet :**

Pour le bassin versant N°11

$Q_s = Q_{max} = 3.678$ m^3/s

$D = 4^{5/8} * \left(\frac{Q_{max\,(100)}}{K_s * \pi * \sqrt{I}}\right)^{3/8} \longrightarrow D = 4^{5/8} * \left(\frac{Q_{max\,(100)}}{70 * \pi * \sqrt{I}}\right)^{3/8} \longrightarrow D = 1.2166$ m

- **Le diamètre commercial choisie : D = 1500 mm.**

$Q_{ps} = K_s * S_m * R_h^{2/3} * \sqrt{I} \longrightarrow Q_s = 70 * S_m * R_h^{2/3} * \sqrt{I}$

$Q_{ps} = 6.43$ m$^3 \longrightarrow V_{ps} = \frac{Q_{PS}}{S_m} \longrightarrow V_{ps} = \frac{6.43}{1.766} \longrightarrow V_{ps} = 3.64$ m/s

$R_q = \frac{Q_{max}}{Q_{ps}} \longrightarrow R_q = 0.570$ (du tableau : Rv=1.031 Rh =0.541).

$V = R_v * V_{ps} = 3.75$ et $H = R_h * D \longrightarrow H = 811.5$ mm.

- Voici le tableau si dessous qui montre la vérification des conditions d'auto -curage :

Tableau VI.12 : Les conditions d'auto-curage (BV N°11)

Les conditions	*Les vérifications*	R_q	R_v	*V (m/s)*
1	*1m/s < V< 4m/s*	*0.570*	*1.031*	*3.75*
2	*Q=0.1 Q_{ps} V> 0.6 m/s*	*0.1*	*0.638*	*2.32*
3	*Q=0.01 Q_{ps} V >0.3 m/s*	*0.01*	*0.32*	*1.16*

♦ **Les conditions d'auto-curage du BV N° 11 sont vérifiées.**

Tableau VI.13 : Calculs récapitulatifs des ouvrages busés de notre projet

N° Bv	Pk	Débit Q (m^3/s)	Pente m/m	Ks	D (m)	D retenue (mm)	Qps	Vps	Rq	H
1	**40+146**	2.114	0.010	70	0.988	1500	6.43	3.64	0.329	591
2	**40+298**	2.738	0.010	70	1.089	1500	6.43	3.64	0.426	685.5
3	**40+625**	2.219	0.010	70	1.007	1500	6.43	3.64	0.345	607.5
4	**41+287**	2.757	0.010	70	1.092	1500	6.43	3.64	0.429	585.5
5	**41+575**	2.678	0.010	70	1.080	1500	6.43	3.64	0.417	675
7	**42+180**	3.264	0.010	70	1.163	1500	6.43	3.64	0.508	756
13	**44+431**	3.972	0.010	70	1.252	1500	6.43	3.64	0.618	853.5
17	**45+782**	4.482	0.010	70	1.310	1500	6.43	3.64	0.697	922.5
18	**45+967**	3.269	0.010	70	1.164	1500	6.43	3.64	0.508	756
19	**46+211**	4.141	0.010	70	1.272	1500	6.43	3.64	0.644	876
26	**48+071**	3.715	0.010	70	1.221	1500	6.43	3.64	0.578	819
28	**48+741**	3.285	0.010	70	1.166	1500	6.43	3.64	0.511	759

Tableau VI.14 : Vérifications des conditions d'auto-curage des ouvrages busée de notre projet

		Les conditions d'auto-curage					***Les conditions d'auto-curage***		
N° Bv	**Pk**	**1<V<4**	**V>0.6**	**V>0.3**	**N° Bv**	**Pk**	**1<V<4**	**V>0.6**	**V>0.3**
1	**40+146**	3.26	2.32	1.16	**13**	**44+431**	3.82	2.32	1.16
2	**40+298**	3.50	2.32	1.16	**17**	**45+782**	3.93	2.32	1.16
3	**40+625**	3.30	2.32	1.16	**18**	**45+967**	3.65	2.32	1.16
4	**41+287**	1.85	2.32	1.16	**19**	**46+211**	3.86	2.32	1.16
5	**41+575**	3.48	2.32	1.16	**26**	**48+071**	3.77	2.32	1.16
7	**42+180**	3.65	2.32	1.16	**28**	**48+741**	3.66	2.32	1.16
Conditions Vérifiées									

IV.1.2. Dalot :

Le dalot est une construction en béton armé, avec une section rectangulaire ou carrée, qui est réalisée transversalement. En générale les dalots sont utilisés pour un débit supérieur à $10m^3/s$.

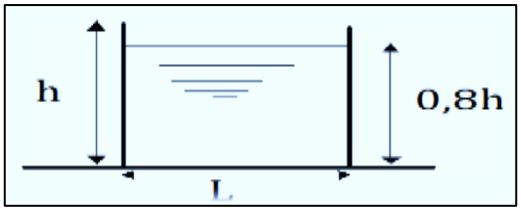


Figure VI.4 : Schéma du dalot

Prédimensionnement du dalot :

$Q_s = Q_{max}$

$S_m = b * h$

$Pm = b+2*h$

$Rh = \frac{b*h}{b+2*h}$

Le calcul se fait par itération, pour une hauteur de remplissage de h =0.8 h.

$Q_s = Q_{max}$

$Sm = (0.8*h) * b$

$Pm = b+2*0.8*h \Rightarrow Pm = b+1.6*h \longrightarrow h_{i+1} = \left(\frac{Q}{b*ks*\sqrt{I}}\right)^{3/5} \times \left(\frac{1+1.6*\frac{hi}{b}}{0.8}\right)^{2/3}$

$Rh = \frac{b*0.8*h}{b+1.6*h}$

$Hc = \sqrt[3]{\frac{Qs}{g \times b\hat{}2}} < 0.8h$, la condition qui assure un écoulement fluvial.

Avec un critère d'arrêt $h_{i+1} - h_i < 10^{-3}$.

- **Application pour notre projet :**

Pour le bassin versant N°15

$Q_s = Q_{max}$=5.623 m^3/s

- 0n prend : b =2,5m, après le calcul itératif on obtient h=2 m.
- Prenons h= 1.6 m (hauteur de remplissage).
- Pour la section du dalot les valeurs retenues sont : b = 2,5m et h=2 m

Alors Sm=4 m^2 ; Pm=5.7m ; Rh=0.7m.

$Q_{ps} = K_s * S_m * R_h^{2/3} * \sqrt{I}$ = 22.11m^3/s $\longrightarrow$ Hc=0.71 m <0.8h, la condition est vérifiée.

$V_{ps} = \frac{Q_{Ps}}{S_m} \longrightarrow V_{ps} = \frac{22.11}{4} \longrightarrow V_{ps}$ =5.53 m/s.

$R_q = \frac{Q_{max}}{Q_{ps}}$ =0.260 (du tableau Rv= 0.84 et Rh= 0.349) $\longrightarrow$ V= Rq*Vps =1.44 m/s.

- Le tableau ci-dessous montre la vérification des conditions d'auto-curage :

Tableau VI.15 : Vérification des conditions d'auto-curage (BV N°15)

Les conditions	*Les vérifications*	R_q	R_v	V
1	*1m/s < V< 4m/s*	*0.260*	*0.84*	*0.349*
2	*$Q=0.1\ Q_{ps}$ V> 0.6 m/s*	*0.1*	*0.638*	*3.53*
3	*$Q=0.01\ Q_{ps}$ V >0.3 m/s*	*0.01*	*0.32*	*1.77*

- **Les conditions d'auto-curage du BV N°15 sont vérifiées.**

Tableau VI.16 : Calculs récapitulatifs des ouvrages dalots de notre projet

N° Bv	*Pk*	*Débit Q (m^3/s)*	*Pente m/m*	*Ks*	*H Calculée*	*Dalot h×b*	*Qps (m^3/s)*	*Vps (m/s)*	*Rq*	*Hc*
6	***41+757***	*2.350*	*0.010*	*70*	*0.69*	*1.5×1*	*4.2*	*3.5*	*0.560*	*0.75*
10	***43+620***	*9.286*	*0.010*	*70*	*1.57*	*2× 1.5*	*10.73*	*4.47*	*0.865*	*0.79*
11	***43+820***	*3.662*	*0.01*	*70*	*0.9*	*1.5×1*	*4.20*	*3.50*	*0.873*	*0.75*
12	***44+042***	*9.782*	*0.010*	*70*	*1.62*	*2×2.5*	*22.11*	*5.53*	*0.442*	*0.71*
14	***44+761***	*69.52*	*0.15*	*70*	*2*	*8×4*	*1061.2*	*41.45*	*0.066*	*0.92*
15	***45+043***	*5.753*	*0.010*	*70*	*1.18*	*2×2.5*	*22.11*	*5.53*	*0.260*	*0.71*
16	***45+402***	*7.319*	*0.010*	*70*	*1.36*	*2×2.5*	*22.11*	*5.53*	*0.331*	*0.71*
25	***47+888***	*29.74*	*0.05*	*70*	*1.83*	*4 ×3*	*152.39*	*15.87*	*0.113*	*1.20*
27	***48+441***	*10.62*	*0.010*	*70*	*1.70*	*3× 1.5*	*17.35*	*4.82*	*0.612*	*0.92*
29	***49+216***	*5.594*	*0.010*	*70*	*1.09*	*4 × 3*	*68.15*	*7.10*	*0.082*	*0.92*
30	***49+624***	*5.794*	*0.010*	*70*	*1.18*	*2×2.5*	*22.11*	*5.53*	*0.262*	*0.71*
31	***52+400***	*14.65*	*0.009*	*70*	*2*	*2× 3*	*26.88*	*5.60*	*0.545*	*0.67*

Tableau VI.17 : Vérifications des conditions d'auto-curage des ouvrages dalots de notre projet

		Les conditions d'auto-curage					*Les conditions d'auto-curage*		
N° Bv	*Pk*	*1<V<4*	*V>0.6*	*V>0.3*	*N° Bv*	*Pk*	*1<V<4*	*V>0.6*	*V>0.3*
6	***41+757***	*1.96*	*2.23*	*1.12*	***16***	***45+402***	*1.83*	*3.53*	*1.77*
10	***43+620***	*3.87*	*2.85*	*1.43*	***25***	***47+888***	*1.79*	*10.13*	*5.08*
11	***43+820***	*3.05*	*2.23*	*1.12*	***27***	***48+441***	*2.95*	*3.08*	*1.54*
12	***44+042***	*2.45*	*3.53*	*1.77*	***29***	***49+216***	*0.58*	*4.53*	*2.27*
14	***44+761***	*2.72*	*26.45*	*13.27*	***30***	***49+624***	*1.45*	*3.53*	*1.77*
15	***45+043***	*1.44*	*3.53*	*1.77*	***31***	***52+400***	*3.05*	*3.57*	*1.79*
Conditions Vérifiées									

- Voici ci-dessous la liste des ouvrages hydraulique projetés dans notre tracé :

Tableau VI.18 : La liste des ouvrages projetés

Pk	*Q(m^3/s)*	*Ouvrage projeté*	*Dimensions*	*Observation*
40+146	*2.114*	*Buse*	*Ø1500*	*Nouveau OH*
40+298	*2.738*	*Buse*	*Ø1500*	
40+625	*2.219*	*Buse*	*Ø1500*	
41+287	*2.757*	*Buse*	*Ø1500*	
41+575	*2.678*	*Buse*	*Ø1500*	
41+757	*2.350*	*Dalot*	*(1.5× 1)*	*Extension des OH existants*
42+180	*3.264*	*Buse*	*Ø1500*	*Nouveau OH*
43+620	*9.286*	*Dalot*	*(2×1.5)*	
43+820	*3.662*	*Dalot*	*(1.5×1)*	*Extension des OH existants*
44+042	*9.782*	*Dalot*	*(2×2.5)*	*Nouveau OH*
44+431	*3.972*	*Buse*	*Ø1500*	
44+761	*53.83*	*Dalot*	*(8× 4)*	
45+043	*5.753*	*Dalot*	*(2×2.5)*	
45+402	*7.319*	*Dalot*	*(2×2.5)*	
45+782	*4.482*	*Buse*	*Ø1500*	
45+967	*3.269*	*Buse*	*Ø1500*	
46+084	*3.269*	*Dalot*	*(1.5× 1.5)*	*Extension des OH existants*
46+211	*4.141*	*Dalot*	*(1.5× 1.5)*	
47+888	*17.18*	*Dalot*	*(4× 3)*	*Nouveau OH*
48+071	*3.715*	*Buse*	*Ø1500*	
48+441	*10.617*	*Dalot*	*(3× 1.5)*	
48+741	*3.285*	*Buse*	*Ø1500*	
49+216	*5.594*	*Dalot*	*(4×3)*	*Extension des OH existants*

49+624	*5.794*	*Dalot*	*(2×2.5)*	*Nouveau OH*
51+180	*5.794*	*Dalot*	*(2× 1.5)*	*Extension des OH existants*
52+400	*14.655*	*Dalot*	*(2× 3)*	

- **Cas particulier de notre projet :**

Notre projet inclut des zones inondables, s'étendant entre PK 40+075 et PK 41+403, ce qui requiert la mise en œuvre des mesures suivantes :

- Il est nécessaire de procéder à un profil en remblai.
- Ajouter des buses d'équilibre.
- Il est recommandé de prévenir les inondations en utilisant des enrochements latéraux ou des pierres, ainsi que de mettre en place un dispositif anti-contaminant entre le corps du remblai et les enrochements, en plus on utilise le géotextile entre les matériaux d'enrochement et les couches qui constituent le remblai.

IV.2. Dimensionnement des ouvrages longitudinaux :

Les ouvrages longitudinaux sont des structures élaborées afin de suivre le flux de l'eau le long des voies et d'assurer un bon drainage, cela contribue à la stabilité des terrains.

IV.2.1. Fossés :

Les zones en déblais seront équipées de fossés afin de collecter et de drainer les eaux de ruissellement.

On peut déterminer le calcul hydraulique des fossés par la formule de Manning Strickler :

La formule	***Les paramètres***
$Q_s = K_s * S_m * R_h^{2/3} * \sqrt{I}$	K_s *: coefficient de rugosité (pour les fossés consolises revêtement en béton grossier= 70).* S_m: *(b+z.h) *h* P_m *: b+2h.*$\sqrt{1+z^2}$ R_h *:* S_m / P_m *z : la pente des berges.*

- Voici les hypothèses pour le dimensionnement :
  - La déclivité longitudinale des fosses en zone de déblai est identique à celle du profil en long de la voie
  - Un profil trapézoïdal avec une pente de talus (H/V)
  - Le débit à évacuer est la somme des 2 débits, la plateforme, les bermes et les talus :

- Le calcul des débits se fait dans le cas le plus défavorable, ou il y'a un remblai ou un déblai qui s'étend une grande longueur avec une hauteur importante.
- Chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle :

La formule	*Les paramètres*
Q= 0. 278.Cr. I. A	***Q :*** *débits de crue correspondant au bassin versant, avec une période de retour T(m3/s).* ***C :*** *le coefficient de ruissèlement.* ***I :*** *l'intensité de pluie (mm/h).* ***A :*** *la surface du BV considérer : la plateforme/le talus (Km².)*

- **Application sur notre projet :**

Le dimensionnement des systèmes de drainages longitudinaux est calculé pour une période de retour de 50 ans. (**a= 31.9 et b=0.63**).

Tableau VI.19 : Les caractéristiques du remblai et déblai

Cas	*Remblai*	*Déblai*
Longueur (m)	*1462.12*	*290.52*
Hauteur du talus (m)	*6.3*	*6.2*
Largeur de la plate-forme(m)	*6.8*	*6.8*

Tableau VI.20 : Calcul du débit évacuer dans le cas de remblai et déblai

	Plateforme					
Cas	***Cr***	***P(m/m)***	***A (km^2)***	***Tc (h)***	***I(mm/h)***	***Qpf (m^3/s)***
Remblai	***0.7***	***0.04***	***0.0099424***	***0.063***	***182.06***	***0.35***
Déblai	***0.7***	***0.04***	***0.0019755***	***0.028***	***301.93***	***0.12***
	Talus					
Remblai	***0.5***	***3/2***	***0.00736056***	***0.009***	***624.86***	***0.64***
Déblai	***0.5***	***3/2***	***0.00699318***	***0.009***	***635.02***	***0.62***
	Q_{tot}(m3/s)					
	Remblai	***0.99***	***Déblai***	***0.74***		

Les dimensions retenues pour les fosses sont celles qui respectent la condition suivante :

Qa<Qs.

- Dimensionnement du fossé :

Q=Qtot (remblai)

$$h=\left(\frac{Q}{Ks*b*\sqrt{I}}\right)^{3/5}\times\frac{\left(b+2*h*\sqrt{1+z\hat{}2}\right)}{b+z*h}^{2/5}$$

Tableau VI.21 : Les dimensions du fossé

B	*H*	*Z*	*Sm (m^2)*	*Pm (m)*	*Rh (m)*	*Ks*	*I (m/m)*	*Q(m^3/s)*
0.5	*0.4*	*1.5*	*0.44*	*1.94*	*0.37*	*70*	*0.01*	*1.14*

Donc : Qa=0.99m^3/s<Qs=1,14m^3/s

Dans notre projet, les caractéristiques des fossés adoptés sont :

Hauteur : h= 0.5 m / Base : b= 0.5 m / pente : P= 1H/1V

V. Conclusion :

Dans le cadre de notre projet on a pu approfondir une étude hydrologique et hydraulique par le calcul du débit, le dimensionnement des infrastructures hydrauliques pour garantir la sécurité et la durabilité de notre projet ferroviaire tout en préservant les ressources en eau.

CHAPITRE VII : Étude Géologique et Géotechnique

I. Introduction :

L'étude géotechnique et géologique c'est la science qui étudie les caractéristiques physiques et mécaniques du sol pour l'évaluation des risques naturels afin de garantir la stabilité de futurs projets, pour assurer tout cela il est indispensable de réaliser des essais au laboratoire et en in-situ, ainsi de faire une analyse des données recueillie.

Ces études permettent de traiter les obstacles rencontrés des différentes sections, ce qui orientera toutes les décisions de conception. Ainsi ces données nous offrent la possibilité d'évaluer la perméabilité, la capacité portance du sol, la résistance à l'érosion ainsi que d'autres facteurs qui ont une relation avec notre projet.

II. Étude géologique :

L'étude géologie a pour objet d'analyser les caractéristiques géologiques du terrain sur lequel la voie ferrée sera construite. Cette étude vise à ajuster le tracé de la voie en fonction du terrain naturel afin de réduire les volumes des terrassements. L'objectif de cette étude est d'évaluer la composition du sol, la stabilité géologique et les risques naturels.

II.1. Le relief :

La zone étudiée se situe à 35 Km de Guelma et à 52 Km de Annaba, son relief est principalement composé de montagne (presque 75 %), oued Seybouse traverse la région, les massifs forestiers de ses montagnes, tels que les forêts de Beni Salah et D'Ain Ben Beida (une partie de Houara à l'Ouest) sont entourées de cette région. Le tracé traverse des formations secondaires, tertiaires et quartenaires, composées principalement de sables, argiles, graviers et terrasses alluvionnaires des oueds (oued Seybouse).

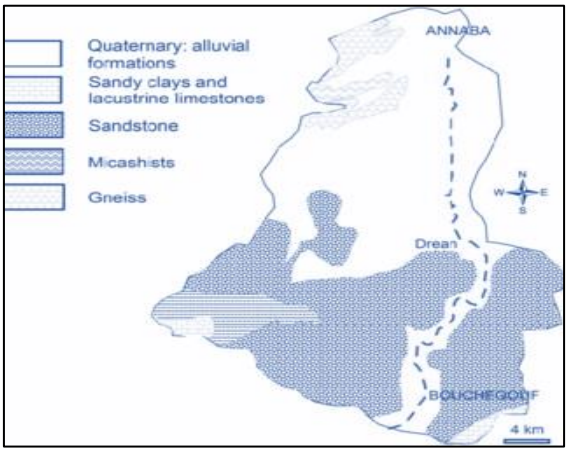


Figure VII.1: Carte des structures géologiques[25]

II.2. La sismicité :

Selon les règles parasismiques algériennes (RPA 1999/Addenda) éditées par le centre de génie parasismique CGS, la wilaya Guelma est classée dans la zone sismique moyenne « **Zone II a** ».

Le document technique règlementaire divise le territoire national en quatre zones de sismicité croissante, définies comme suit :

[25] https://www.researchgate.net/figure/Schematic-geological-map-of-the-study-area-Debieche-2002_fig1_371465003?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InByb2ZpbGUiLCJwYWdlIjoicHVibGljYXRpb24ifX0

- **Zone 0 :** sismicité négligeable.
- **Zone I :** sismicité faible.
- **Zone II a et II b :** sismicité moyenne
- **Zone III :** sismicité élevée.

Les constructions sont classées en fonction de leur niveau minimal de protection sismique, qui varie en fonction de leur situation et de leur importance pour les objectifs établis, conformément aux règles parasismiques algériennes RPA99/2003. Les quatre types de catégories sont :

- **Groupe 1A :** ouvrages d'importance vital.
- **Groupe 1 B :** ouvrages de grande importance.
- **Groupe 2 :** ouvrages courants ou d'importance moyenne.
- **Groupe 3 :** ouvrages de faible importance.

Les coefficients d'accélérations à considérés pour les calculs selon le type de l'ouvrage sont affiches dans le tableau suivant :

Tableau VII.1 : Coefficient d'accélération A

	Zone			
Groupe	***I***	***II a***	***II b***	***III***
1A	*0.15*	***0.25***	*0.30*	*0.40*
1B	*0.12*	*0.20*	*0.25*	*0.30*
2	*0.10*	*0.15*	*0.20*	*0.25*
3	*0.07*	*0.10*	*0.14*	*0.18*

Dans notre projet on prend un coefficient d'accélération **A =0.25**.

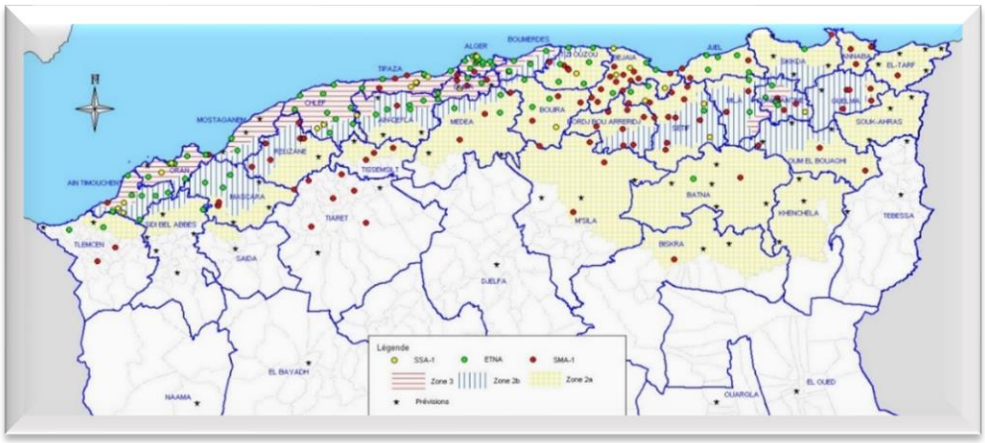


Figure VII.2 : Carte de zonage sismique[26]

[26] http://www.cgs-dz.org/images/reseau-national-d-accelerographes-final-avec-zone.jpg

II.3. Les unités géologiques de notre tracé :

Selon la carte géologique de la wilaya de Annaba et Guelma à l'échelle 1/500000, on a déterminé les différentes formations géologiques traversées par la voie. Il sera nécessaire d'analyser de manière plus approfondie lors de l'étude géotechnique afin de prendre les mesures adéquates pour la conception de la voie.

- Voici ci-dessous la géologie traversée par notre tracé :

TableauVII.2 : La géologie du tracé

Pk	***Début***	***40+000***	***41+500***	***43+500***	***44+600***	***44+650***	***45+000***
	Fin	***41+500***	***43+500***	***44+600***	***44+650***	***45+000***	***45+300***
Unité géologique		*a2*	$e^3{}_b$	$e^3{}_a$	*q1*	*a2*	*q'*

Pk	***Début***	***45+300***	***46+500***	***48+500***	***50+500***	***51+000***
	Fin	***46+500***	***48+500***	***50+500***	***51+000***	***53+000***
Unité géologique		$e^3{}_a$	$e^3{}_b$	q^1	*a2*	*q1*

- Tels que :

- a2: alluvion de la base Terrace.
- $e^3{}_{a:}$ argile numidienne priabonien.
- q^1 : alluvion de la moyen Terrace.
- $e^3{}_{b:}$ grés numidiens oligocène.
- q' : alluvion de la moyen Terrace.

III. Étude géotechnique :

L'étude de la géotechnique a pour objectif de définir les différentes couches en déterminant de manière précise les caractéristiques physiques et mécaniques des sols.

Afin de garantir une réalisation efficace d'un projet ferroviaire, il est crucial que les terrains traversés nécessitent une initiation, cela rend les recherches géotechniques indispensables.

III.1. Programme d'investigation géotechnique :

Après avoir examiné le tracé projeté de la voie, nous proposons notre plan d'investigation le long de la ligne ferroviaire Annaba -Bouchegouf dont les objectifs suivants :

- **Lot tracé :**

Le choix de la structure d'assise implique la connaissance du sol et de ses caractéristiques géotechniques et morphologiques. Cela permet de calculer la portance du sol et d'estimer l'utilisation du sol en remblais.

- **Lot ouvrage :**

Le programme analyse les sols pour identifier les fondations adéquates pour les ponts, en prenant en considération les propriétés des sols.

- **Lot tunnel :**

Le programme d'investigation des tunnels se base sur plusieurs critères et plusieurs essais afin de classifier le sol selon :la classification RMR, AFTES, la résistance de la roche.

III.1.1. Essais in situ :

Les essais in situ sont des analyses physiques effectuées sur le terrain afin d'évaluer les propriétés des sols et des roches avant toute construction en surface ou en profondeur.

III.1.1.1. Puits de reconnaissance : sont des excavations pour prélever les échantillons du sol qui nous permettent de détecter les différentes couches du terrain, leurs stabilités, les contraintes qu'elles peuvent avoir sur les soutènements.

III.1.1.2. Sondages carottés : sont des méthodes géotechniques de forage qui consistent à extraire des carottes de sol à partir d'un trou creusé, sont ensuite utilisé pour étudier les caractéristiques mécaniques et géologiques du sol.

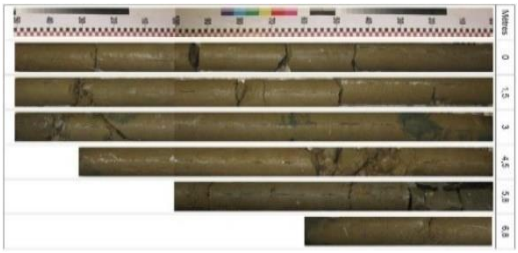


Figure VII.3 : Les carottes[27]

III.1.1.3. Pénétromètre dynamique lourd : c'est un essai qui permet de déterminer la résistance en renforcent dans le sol par battage un ensemble de tiges avec une pointe à l'extrémité.



Figure VII.4 : Pénétromètre dynamique lourd[28]

III.1.1.4. Sondages pressiométriques : permet d'évaluer la résistance et la déformabilité d'un sol en fonction de leur position, par l'application d'une pression sur la paroi d'un forage en utilisant une sonde dilatable, puis on mesure la déformation du terrain en fonction de la pression exercée.

- Les essais in situ du programme d'investigation (sondages pressiométriques et pénétromètre dynamique lourd) de notre tracé sont représentés dans l'Annexe D-1.

[27] https://www.researchgate.net/figure/Exemple-de-sondage-carotte-0-a-7-40-m-dans-le-cadre-du-suivi-a-2-ans-de-lecran_fig3_362791754
[28] https://www.apageo.com/penetrometre-dynamique-lourd-apafor-100

III.1.2. Essais de laboratoire :

Le laboratoire nous permet de réaliser des essais sur les échantillons prélevés. Ces essais sont les suivants :

III.1.2.1. Les analyses chimiques : c'est la réalisation de plusieurs essais dans le but d'évaluer la qualité du sol, définir la composition chimique afin de garantir une gestion durable et efficace des terres agricoles.

III.1.2.2. Les essais d'identification : (granulométrie, sédimentométrie, limite d'Atterberg, la densité, la teneur en eau, indice de bleu VBS) sont des essais réalisés en laboratoire qui permettent de classer les sols, d'évaluer leurs caractéristiques, de définir le modèle géotechnique et d'améliorer la conception des constructions en fonction des contraintes du terrain.

III.1.2.3. Les essais mécaniques : (œdométriques, Proctor modifié)

La réalisation d'essais mécaniques permet de caractériser de manière précise les caractéristiques du sol, d'évaluer leur comportement sous contraintes, de confirmer les hypothèses de calcul et d'optimiser la conception des ouvrages géotechniques.

III.2. Les résultats des essais réalisés :

Les tableaux suivants montrent les résultats des différents essais réalisés :

Tableau VII.3 : La lithologie des puits de reconnaissances

N° Pu	*PK*	*Nature de lithologie*	*Prof (m)*
			De – a
1	*Pk 40+600*	*Argile légèrement sableuse*	*1.00-4.00*
2	*PK 41+ 350*	*Galets de grès dans une matrice argilo sableuse*	*0.3- 4.00*
3	*PK 43+ 850*	*Argile limoneuse, graveleuse, présence de concrétions carbonatées peu plastique et humide de couleur jaunâtre.*	*0.30-4.00*
4	*PK 46+ 592*	*Argile limoneuse, raide, a traces d'oxydation et marmorisation, avec présence de blocs de grès ayant produit refus a 2,40m.*	*0.5-2.4*
5	*PK 48+075*	*Limoneuse, très caillouteuse, avec présence de blocs ayant produit refus a 1,50m.*	*0-1,5*
6	*PK 48+ 250*	*Argile limoneuse, raide, avec présence de cailloux ayant produit refus a 2,20m.*	*0.8-2.2*

7	***PK 48+ 400***	*Argile limono-sableuse, très raide, à traces d'oxydation et marmorisation, ayant produit refus à 1,50m*	*0.8-1.5*
8	***PK 48+ 404***	*Argile limoneuse, graveleuse, présence de concrétions carbonatées légèrement plastique.*	*0.5-4.00*
9	***PK 48+ 740***	*Argile limono-sableuse, brunâtre a beige, ayant produit refus a 1,40m.*	*0.7-1.4*
10	***PK 48+ 562***	*Limon argilo-sableux, brun fonce à marron, très raide, ayant produit a 2,0m.*	*0-2*
11	***PK 49+ 164***	*Alluvion limoneuse, a gros blocs de grès, ayant produit refus a 1,40m.*	*0-1.4*
12	***PK 49+ 567***	*Argile légèrement sableuse avec intercalation de grès.*	*1.00-4.00*
13	***PK 49+613***	*Limon argileux, brun foncé, ayant produit refus a 2.70 m*	*0-2.70*
14	***Pk 50+400***	*Argile limoneuse, graveleuse, présence de concrétions carbonatées légèrement plastique et humide, de couleur brunâtre*	*0.50-4.00*
15	***PK 52+460***	*Argile sablo graveleuse*	*0.80-4.00*

III.3. Les unités géotechniques :

Les unités géotechniques ont été sectionnées en fonction de la nature du sol et de la formation géologiques, ainsi que les résultats obtenus au laboratoire et in situ. Les unités sont les suivantes :

- **Unité 1 :** colluvion dans une matrice argilo limoneuse.
- **Unité 2 :** argile limoneuse, argile graveleuse, argile sableuse, argile, limon argilo sableux.
- **Unité 3 :** sable, sable argileux.
- **Unité 4 :** Alluvion.
- **Unité 5 :** Galets de grès a des blocs de grès à matrice sableuse (complexe alluvionnaire).
- **Unité 6 :** passage caillouteux (galet et fragment de grès).
- **Unité 7 :** grès, alternance d'argile, marne et grès, marne (formation de Numidie).

Tableau VII.4 : Résume des résultats des essais de laboratoire réaliser sur les échantillons des puits de reconnaissances

N° PU	PK	Prof (m)	w_n %	Analyse granulométrique			Densité	Limite d'Atterberg %			Essai Proctor		VBS	Analyse chimique	GTR		UIC
				<2 mm	<0.08 Mm	<50m m		WL	Wp	Ip	δd_{opm} t/m3	w_{opm} (%)					
1	**40+600**	4	9	99	70.27	/	1.72	37.44	15.6	21.83	1.96	9.8	2.33	/	A1	A1m	QS1
2	**41+ 350**	4	11	65	22.68	/	1.62	43.34	21	22.34	2.05	8.9	1.5	/	B5	B5h	QS0
3	**43+ 850**	4	14	92.8	63.20	/	1.72	43	25	19	1.91	12	4.66	1.73	A2	A2h	QS0
4	**46+ 592**	4	16	96	66	46	1.77	36	17	19	1.62	11.6	2.56	/	A2	A2th	QS0
5	**48+075**	4	5	88	34	16	1.82	16	12	4	1.96	9.3	0.37	/	B5	B5ts	QS2
6	**48+ 250**	4	12	91	71	41	1.81	33	12	21	1.8	12.2	1.13	/	A1	A1m	QS1
7	**48+ 400**	4	10	97	61	29	1.87	29	13	16	1.82	12.31	1.97	/	A1	A1s	QS1
8	**48+ 404**	4	12	93.5	58.8	/	1.67	29	19	10	1.77	10	2.07	1.83	A1	A1h	QS0
9	**48+ 740**	4	13	99	83	41	1.87	36	13	23	1.74	13.68	1.4	/	A2	A2m	QS1
10	**48+ 562**	4	9	97	54	27	1.79	25	8	17	1.87	10.47	1.4	/	A1	A1m	QS1
11	**49+ 164**	4	3	99	19	5	1.58	Non mesurables			/	/	0.2	/	/	/	/
12	**49+ 567**	4	22	33	24.6	53	/	43.34	21	22.34	2.19	6.2	4	/	A2	A2th	QS0
13	**49+ 613**	4	24	100	88	35	1.21	31	13	18	1.96	14.4	2	/	A1	A1th	QS0
14	**50+ 400**	4	27	99.5	71	/	1.54	32	20	12	1.85	8	2.33	1.94	A1	A1th	QS0
15	**52+ 460**	4	29	22	70.68	/	1.68	40.20	22	18.2	1.86	14.10	3.86	/	A2	A2th	QS0

Tableau VII.5 : Résume des résultats des essais de laboratoire réaliser sur les échantillons des sondages carottés

N° sc	PK	Prof (m)	w_n (%)	Niveau Piéz	Densité (t/m^3)		Limite d'Atterberg			Analyse Granulométrie (%)			Cisaillement CD		Rc (bar)	Œdomètre			GTR
					δd	δh	WL	Wp	Ip	<2 mm	<0.08mm	<0.02mm	C (bar)	Φ (°)		Pc (bar)	Cc (%)	Cg (%)	
1	**40+013**	2.74	20	/	1.62	1.95	35	7	28	100	83	37	0.31	23.7	/	/	/	/	A3
2	**40+013**	9.4	/	/	2.52	/	/	/	/	/	/	/	/	/	145.6	/	/	/	/
3	**42+200**	7	/	/	1.68	/	/	/	/	/	/	/	/	/	76.9	/	/	/	/
4	**42+223**	4.1	16	6.45	1.76	2.05	43	21	22	100	96	71	0.07	23.4	/	1.63	18.6	3.6	A2
5	**42+223**	9.45	1	8.6	2.42	2.45	/	/	/	/	/	/	/	/	1251.6	/	/	/	/
6	**42+223**	10.3	/	/	2.46	/	/	/	/	/	/	/	/	/	646.3	/	/	/	/
7	**42+223**	13.9	11	/	2.05	2.28	/	/	/	/	/	/	/	/	2.5	/	/	/	/
8	**42+300**	3	/	/	/	/	26	10	16	89.2	49.98	0.989	/	/	/	/	/	/	A2
9	**42+300**	7.4	14.7	/	1.79	2.05	51	27	24	100	98.8	1.98	/	/	0.44	/	/	/	A2
10	**42+300**	12.7	17.5	10.2	1.83	2.16	50	28	22	97.9	96.8	1.916	/	/	0.14	/	/	/	A2
11	**42+300**	16	8.9	/	2.04	2.22	46	29	17	99.34	98.3	1.945	/	/	22	/	/	/	A2
12	**42+750**	2	20.37	/	1.72	20.9	53.7	25.9	28	98	70.06	12	0.39	35.3	/	0.04	0.19	0.045	A3
13	**42+750**	4.45	18.86	/	1.75	2.09	46.8	24.7	22	94	87.34	/	0.38	25.76	/	0.02	0.12	0.042	A2
14	**42+750**	6	18.03	/	1.67	1.98	49.9	24.1	26	99	81.99	14	0.59	20.58	/	0.01	0.18	0.059	A3
15	**43+130**	4.75	17.3	/	1.8	2.11	54	21	33	99.2	98.2	1.943	0.13	15	/	0.38	0.19	0.6	A3
16	**43+130**	5.8	17.1	9.85	1.87	2.09	49	24	25	98.9	97.9	7.75	0.12	27	/	/	/	/	A2
17	**43+130**	9	16	/	1.79	23.1	47	25	22	99.9	98.9	13.7	0.71	26	/	0.22	0.27	0.043	A2
18	**43+130**	17.8	15.3	/	1.79	2.17	39	14	25	98.8	91.1	1.8	0.23	27	/	0.53	0.1	0.31	A3
19	**43+130**	20.4	11.5	/	1.88	2.34	41	19	22	93.3	72.8	1.44	0.27	29	/	/	/	/	A2
20	**44+850**	3.4	13	/	2.10	2.2	29	14	15	97	62	36	0.22	24.6	/	1.73	12.3	1.3	A2
21	**44+850**	13.6	19	9.05	1.95	2.1	38	21	17	93	85	36	/	/	/	2.9	17.3	6.5	A2
22	**44+763**	1.3	15.88	/	1.76	2.14	26.6	12.1	15	41	12.6	2.5	0.29	19.09	/	0.02	0.06	0.013	B6
23	**44+763**	3.4	/	/	1.85	/	/	/	/	29	18.36	9	/	/	/	/	/	/	/
24	**44+789**	3.6	12	/	/	1.70	Non mesurables			70	13	7	/	/	/	/	/	/	/
25	**45+400**	2.7	/	/	1.52	/	27.9	13.2	14	99	31.51	5	/	/	66	/	/	/	B6
26	**45+400**	5.9	18.53	4.80	1.68	2.12	49.9	24	26	99	90.16	14	0.6	20.63	/	0.02	0.24	0.041	A3
27	**46+875**	4	15.4	/	1.79	2.17	32	17	15	99.22	65.5	1.237	0.53	24	/	0.64	0.09	0.035	A2
28	**47+663**	2.5	/	6.9	1.88	/	16.41	10.4	6	37	8.61	1.8	/	/	/	/	/	/	B4
29	**47+663**	5	26.02	/	1.67	1.85	38.06	22	16	72	59.85	/	0.56	18.36	/	/	/	/	A2
30	**47+663**	7.7	10.65	/	1.47	13.8	49.82	24.5	25	84	70.92	12	0.63	21.88	/	0.02	0.17	0.047	A3
31	**48+000**	2.4	12	/	1.97	2.15	30	10	20	96	60	19	0.22	25.7	/	0.6	23.9	1	A2
32	**48+000**	4	/	/	1.91	/	/	/	/	/	/	/	/	/	564.5	/	/	/	/
33	**52+470**	1	/	/	2.5	/	38	20	18	96.6	78.8	15.6	/	/	/	/	/	/	A2
34	**52+450**	2	16.8	5.6	/	2.11	32	17	15	94.18	48.43	0.985	/	/	/	/	/	/	A2
35	**52+450**	3	/	/	1.8	/	41	24	17	56.7	44.5	14.9	/	/	/	/	/	/	A2

Tableau VII.6 : Analyse chimique du sondage carotté

N° sondage Carotté	Gypse %	Chlorure	Caco3 %	MO%	Sulfate %	Ph
1	/	0.07	32.6	4.6	33.37	/
2	/	/		/	/	/
3	/	0.31	8.4	1.83	Traces	/
4	/	0.25	/	2.3	20.19	8.1
5	/	/	/	/	/	/
6	/	/	/	/	/	/
7	/	/	/	/	/	/
8	/	/	/	/	/	/
9	Traces	0.35	7.61	5	/	/
10	/	/	/	/	/	/
11	/	/	/	/	/	/
12	/	0.35	12.8	1.88	Traces	/
13	/	/	/	/	/	/
14	/	/	/	/	/	/
15	Traces	0.11	14.42	4.2	/	/
16	/	/	/	/	/	/
17	/	/	/	/	/	/
18	/	/	/	/	/	/
19	Traces	0	23.07	0.8	/	/

N° sondage Carotté	Gypse %	Chlorure	Caco3 %	MO%	Sulfate %	Ph
20	/	0.18	/	1.6	24.31	8.3
21	/	0.21	/	4	30.08	7.7
22	/	0.28	1.4	1.36	Traces	/
23	/	/	/	/	/	/
24	/	0.39	/	0.9	31.72	7.9
25	/	0.24	0.4	2.4	Traces	/
26	/	/	/	/	/	/
27	Traces	0.23	9.9	2.8	/	/
28	/	0.31	6.4	2.19	Traces	/
29	/	/	/	/	/	/
30	/	/	/	/	/	/
31	/	0.07	2.2	3	38.73	/
32	/	/	/	/	/	/
33	Traces	0.17	13.46	1.2	/	/
34	/	/	/	/	/	/
35	/	/	/	/	/	/

III.4. Interprétation des résultats :

Tableau VII.7 : Interprétation des résultats

	Valeurs	*Interprétations*
w_{opm} (%)	1 - 26.02	*Le sol présente des zones plutôt sèches et des zones humides, ce qui peut avoir un impact sur la nature du sol.*
Densité (t/m^3)	δd :1.47 – 2.52 δh :1.7 – 23.08	*Le degré de densité du sol varie de faible à très dense, ce qui a un impact sur sa résistance et sa portance.*
Ip (%)	0 – 7	*4% du sol présent une faible plasticité.*
	7-17	*31% du sol possède une stabilité mécanique, ce qui le rend parfaitement adapté à différents types de projets.*
	17-30	*64 % de notre sol a une forte plasticité, qui va lui permettre de subir des déformations plus importantes en cas de contrainte.*
C (bar)	0.01-0.1	*Le sol présente une faible cohésion minimale.*
	0.1-1	*Le sol possède une cohésion moyenne, qui se caractérise par une bonne portance et une stabilité mécanique intermédiaire ce qui le rend un sol plus approprie au compactage.*
Φ (°)	15 – 35.3	*L'angle de frottement est élevé, ce qui permet au sol d'atteindre une stabilité mécanique et une résistance au glissement.*
Œdomètre	0.02<Cc<0.05	*Très faible quantité de sol très peu compressible.*
	0.05<Cc<0.1	*Faible quantité de sol peu compressible.*
	0.1<Cc<0.2	*Le sol est moyennement compressible.*
	0.2<Cc<0.3	*Une quantité très limitée de sol qui est assez fortement compressible.*
	0.5< Cc	*Le sol est extrêmement compressible.*
	Cg : 0.0133-6.5	*Le sol est peu gonflant à gonflant, il est susceptible de changer de volume en réponse d'humidité.*
VBS	0.2 – 4.66	*Le sol contient une quantité d'argile ce qui peut affecter ses propriétés mécaniques et sa réactivité aux changements d'humidité.*
Chlore	0.07 – 0.39	*Le chlorure a la capacité de corroder les métaux et de perturber la stabilité du sol.*

CaCo3	***0.4 – 32.6***	*Il est susceptible de réagir avec l'eau ce qui peut avoir un impact sur la réactivité du sol.*
MO (%)	***0-3***	*Sol inorganique qui présente une faible quantité de matière organique, ce qui le rend plus stable et plus drainant.*
	3-10	*Le sol présente un pourcentage très faible de matière organique.*
Sulfate	***20.19 – 38.73***	*Le sol renferme une quantité de sulfate, ce qui le rend extrêmement agressif.*
Ph	***7.7 – 8.3***	*Le sol représente un Ph légèrement basique, ce qui peut garantir une résistance et une cohésion solides, une bonne rétention d'eau et garantir la durabilité.*

- Selon les résultats des essais effectués, nous avons pu classer notre sol en fonction de GTR et UIC 719 R. Nous avons constaté que le sol de fondation est du classe QS1 et QS0, de ce fait le sol de fondation sera traité afin d'améliorer sa portance.

III.5. Conception des ouvrages en terre :

D'après le référentiel technique de l'SNTF (chapitre 7.2.2), les vérifications à effectuer dans le cas remblai sont les suivantes :

III.5.1. La vérification de la stabilité au poinçonnement :

Selon le un référentiel IN 03278 (tome 2 « ouvrage en terre »), pour assurer la stabilité des remblais au poinçonnement, il est essentiel d'obtenir facteur de sécurité supérieur F ≥1.5.

- Dans le cas des sols mous cohérents on a :

$$\mathbf{F}=\frac{\mathbf{q_{max}}}{\mathbf{q}}=\frac{Cu*Nc}{\gamma r*Hr}$$

D'où :

- Cu : cohésion non drainée du sol. (KPa)
- Nc : coefficient de portance.
- γ_r : poids volumique du remblai. (KN/m^3)
- H_r : hauteur du remblai (m).

- Voici ci-dessous un tableau récapitulatif des calculs :

Tableau VII.8 : Vérification de la stabilité au poinçonnement

PK	Hr (m)	γr (KN/m^3)	Largeur moyenne (m)	Cu	Epaisseur (m)	Coefficient Nc	F	Vérification F ≥1.5
44+150 au 45+575	6.3	19	29.07	25	7	6.39	1,33	1.33 ≥1.5 Non vérifier

- La stabilité au poinçonnement n'est pas vérifiée donc il faut une amélioration du sol de fondation.

III.5.2. La vérification de la stabilité la rupture par glissement :

Le calcul de la stabilité des constructions en terre est crucial pour garantir la sécurité à court et à long terme, en se basant sur les caractéristiques mécaniques et hydrogéologiques telles que le poids spécifiques (γ), la cohésion (C), et l'angle de frottements interne(Ǿ) de chaque couche.

Les facteurs de sécurité sont les suivants :

- ✓ Fs ≥ 1.5 cas statique.
- ✓ Fs ≥ 1.1 cas sismique.

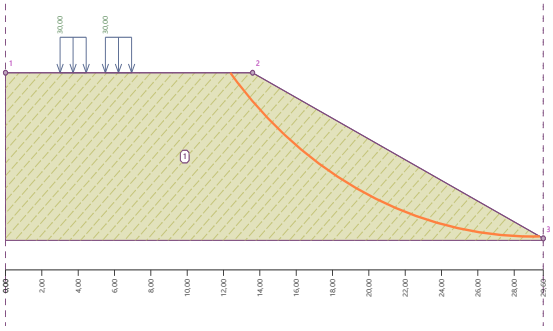
Dans notre projet on a utilisé logiciel **GEO 5.0 2020** afin de déterminer la stabilité des talus (pour le remblai PK45+425 H max = 6.3 m et un remblai au PK avec Hmax= 8 m, on adopte une pente de **3/2,2/1** pour le remblai, Déblai PK48+125 Hmax = 6.2 m, on adopte une pente de **3/2.** Pour plus de détail (voir l'annexe E).

- **Cas remblai :**

Les caractéristiques des couches :

Tableau VII.9 : les caractéristiques du sol en place

Matériaux	*γ*	*c*	*φ*
Remblai	19	5	30
Marne	21.2	60	20.63
Grès	20	50	40



FigureVII.5 : Stabilisation d'un remblai (statique)

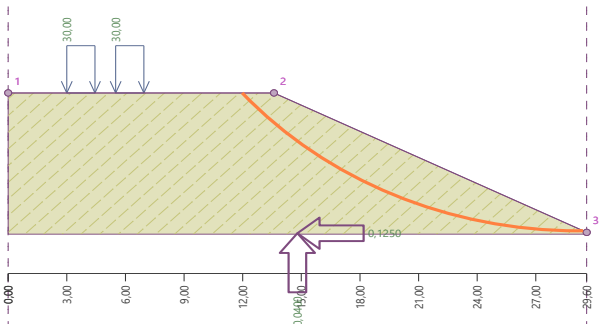


Figure VII.6: Stabilisation d'un remblai (sismique)

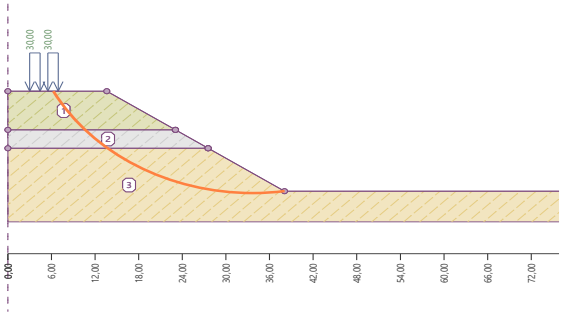


Figure VII.7: Stabilisation d'un remblai (statique)

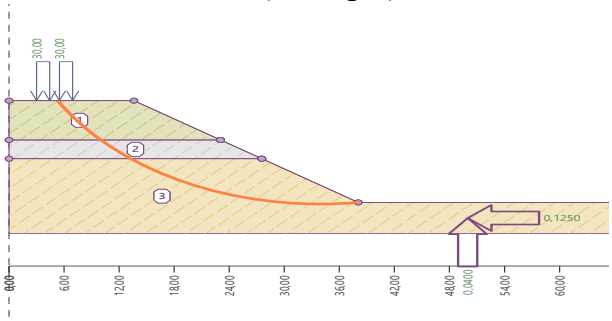


Figure VII.8 : Stabilisation d'un remblai(sismique)

La stabilité des talus a pour objectif de minimiser les risques dû au glissement ou d'affaissement, en mettant en évidence la résistance de l'ouvrage aux forces exercées.

➢ **Cas déblai :**

Les caractéristiques des couches :

Tableau VII.10 : les caractéristiques du sol en place

Matériaux	γ	c	φ
Argile limoneuse	23.51	29	21.5
Grés	21.68	31	25

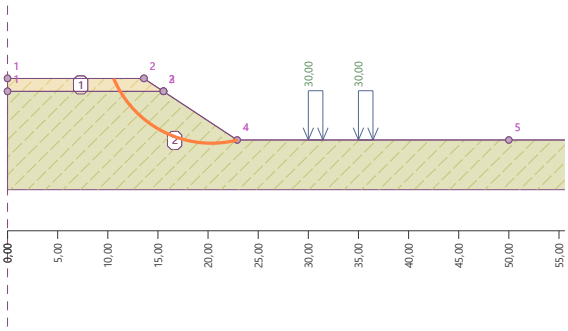


Figure VII.9: Stabilisation d'un déblai (statique)

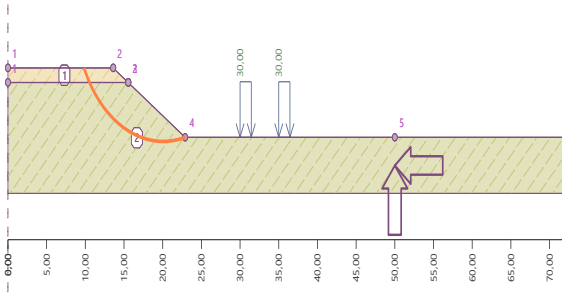


Figure VII.10: Stabilisation d'un déblai (sismique)

Tableau VII.11 : récapitulatif des pentes utilisées en remblai et en déblai

Remblai					***Vérification***
Cas	***PK***	***H***	***Pente***	***Fs***	Acceptable
Statique	45+425	6.3	3/2	1.76 ≥1.5	
	47+900	8	2/1	1.69≥1.1	
Sismique	45+425	6.3	3/2	1.43≥15	
	47+900	8	2/1	1.29 ≥1.1	
Déblai					
Cas	***PK***	***H***	***Pente***	***Fs***	
Statique	48+125	6.2	3/2	2.4≥1.5	
Sismique				1.94≥1.1	

III.5.3. Tassement :

Il est envisageable de procéder à une étude de sol afin d'évaluer l'importance du tassement des remblais, en particulier dans les zones compressibles. Il est donc nécessaire de prendre des mesures lors de l'étude afin d'assurer la stabilité et la durabilité des remblais.

- Observation :

D'après UIC 719 R 3-ème (page 23), les solutions adaptées sont les suivantes :

- ✓ Purge du sol support compressible.
- ✓ Mise en place des drains verticaux.
- ✓ Substitution par une couche de sol de meilleure qualité.
- ✓ Protection par des enrochements latéraux.

III.6. Agressivité du sol :

L'analyse des échantillons provenant des puits de reconnaissance et des sondages carottés révèle la présence de sulfates dans notre sol, avec un pourcentage très élevé entre 20.19 % et 38.73%, cela implique l'emploi d'un ciment spécifique appelé CRS (ciment résistant aux sulfates) pour la construction du béton des ouvrages (dans les zones agressives).

IV. Assise ferroviaires :

IV.1. Introduction :

La structure ferroviaire regroupe les différentes parties de l'assise ferroviaire qui assurent la circulation des trains, la stabilité et les performances du système ferroviaire dans son ensemble. Les différentes couches d'assises sont dimensionnées afin de déterminer les caractéristiques optimales de la plateforme.

IV.2. Les couches d'assise :

IV.2.1. Ballast :

C'est l'un des principaux éléments de construction de la voie ferrée et se réfère aux granulats concassés ayant une granulométrie comprise entre 25 et 50 mm, placés sous les rails et les traverses.

- Le ballast joue un rôle dans :

-La transmission des charges engendrées par le passage des trains.
-La stabilité des traverses et à la résistance aux déformations longitudinales.
- La protection du sol contre le gel.

- Les caractéristiques du ballast :

-Il est composé de pierres dures et solides de 25 à 50 mm.
-Il a une résistance à la compression Rc≥ 12 KN.
-Un coefficient de Micro Deval MDE ≤ 15.
-Un coefficient de Los Angeles LA ≤ 24.

IV.2.2. Sous couche :

La sous-couche occupe une position cruciale dans l'ajustement et la stabilité de la voie, elle constitue la couche intermédiaire entre la plateforme et le ballast, elle est composée de monocouches et de multicouches (couche de sous-ballast, couche de fondation). La sous-couche est inclinée de manière transversale de 3 à 5 %.

IV.2.2.1. Le rôle de la sous couche :

Le rôle de la sous-couche est crucial dans la réalisation de la voie ferrée, comme illustré ci-dessous.

- Meilleure amélioration de la portance et répartition des charges.
- Anticontamination entre la plateforme et la couche de ballast.
- Elle facilite le drainage des eaux.
- La protection contre l'érosion.

IV.2.3. Le géotextile :

Les géotextiles sont des matériaux perméables à l'eau, qui peuvent être utilisés pour diverses utilisations, comme le renforcement des structures et le drainage. Ces matériaux sont résistants et durables.

IV.3. La plateforme :

IV.3.1. Définition :

C'est la partie supérieure de la structure en terre qui accueille la sous-couche de la voie. Elle est essentiellement distinguée à garantir la stabilité et la solidité de la voie comme elle doit satisfaire à divers critères tels que la répartition des charges, l'évacuation d'eau la protection contre la pénétration du ballast par les limons et les argiles, l'amortissement des vibrations et le drainage des eaux souterraines.

IV.3.2. Classe de portance de la plateforme :

Les types des plateformes sont déterminés en fonction des caractéristiques des sols qui constituent le sommet des remblais ou des sols présents au niveau de la fondation de la plateforme en excavation. Ses caractéristiques comprennent l'état de l'eau des sols, ainsi que leurs niveaux d'humidité. D'après le code UIC 719R 3-ème Édition, ces critères permettent d'identifier les différentes classes de qualité des sols, ce qui entraîne une détermination de la classe de la plateforme.

Les types de la plateforme sont les suivantes :

P1 : plateforme médiocre / **P2 :** plateforme moyenne. / **P3 :** plateforme bonne.

IV.3.3. Classification des sols pour la plateforme :

La qualité de notre sol est influencée par la nature géologique et les conditions hydrogéologiques et hydrologiques.

Il est essentiel que le sol supérieur ne se trouve pas au-dessus d'une nappe phréatique naturelle, ainsi qu'une bonne utilisation des systèmes de drainage. Ces paramètres, nous aise à déterminer la qualité du sol.

La norme UIC 719R 3-ème Édition (page 78), nous permet de classifier le sol (voir l'annexe G).

Voici le tableau ci-dessous qui représente la classification du sol selon UIC :

Tableau VII.12 : Zonage de qualité de la plateforme

N° PU	PK	Classification			N° PU	PK	Classification		
		Classe GTR	Sous classe	UIC			Classe GTR	Sous lasse	UIC
1	**40+600**	A1	A1m	QS1	**9**	**48+ 562**	A2	A2m	QS1
2	**41+ 350**	B5	B5h	QS0	**10**	**48+ 740**	A1	A1m	QS1
3	**43+ 850**	A2	A2h	QS0	**11**	**49+ 164**	/	/	/
4	**46+ 592**	A2	A2th	QS0	**12**	**49+ 567**	A2	A2th	QS0
5	**48+075**	B5	B5ts	QS2	**13**	**49+ 613**	A1	A1th	QS0
6	**48+ 250**	A1	A1m	QS1	**14**	**50+ 400**	A1	A1th	QS0
7	**48+ 400**	A1	A1s	QS1	**15**	**52+ 460**	A2	A2th	QS0
8	**48+ 450**	A1	A1h	QS0					

IV.3.4. La plateforme proposée :

En considérant de ce qui a été dit précédemment, en particulier la classification de la qualité de sol Qs1, ainsi que la recommandation d'UIC 719 R 3-ème Édition (page 16), nous recommandons de choisir une plateforme du type P3 préalablement dimensionnée pour le type de sol Qs3.

Afin de répondre au besoin d'une plateforme de support de qualité P3 pour les matériaux Qs1, on a adopté une couche de forme pour une qualité de sol Qs3 sur une épaisseur de 50 cm.

IV.4. Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise :

La norme UIC 719R 3-ème Édition (page 30) nous permet de déterminer le dimensionnement des épaisseurs des couches d'assises. (Voir l'annexe H).

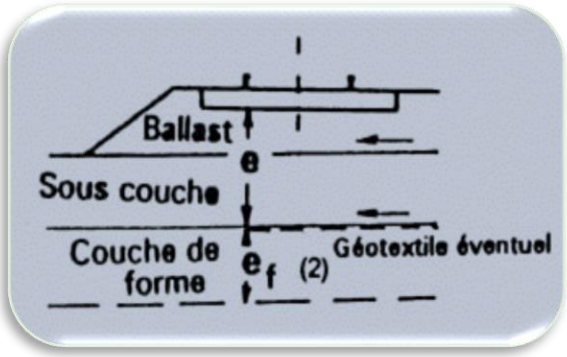


Figure VII.11: Épaisseurs des couches d'assises

- Pour notre projet nous avons adopté les valeurs suivantes :

Tableau VII.13 : Dimensionnement de la couche d'assise

La formule	***e ≥ E+ a + b + c +d+ f + g***	
Les paramètres	**Les valeurs(m)**	Critère de décision
E	**0.45**	Pour une plateforme P3
a	**-0.05**	Pour les lignes des groupes UIC 1 (La norme UIC 714 R)
b	**0.13**	Traverse en béton avec L=2.224 (m)
c	**0**	Pour un dimensionnement normal
d	**0.05**	Pour une charge de 225 KN
f	**0**	La ligne à une vitesse de 120 km/h < 160 km/h
g	**0**	Pas de géotextile en sol QS3

e ≥ E+ a + b + c +d+ f + g ⟹ e ≥ 0.45 -0.05 +0.13+0+0.05+ 0+ 0 **e ≥ 0.63 (m)**

On prend : e= 0.65 (m)

Tableau VII.14 : Les épaisseurs de la structure de la voie

La couche	L'épaisseur (m)
Le ballast	0.30
Le sous ballast	0.20
Couche de Fondation	0.15
Couche de forme (QS3)	0.50

V. Conclusion :

Grâce à l'analyse géologique et géotechniques nous avons pu acquérir une connaissance du sol et de traiter les risques tels que les zones inondables, alors il est essentiel que cette étude soit réalisée tout le long de la réalisation du projet ferroviaire, tout en garantissant la durabilité et la sécurité des projets ferroviaires. Ainsi nous avons examiné l'étude de la structure de la voie ferroviaire, cette dernière examine de manière précise les différentes couches qui seront soumises aux charges, le calcul des épaisseurs de ces couches vise à garantir la stabilité tout en respectant les normes d'UIC.

CHAPITRE VIII : Terrassement et Ouvrages

I. Terrassement :

I.1. Introduction :

Les terrassements comprennent une succession d'opérations de creusement, de déplacement et de dépôt de terre visant à modifier le profil d'un terrain, en revanche les ouvrages sont des structures qui facilitent la circulation, le maintien de la voie ferroviaire, cela englobe les viaducs, les ponts, les tunnels, et les murs de soutènement, qui sont conçus pour faire face aux contraintes spécifiques, telles que les trains à grande vitesse, les difficultés d'accès et l'environnement ferroviaire.

I.2. Les terrassements :

Les terrassements sont des opérations techniques indispensables pour la construction, leurs objectifs servent à modifier le terrain naturel afin de le conformer au niveau prévu pour le projet. Cette modification inclut la réalisation des remblais et déblais avec des talus pour assurer la stabilité.

Selon UIC 719 R 3 -ème Édition (page 22) et l'SNTF (chapitre 7.22), on peut déterminer les pentes de talus afin de garantir la stabilité et la durabilité, cela est influencé par divers facteurs :

- ✓ La hauteur de l'ouvrage en terre.
- ✓ L'identification géotechnique de chaque couche.
- ✓ Les risques naturels.

Les pentes utilisées :

Les déblais : 1 / 2, 2/3, 1/1, 3/2, 2/1, 2.5/1 et 3/1

Les remblais : 3/2 et 2/1, (1/1 ou 1/1.25 dans le cas des réseaux rocheux).

I.3. Les ouvrages en terre :

Les ouvrages en terre offrent une variété de solutions techniques adoptées aux contraintes, ils permettent d'avoir une stabilité et une longue durée de vie.

I.3.1. La conception des remblais :

Les remblais vont être conçus en tenant compte des caractéristiques géotechniques des sols supports du tracé.

I.3.1.1. Pente et talus :

Les pentes des talus de remblais que l'on utilise principalement et qui sont exprimées en fraction de base sur la hauteur sont : 3/2 et 2/1 (comme indique dans le chapitre étude géologique et géotechnique).

I.3.1.2. Les matériaux utilisables en remblais :

Le choix des matériaux à utiliser pour le remblai doit garantir la stabilité des remblais, la capacité de charge et la durabilité des couches d'assises, afin d'obtenir des valeurs de compacité acceptables lors de l'exécution des travaux.

Selon la classification GTR, les sols de meilleure qualité (gites d'emprunt) des types C1B5, B4, B5 ou B6 seront utilisés dans la partie supérieure des remblais, tandis que les sols C1A1, A1 et A2 dans la partie inférieur des remblais.

I.3.1.3. Zones inondables :

D'après l'étude hydraulique (voir chapitre VI) et l'étude géotechnique, notre projet comporte des zones inondables, donc il est nécessaire de prévoir une protection du remblai qui dépasse la hauteur de l'NPHE.

Il est essentiel de dimensionner les remblais dans les zones inondables en respectant la norme IN 03278 afin de garantir leur stabilité et leur durabilité, en prenant en compte le risque d'inondation causé par le débordement de l'oued Seybouse, il est recommandé de prévenir les inondations en utilisant des enrochements latéraux ou des pierres, ainsi que de mettre en place un dispositif anti-contaminant entre le corps du remblai et les enrochements, en plus on utilise le géotextile entre les matériaux d'enrochement et les couches qui constituent le remblai afin, d'améliorer la capacité des structures à résister à la contamination.

Tableau VIII.1 : Valeurs NPHE oued Seybouse

PK	NPHE	PK	NPHE
40+075	53.3	**47+675**	73.56
40+915	55	**48+900**	76.21
41+460	55.22	**49+150**	77.24
41+822	56.49	**49+500**	78.36
42+310	57.56	**49+775**	78.92
43+007	59.1	**50+150**	80.24
43+820	61.7	**50+525**	81.17
44+325	63.75	**51+200**	82.77
45+162	65.2	**52+250**	86.85
46+975	70.36	**52+624**	88.67

I.3.1.4. Synthèse des zones en remblai :

Voici ci-dessous un tableau qui montre les différentes observations pour les zones en remblai :

TableauVIII.2 : Synthèse des zones de remblais

Localisation (Pk)		*Hauteur (m)*	*Type d'essai*	*GTR*	*UIC*	*Observation*	*Protection des talus*
Début	*Fin*						
40+000	**40+600**	4.17	PU	A1m	QS1	Application profil remblai en zone inondable	Enrochement jusqu'à la cote NPHE + 50 cm
			2 SC	A3			
40+600	**41+350**	2.68	PU	B5	QS0	Application profil remblai avec substitution	/
42+075	**42+150**	4.3	PU	A2h	QS1	Application profil remblai courant	/
43+600	**43+650**	2.38	PU	A2h	QS0	Application profil remblai avec substitution	/
43+750	**43+800**	1.44	7SU	B6th			
43+925	**45+575**	6.3		A3th			
45+725	**46+100**	5	PU	A2th			
47+850	**47+950**	/	PU	A2th			
48+175	**48+325**	3.85	PU	A1	QS1	Application profil remblai courant	Mur de soutènement cote gauche de la plateforme
49+150	**49+325**	4.76	PU	A2th	QS0	Application profil remblai avec substitution	/
49+550	**49+875**	5	2 PU	A2th A1th			
50+375	**50+675**	5.69	PU	A1th			
52+350	**52+450**	5.54	2 SC	A2th			

I.3.2. La conception des déblais :

I.3.2.1. Pente et talus :

Les pentes des talus de déblais que l'on utilise principalement et qui sont exprimés en fraction de base sur la hauteur sont : 3/2 (comme indiquées dans le chapitre VII).

I.3.2.2. Arase terrassement :

Selon les conditions géologiques, nous avons pu classer l'arase terrassement allant de AR0 à AR1 en prenant en compte l'état hydrique des sols en place.

I.3.2.3. Méthode d'excavation :

Le sol est meuble, donc nous avons opté pour une méthode d'excavation mécanique. Cette dernière est exécutable avec des équipements mécaniques tels que des pelles d'excavation, des pelleteuses ou des machines giratoires de petite puissance.

I.3.2.4. Réutilisation des matériaux excavés :

D'après les règles de la réutilisation des matériaux en remblai (UIC 719 et GTR), il est nécessaire de ne pas utiliser les matériaux QS0 pour les remblais. Ces matériaux sont des sols contaminés avec des résidus à forte plasticité, ainsi que des matériaux avec une limite de liquidité supérieur à 50% et un indice de plasticité supérieure à 20%.

Pour notre cas la réutilisation des matériaux provenant des déblais est très faible, donc ils seront mis en dépôt en raison de la nature des matériaux présents de mauvaise qualité géotechnique et de comportement difficile de les contrôler dans les remblais.

Tableau VIII.3 : Interprétations des zones de déblais

Localisation (PK)		*Hauteur (m)*	*Type d'essai*	*GTR*	*UIC*	*Méthode d'excavation Mec/Rip/expl*	*Observation*	*Protection des talus*
Début	***Fin***							
41+625	**42+150**	1.85	SC	A2	QS0	Mécanique	Application profil remblai avec substitution	Protection par terre végétale contre l'érosion
43+675	**43+775**	1.11	SC	A2				
43+825	**44+025**	1.13	PU	A2h				
45+600	**45+725**	2.65	PU	A2h				
45+850	**46+025**	0.97	PU	A2th				
46+125	**46+300**	1.84	PU	A2th				
47+950	**48+175**	6.2	PU	B5ts	QS2		Application profil remblai courant	
48+350	**49+125**	1.06	4 PU	A2m	QS1			
49+250	**49+575**	2.6	PU	A2th	QS0		Application profil remblai avec substitution	
49+875	**50+350**	3.94	PU	A1th				
50+700	**52+325**	3.11	/	/				Protection avec des pieux jointifs cote gauche de la plateforme
51+656	**51+728**	0.71						
52+475	**53+675**	0.93	PU/SC	A2th	QS0			Protection par terre végétale contre l'érosion

II. Les ouvrages :

Afin d'obtenir un tracé optimal qui satisfait à toutes les exigences techniques et économiques, il est primordial d'inclure les éléments suivants dans cette ligne en respectant les critères établis par les normes UIC et SNTF ainsi que les normes européennes.

- ✓ Pont rail.
- ✓ Passages inférieurs.
- ✓ Ponts routiers.
- ✓ Ouvrages hydrauliques et structures de protections.

II.1. Les ouvrages d'art de notre projet :

II.1.1. Rétablissement routier :

Notre projet consiste à réaliser un dédoublement d'une ligne ferroviaire reliant Annaba à Bouchegouf avec une vitesse de 120 km/h qui est supérieure à 100 km/h, cela implique de supprimer les pistes en éliminant des passages à niveau, ainsi assurer la continuité des routes qui seront traversées par la ligne par l'utilisation des passages supérieurs ou inférieurs afin d'assurer la sécurité de la voie.

Tableau VIII.4 : La liste des ouvrages d'art

PK de l'ouvrage	*Obstacle à franchir*	*Ouvrages projeté*
40+045	Une piste	Passage inférieur
42+250	Route (RN 16)	
43+860	Une piste	
46+400	Route (RN 16)	Passage inférieur
48+195	Route	
48+550	Route (RN16)	
50+950	Ouvrage routier	Passage inférieur
51+625	Ouvrage routier (RN16)	
52+175	Une piste	
52+470	W126	

II.1.2. Pistes à aménager ou à supprimer :

Les différentes pistes traversées par notre projet sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau VIII. 5 : Pistes de notre projet

PK des pistes	Aménager	Supprimer
40+045	Oui	/
43+860	Oui	/
44+750	Oui	/
45+250	/	Oui
45+625	/	Oui
45+700	/	Oui
45+810	Oui	/
47+850	Oui	/
48+195	Oui	/
50+875	/	Oui

II.1.3. Tunnel :

Selon notre profil, la ligne rouge traverse deux déblais de hauteur variable qui dépassent les 10 (m), mesurant respectivement 37.7m et 25.7 m. Par conséquent nous avons décidé de construire deux tunnels :

- Le premier du PK 42+216 au PK 43+450.
- Le deuxième du PK 46+400 au PK 47+800.

II.1.4. Ouvrages hydrauliques :

Afin de franchir des cours d'eau, il est important de considérer la construction d'ouvrages en fonction de l'importance du cours d'eau traversé (comme mentionné dans le chapitre VI).

II.1.5. Protection des conduites électriques :

Lorsqu'une ligne électrique est traversée par une voie ferrée, elle représente des dangers importants. La mise en place de dispositifs de protection approprie est donc indispensable pour réduire ces risques. Un certain nombre de dispositifs sont employés pour assurer la protection des lignes électriques.

- ✓ Les manchons de protection : sont des dispositifs en forme de tube en acier ou en béton.
- ✓ Une gaine en acier : est une housse de protection employée afin de recouvrer et de préserver les conduites électriques.
- ✓ Tubes électriques en PVC : des dispositifs de différent diamètre qui peuvent accueillir un certain nombre de conducteurs.

- Notre tracé traverse les lignes électriques comme illustre le tableau suivant :

Tableau VIII.6 : Liste des lignes électriques à franchir

Les Ligne électriques	PK 47+950
	PK48+328
	PK48+528
	PK52+512

II.1.6. Protection des conduites d'AEP :

Nous avons traversé des conduites d'adduction en eau potable, il est donc nécessaire de prendre des mesures afin de les préserver en les déplaçant ou en les protégeant par :

- ✓ L'utilisation des gains en acier ou en béton qui vont permettre de préserver les conduites.

II.1.7. Protection des conduites de gaz :

Afin d'assurer la sécurité et la durabilité des conduites de gaz passent au-dessous de notre tracé, nous avons investi à la mise en place des ouvrages de protection gazoduc qui permet de réduire les perturbations causées par les charges et les vibrations émises par le passage des trains.

III. Le profil en travers du notre projet :

Notre projet représente un dédoublement, correspond à un profil pour voie mixte (voie existante et nouvelle voie).

Tandis qu'au niveau des ouvrages d'art, la couche d'assise va comporter la couche de ballast seulement de 35 cm.

Tableau VIII.7 : Les caractéristiques du profil en travers de notre tracé

Les caractéristiques	***Voie double***	***Ouvrage***	***Tunnel***
Type de ligne	Voie double		
Ecartement de la voie	1435 mm		
Entre axe	5 m		
Largeur de la plateforme	13.6 m		
Pente latérale de la plateforme	4 %	1.5%	1.5%
Distance axe-voie_ axe caténaire	3.15 m		/

- **Calcul des cubatures :**

Les cubatures de terrassement désignent les différences de volume des déblais et des remblais dans notre projet, afin d'obtenir une surface homogène à l'aide de plusieurs facteurs :

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

Dans notre projet, on a calculé automatiquement les cubatures à l'aide du logiciel CIVIL 3D, comme illustrée dans les tableaux ci-dessous :

Tableau VIII. 8 : Les cubatures des terrassements

Volume remblais (m^3)	*Volume déblais* (m^3)	*Volume enrochement* (m^3)
213337.25	527493.40	12834.5

Tableau VIII.9 : Les cubatures des couches d'assise

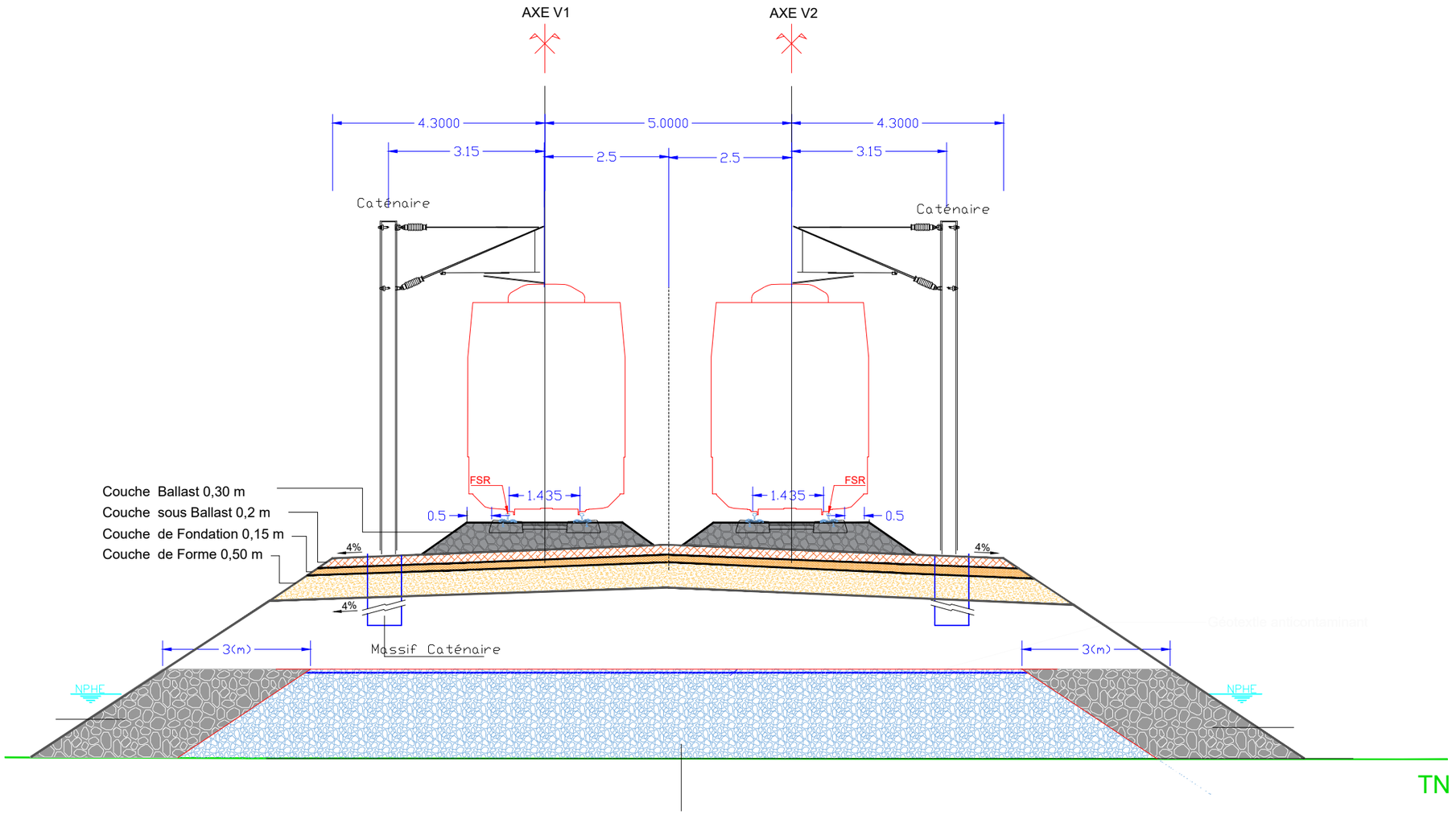
Couches d'assise	Ballast	Sous ballast	Couche de fondation	Couche de forme
Volume (m^3)	69650.66	33195.97	25784.42	91441.69

- Grâce à la réalisation de divers profils en respectant les normes et les préoccupations environnementales, nous pouvons réaliser une infrastructure ferroviaire sure et durable.

IV. Conclusion :

Les travaux de terrassement sont perçus comme la première étape des travaux. Ces dernières concernant la modification du relief du terrain, qui se font soit par l'élimination des déblais, soit par l'ajout de remblais. L'objectif principal est de préparer le terrain pour la réception d'un projet. Nous accordons une grande importance aux opérations lors de la réalisation des ouvrages d'art, car le respect rigoureux de ces étapes essentielles ne peut qu'assurer un réseau ferroviaire fiable et efficace.

PROFIL EN TRAVERS TYPE REMBLAI
ZONE INONDABLE

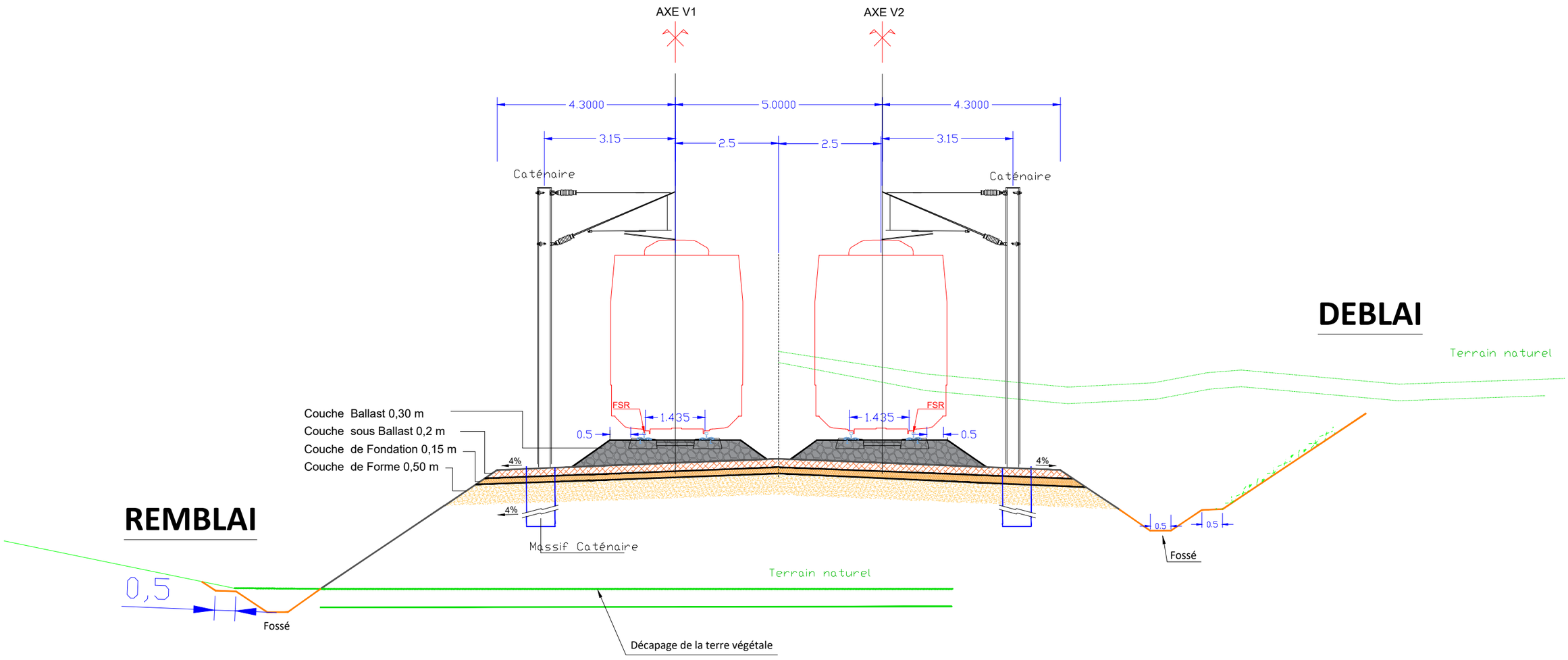


ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

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'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude APD modernisation,dedoublement et/ou rectification de la ligne miniére Annaba-Bouchegouf du PK 40+000 au PK 54+000	*BENMANSOUR Rania* *AYACHE Oumnia*	*Mr.ZENNOUCHE Smail*	*1/100*	*PROFIL EN TRAVERS TYPE*	**2023 / 2024**

PROFIL EN TRAVERS TYPE
rectification du tracé

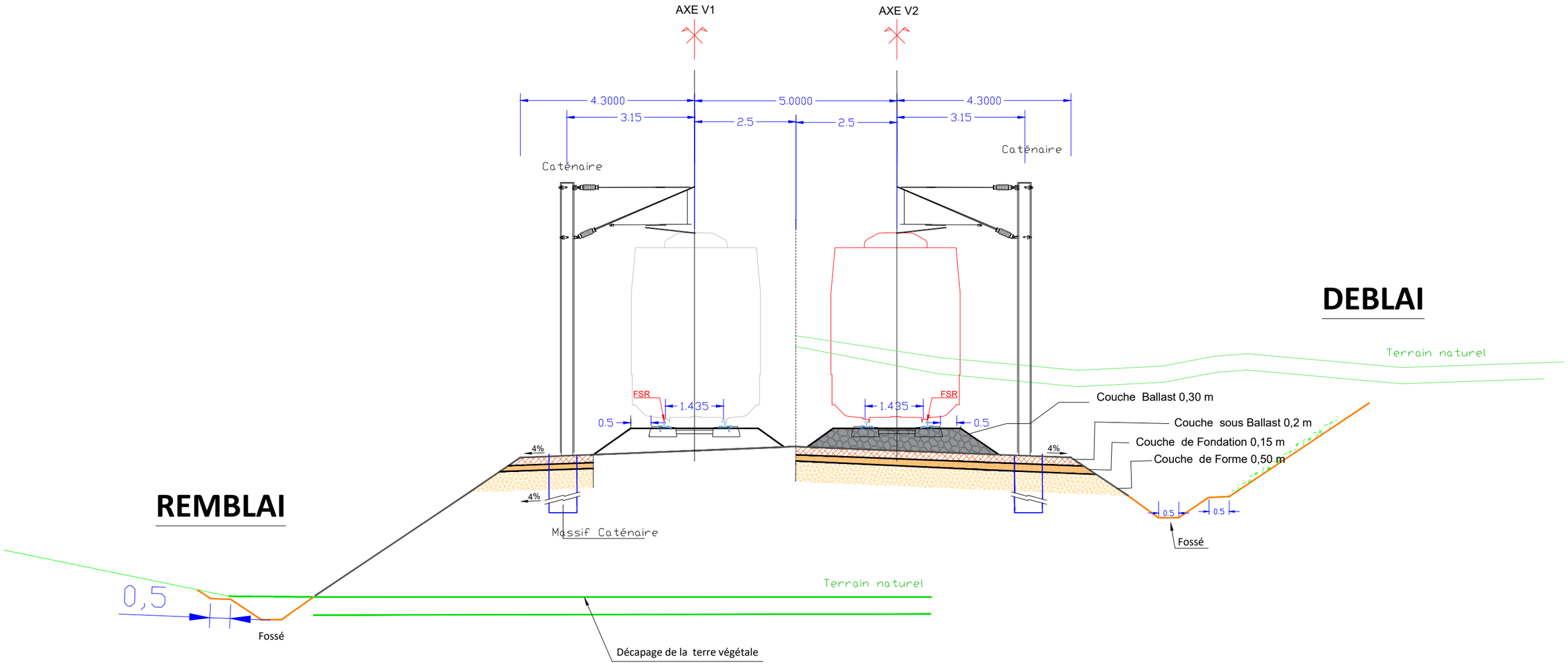


ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

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'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude APD modernisation,dedoublement et/ou rectification de la ligne miniére Annaba-Bouchegouf du PK 40+000 au PK 54+000	*BENMANSOUR Rania* *AYACHE Oumnia*	*Mr.ZENNOUCHE Smail*	*1/100*	*PROFIL EN TRAVERS TYPE*	**2023 / 2024**

PROFIL EN TRAVERS TYPE
DEDOUBLEMENT A DROITE

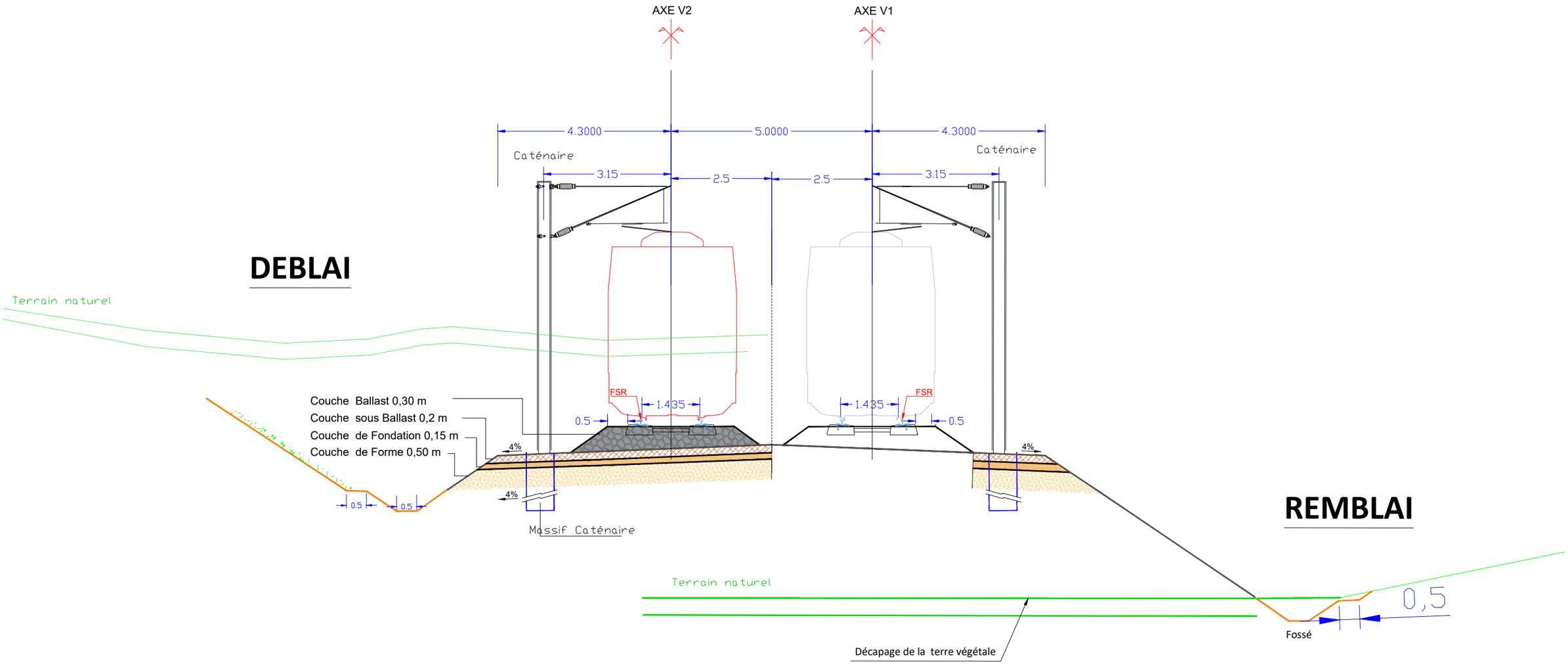


ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

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'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude APD modernisation,dedoublement et/ou rectification de la ligne minière Annaba-Bouchegouf du PK 40+000 au PK 54+000	*BENMANSOUR Rania* *AYACHE Oumnia*	*Mr.ZENNOUCHE Smail*	*1/100*	*PROFIL EN TRAVERS TYPE*	**2023 / 2024**

PROFIL EN TRAVERS TYPE
DEDOUBLEMENT A GAUCHE

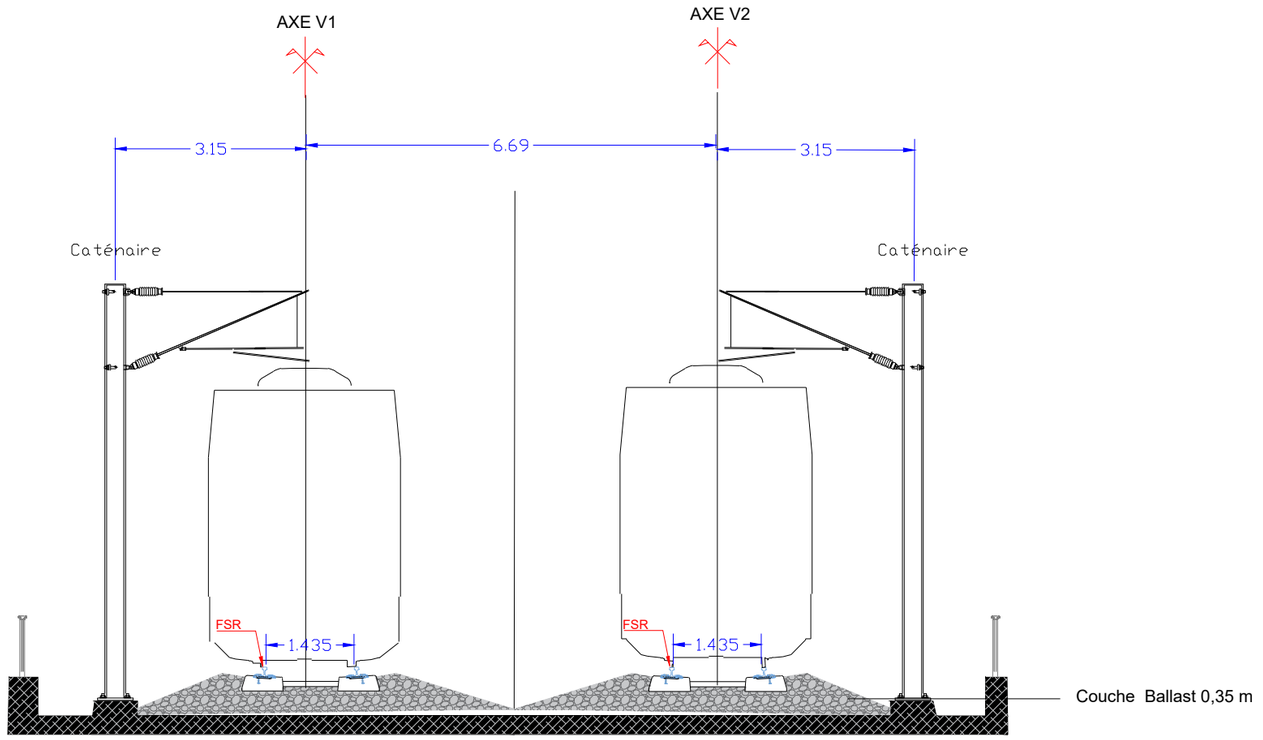


ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

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'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude APD modernisation,dedoublement et/ou rectification de la ligne miniére Annaba-Bouchegouf du PK 40+000 au PK 54+000	*BENMANSOUR Rania* *AYACHE Oumnia*	*Mr.ZENNOUCHE* *Smail*	*1/100*	*PROFIL EN TRAVERS TYPE*	**2023 / 2024**

PROFIL EN TRAVERS
d'un ouvrage d'art existant
du PK 53+650 au PK 53+741



ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build 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'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude APD modernisation,dedoublement et/ou rectification de la ligne miniére Annaba-Bouchegouf du PK 40+000 au PK 54+000	*BENMANSOUR Rania* *AYACHE Oumnia*	*Mr.ZENNOUCHE Smail*	*1/100*	*PROFIL EN TRAVERS TYPE*	**2023 / 2024**

CHAPITRE IX : Conception de la gare de Bouchegouf

I. Introduction :

Une gare bien mise en place dépasse largement le simple rôle de point de départ ou d'arrivée pour les voyageurs. C'est un endroit stratégique qui propose bien plus que la simple commodité de transit. Une gare bien équipée peut se transformer en un lieu de vie, de rencontres et de décharges pour les voyageurs et les résidents situés dans la région. En outre l'amélioration des déplacements, une gare peut proposer des services et des commodités qui amélioreront l'expérience des voyageurs, comme des espaces de restauration, des boutiques, des espaces de repos et des infrastructures culturelles.

Lorsque la fréquentation et le trafic des trains sont moins importants et que les installations et services proposés sont réduits, une gare peut devenir une halte ferroviaire.

Les haltes ferroviaires permettent de compléter les services de la gare en offrant des arrêts supplémentaires sur des lignes déjà existantes, ce qui permet de desservir des zones moins peuplées ou de satisfaire des besoins de mobilité particuliers.

II. Les types de gare :

Les gares ferroviaires peuvent être divisées en plusieurs catégories selon leur taille, leur localisation et leur fonctionnement. Les différentes catégories de la gare sont :

- **Gare de voyageurs :** c'est la gare où les trains s'arrêtent afin de faciliter le déplacement des passagers. On trouve fréquemment ce type de gare dans les centres-villes ou dans des zones peuplées.
- **Gare de marchandises :** a été spécialement élaborée pour faciliter le chargement et le déchargement de marchandises.
- **Gare mixte :** c'est une gare qui est à la fois une gare de voyageurs et de marchandises. Elle dispose à la fois de quais à passagers et de zones de chargements à marchandises.
- **Gare de croisement :** c'est un arrêt sur une ligne ferroviaire ou deux trains peuvent se croiser ou se dépasser. Elle dispose d'aiguillages et des dispositifs de voie qui permettent aux trains de passer en toute sécurité d'une voie à l'autre.

III. Étude de plan de masse d'une gare :

Pour la conception d'une gare, il faut tenir compte des fonctions de toutes les installations de base qui la constituent. Au cours de cette phase, trois éléments sont indispensables pour étudier le plan de masse :

- **La catégorie de la voie :** le rôle et les composants de la gare sont déterminés par les catégories de la voie.
- **Le trafic :** c'est l'un des éléments les plus cruciaux à considérer lors de la conception et de la planification de la gare, car il a un impact direct sur sa fonctionnalité, sa capacité et son efficacité.
- **L'emplacement de la gare :** c'est souvent l'élément qui définit et détermine les deux éléments précédents.

IV. Aménagement de la gare :

IV.1. Les installations d'une gare à voyageurs :

Une gare à voyageurs possède les principales installations suivantes :

- **Bâtiments voyageurs (B.V) :** c'est le bâtiment principal de la gare, où les voyageurs peuvent acheter des billets, obtenir des informations et attendre leurs trains.
- **Bâtiment à usage divers (B.U.D) :** sont des unités de services réservés aux agents du chemin de fer, comme la cabine de signalisation, bureaux pour le personnel et les salles de contrôle et de surveillances.
- **Quais :** sont des plateformes où les voyageurs sont amenés à monter et descendre des trains. Ils se trouvent à proximité du bâtiment voyageurs et peuvent être accessibles par des passerelles.
- **Abris de quai :** sont des installations mises en place devant le bâtiment de la gare afin de protéger les voyageurs en attente sur le quai des intempéries.
- **Les passages souterrains et les passerelles :** sont des équipements installés dans la gare pour permettre la traversée des voies et le changement de quai en toute sécurité.

IV.2. Marge de glissement à l'aval des signaux :

La marge de glissement désigne la distance de sécurité requise entre un signal ferroviaire et un obstacle situé en aval. Grâce à elle, les trains ont un espace adéquat pour s'arrêter en cas de nécessité ou en cas de signal d'arrêt. Cela assure la sécurité des trains en leur permettant de changer de voie et d'éviter tout risque de collision avec d'autres trains ou obstacles.

IV.2.1. La longueur de la marge de glissement LG :

Le tableau suivant donne la longueur de la marge de glissement (LG) selon la norme UIC 739 :

Tableau IX.1 : La longueur de la marge de glissement LG

La longueur de la marge de glissement LG	***Les conditions***
50 à 200m	Selon la vitesse de la ligne, la marge est utilisée pour des signaux de protection, d'entrée, intermédiaires ou de sortie.
200m	Pour une vitesse V$\geq$ 160 km/h
100m	Pour une vitesse 40 $km/h \leq$V$\leq$ 60km/h
50 m	Pour une vitesse V $\leq$ 40 km/h

♣ **Remarque :** lorsqu'il est impossible de réaliser la marge de glissement, il est possible de substituer en diminuant la vitesse avant le signal.

IV.3. Garage franc GF :

Le garage franc désigne un espace de sécurité entre deux voies qui se croisent sur un aiguillage au niveau de la gare. Ces bornes sont placées sur le ballast afin de marquer la limite au-delà de laquelle les trains peuvent s'arrêter sans empiéter sur la voie convergente. Cela permet de garantir la sécurité des trains qui circulent sur les voies adjacentes à l'accès.

Le garage franc théorique a une valeur de 3.57 m entre la voie directe et la voie déviée, cependant pour des raisons de sécurité, le garage franc sera placé à un mètre de distance du garage franc théorique. La formule de calcul est comme suite :

$$\mathbf{GF} = \frac{3.57}{N} + 1$$

Tel que : N=tan (α) qui dépend de l'ouverture de l'appareil de voie.

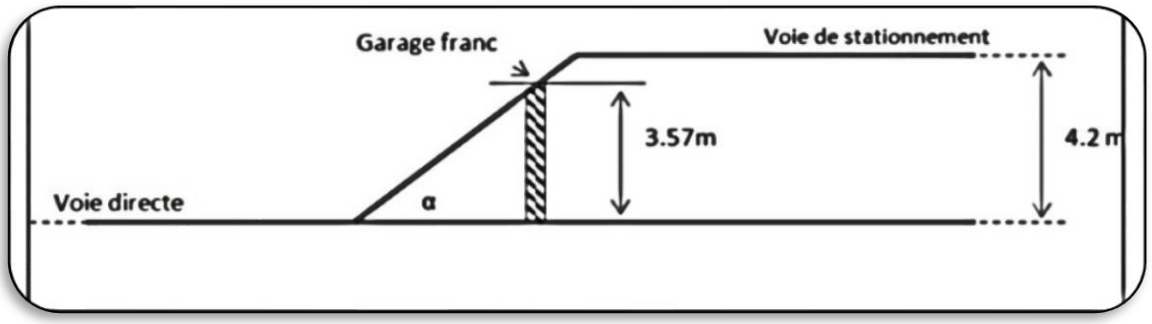


Figure IX.1 : Garage franc

IV.4.La longueur utile de la voie de stationnement Lu :

La distance nécessaire au stationnement du train sur la voie de dépassement sans perturber la circulation sur la voie principale où les autres voies de dépassement adjacentes sont définies comme la distance entre deux garages francs.

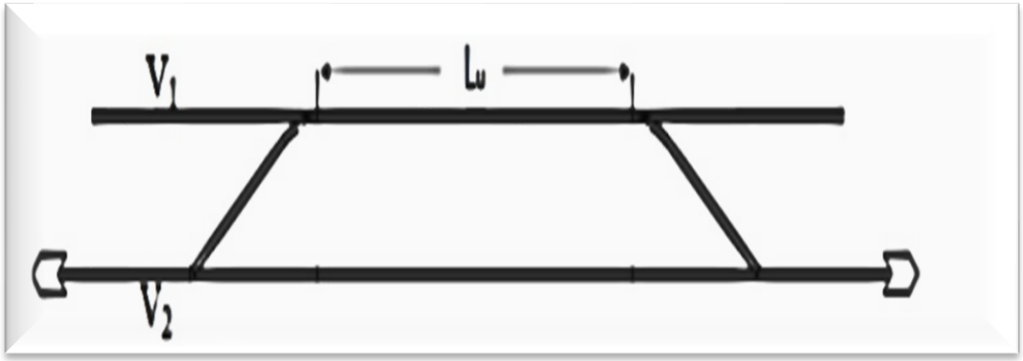


Figure IX.2 : Longueur utile

IV.5. Heurtoir :

C'est un dispositif placé à l'extrémité de la voie afin d'arrêter les trains qui ne parviennent pas à s'arrêter à temps ou d'empêcher les trains de sortir de la voie en cas de dérive. Leur conception vise à absorber l'énergie cinétique des trains qui les heurtent, en utilisant des tampons qui diminuent l'impact.



Figure IX. 3 : Heurtoir[29]

V. Les haltes :

Notre projet est équipé de deux haltes existantes (oued Fragha et Bou-Daroua), qui sont projetées respectivement au Pk 45+400 et Pk 48+700 dans le nouveau tracé. Ces derniers ont pour but de simplifier le déplacement des voyageurs dans les zones peuplées.

Tableau IX.2 : Les haltes projetées sur notre projet

Haltes	*Pk*	*Quai 1*		*Quai 2*	
		Longueur (m)	*Largeur (m)*	*Longueur (m)*	*Largeur (m)*
Oued Fragha	45+400	250	6	250	6
Bou droua	48+700				

VI. Les caractéristiques géométriques de la gare :

VI.1. La déclivité dans les gares :

Au niveau de la gare, la déclivité est limitée en fonction des activités qui y sont planifiées. Dans notre projet, nous mettons en place une déclivité de 3‰ à la rentrée de la gare (selon la norme IN 0272) et 0‰ pour le reste de la gare, afin d'éviter tout déplacement des trains.

[29] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/42/Buffer_stop_in_Saint-R%C3%A9my-l%C3%A8s-Chevreuse_%28France%29.jpg/800px-Buffer_stop_in_Saint-R%C3%A9my-l%C3%A8s-Chevreuse_%28France%29.jpg

VI.2. Quai :

Le tableau suivant montre les différentes caractéristiques du quai selon la norme SNTF :

Tableau IX.3 : Les caractéristiques du quai

Longueur L (m)	Largeur B (m)		Hauteur (mm)		Distance à l'axe de la voie (mm)	Entre axe de la quai (m)	
Grand ligne 450m	Quai intermédiaire	Quai extérieure	Quai haut	Quai bas	L= 1650 +S	Normal	Minimal
Service régionale 350m	B≥ 8m	B≥6m	550	760	1661	e>11.3	e>9.3

- **Tel que :**
  - H : hauteur au-dessus du plan de roulement, perpendiculaire au plan de roulement
  - L : distance par rapport à l'axe de la voie, parallèles au plan de roulement, avec :

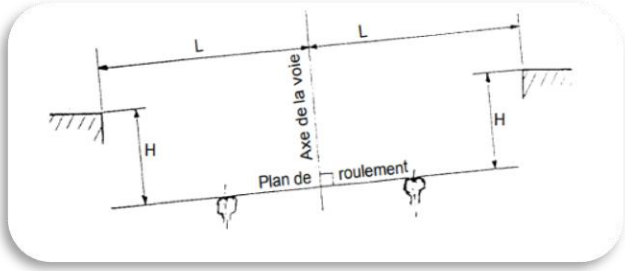


Figure IX. 4 : Hauteur du quai

$$S=\frac{3750}{R}+\frac{l-1435}{2}$$

- R(m) :rayon de la voie.
- l (mm) :écartement de la voie.

- **Cas particulier :**

Étant donné que les quais de la gare de Bouchegouf se trouvent en rayon (dévers 110 mm et rayon de 330 m), les bordures des quais présentent une certaine spécifiée. Selon IN 00163, les cotes des quais sont comme suite :

- Hauteur : 550 mm.
- L : distance au bord inferieur du rail, L= 935mm + S
  Avec S =18mm (320<R< 333).

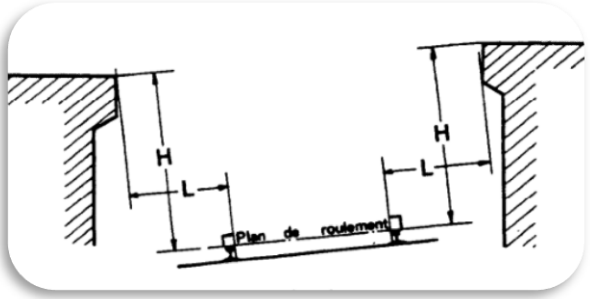


Figure XI.5 : Les côtes des quais (H, L)

Tableau XI. 4 : Calcul des côtes des quais

	h_1 (mm)	l_1 (mm)	h_2 (mm)	l_2 (mm)
Formule	KH-L(d/1500)	KL+H(d/1500)	KH+L(d/1500)	KL-385(d/1500)
Valeur	478	991	618	922

K = 0.997, qui dépend du dévers (106 < d< 125mm)

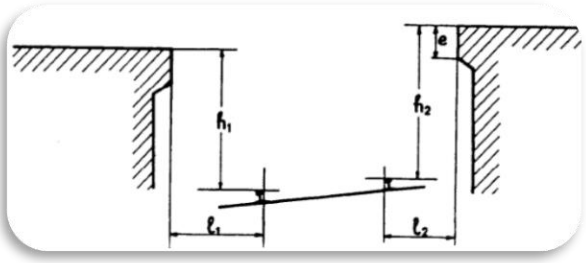


Figure XI.6 : Les côtes des quais (h_i, l_i)

VI.3. Les appareils de voie :

Les appareils de voie jouent un rôle essentiel dans le bon déroulement du réseau ferroviaire en permettant aux trains de se croiser et de changer de direction en toute facilité au sein des gares.

VI.3.1. Conditions générales :

Lors de l'installation des appareils de voie, il est important de tenir compte des éléments suivants :

- Il est primordial de s'assurer que les appareils de voies et les systèmes de communication soient installés sur une pente constante.
- Dans les zones proches d'un ouvrage d'art, les appareils de voie doivent être disposés à des distances minimales qui sont en fonction de la longueur L de l'ouvrage.

TableauIX.5 : Longueur de l'appareil de voie

L min	Longueur de l'appareil
≥ 20 m	L≤ 30m
≥50 m	30 m< L ≤90m
≥50 m	L >90m depuis le côté opposé à l'appareil de dilatation

VI.3.2. Les règles d'implantation :

Voici ci-dessous les types de branchements, selon l'SNTF :

Tableau IX.6 : Branchements

Domaine d'emploi d'un branchement	*Vitesse (km/h)*	*Type de branchement*
▪Au niveau des faisceaux de stockage, des faisceaux de remisage, voie de nettoyage et toutes les voies de déplacement.	40	R 190-1/7-Tan (0.142) R 190-1/9-Tan (0.111)
▪Comme branchement d'entrée et de sortie des voies de quai utilisée par les trains de voyageurs. ▪Dans le faisceau de transfert de la gare de marchandises. ▪Dans la voie de circulation des trains marchandise.	50	R 300-1/9-Tan (0.111)
▪Comme branchement d'entrée et de sortie des voies de quai utilisées par les trains de banlieue ou par les trains voyageurs. ▪Comme branchements d'entrée et de sortie des gares voyageurs et des gares marchandises. ▪Les communications des voies de ligne. ▪La bifurcation d'une voie de ligne	60	R 500-1/12-Tan (0.083)

VII. Gare de Bouchegouf :

VII.1. Description de la gare :

La gare de Bouchegouf est composée de deux voies principales d'UIC 60 et de 4 voies de service, ce qui permet une bonne réception du trafic de marchandises et de voyageurs., ainsi que de deux quais de voyageurs, bâtiments voyageurs et une passerelle. Cette dernière dispose deux voies d'accès à l'entrée et à la sortie implantée en chapeau de gendarme, permettant ainsi de changer de voie quelle que soit la direction des trains. La voie 2 dispose également un appareil de voie par sens afin de faciliter l'accès aux voies de service, ainsi 2 voies de tiroir qui se terminent par un heurtoir.

L'emplacement actuel de la gare de Bouchegouf va être conservé dans la future ligne ferroviaire.

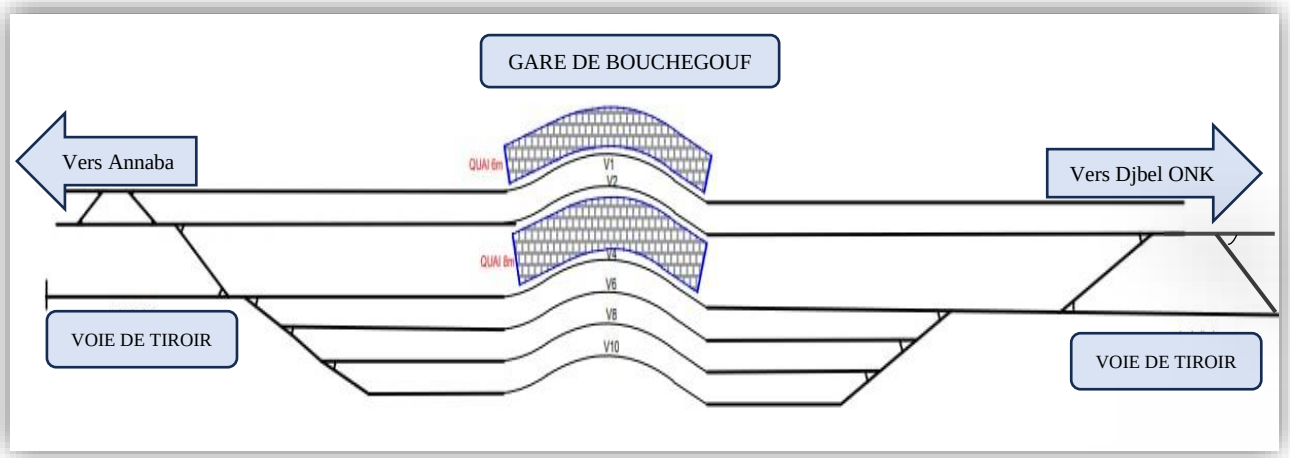


Figure IX.5 : Schéma de la gare de Bouchegouf

VII.2. Les caractéristiques de la gare de Bouchegouf :

Voici ci-dessous les caractéristiques de la gare de Bouchegouf :

Tableau IX. 7 : Caractéristiques de la gare de Bouchegouf

Gare					
Pk	***Longueur***	***Nombre de voie***	***Caractéristique***		
Du Pk 52+025 jusqu'à Pk 53+525	1486 m	6 voies	Elle comprend une passerelle et un bâtiment voyageur		
Quai 1					
Pk	***Largeur***	***Longueur***	***Hauteur***		
Du 52+872 jusqu'à 53+122	6 m	250 m	550 mm		
Quai 2					
Pk	***Largeur***	***Longueur***	***Hauteur***		
Du 52+872 jusqu'à 53+122	8 m	250 m	550 mm		
Appareil de voie					
Type	***Tan α***	***a***	***b***	***c***	***GF(m)***
UIC60-E1-500-1/12	1/12	20.58	20.58	20.58	43.84
UIC60-E1-300-1/9	1/9	16.44	16.44	16.44	33.13
UIC60-E1-190-1/7	1/7	13.36	13.36	13.36	25.99
Aménagement de la gare					
Voies	***Lu (m)***				
1	1090				
2	1087				
4	746				
6	673				
8	599				
10	597				
Voie tiroir 1	168				
Voie tiroir 2	200				

♣ **Remarque :**

Dans la mesure du possible, la conception de notre gare prévoit des quais bordes par des voies de faible rayon avec des vitesses respectivement de 80 km/h et 60 km/h pour les trains voyageurs et marchandises, ce qui signifie qu'il est recommandé d'implanter au minimum un rayon de 300 mètres selon UIC et de limiter le dévers à 110 mm sur les voies situées le long des quais à voyageurs selon IN 0272 (page 13).

VIII. Assainissement de la gare :

L'assainissement des gares ferroviaires désigne la gestion des eaux pluviales et usées, par des systèmes de drainage qui vont permettre d'évacuer les eaux rapidement.

VIII.1. Assainissement transversal :

Les gares ferroviaires sont équipées de systèmes de drainage pour les eaux pluviales. L'eau est dirigée vers les voies par des quais dont la pente est de 2 %. Après cela les eaux sont évacuées par les pentes transversales des plates-formes, ce qui favorise un bon drainage et prévient l'accumulation d'eau.

VIII.2. Assainissement longitudinale :

Les gares disposent de drains longitudinaux avec des pentes de 4% pour facilite le drainage des eaux de pluie. Ces canalisations collectent les eaux de ruissèlement qui pénètre dans le ballast et la plateforme vers le réseau d'assainissement à travers les regards de visite.

VIII.3. Drainage des eaux de la plateforme :

En ce qui concerne l'assainissement de la plateforme, nous avons utilisé des conduites en PVC perforées d'un diamètre de 300 mm pour évacuer les eaux entre les voies. Le drain est perforé dans la partie supérieure pour permettre le passage des eaux. Le système de drainage des entre voies consiste à installer des regards espacés de 50 mètres de la tranchée drainante, afin de permettre l'entretien du drain. Des collecteurs en béton arme collectent les eaux du drain vers un élément naturel.

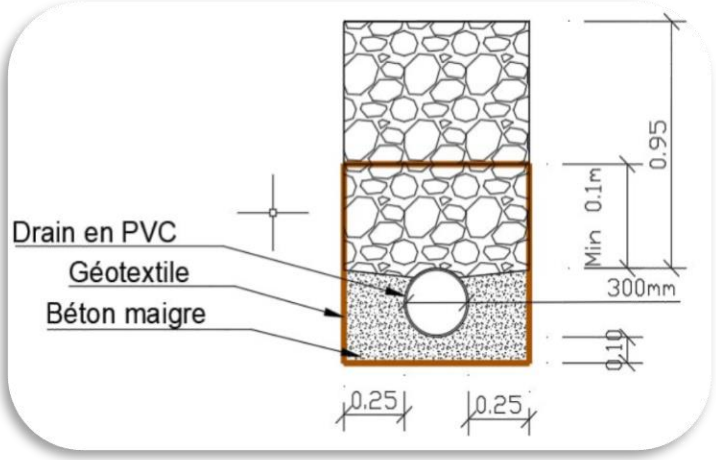
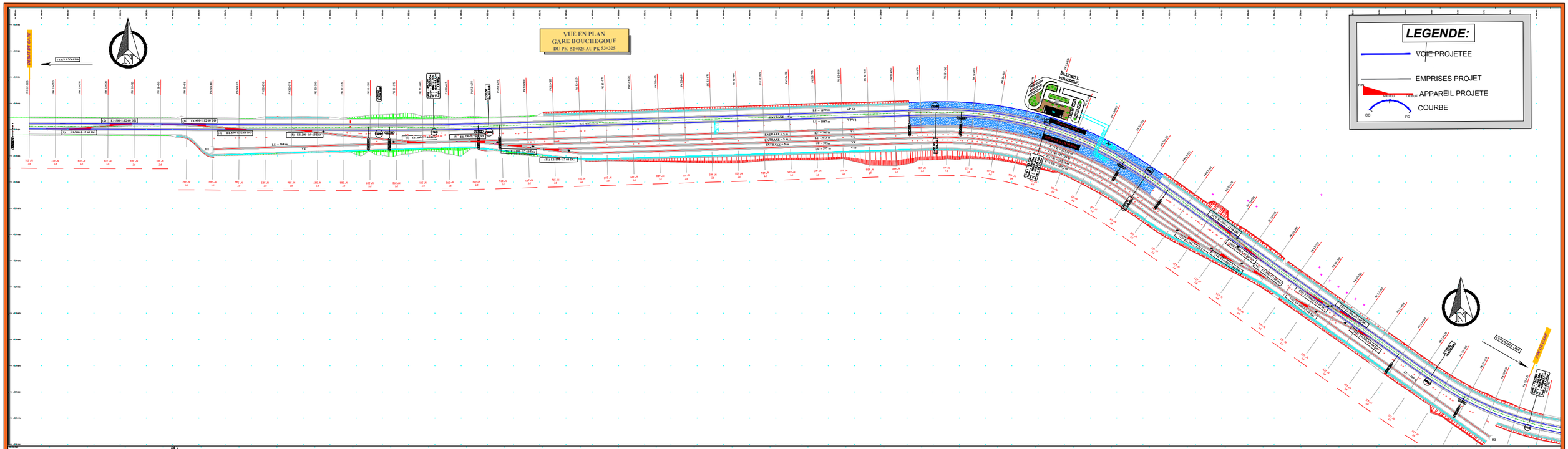


Figure IX.6 : Ouvrage de drainage de la plateforme

IX. Conclusion :

La gare de Bouchegouf est conçue en respectant les normes en vigueur afin de satisfaire aux exigences de sécurité et de conforme, et de répondre à la demande croissante de ce mode de transport.



ENSTP
المدرسة الوطنيـــة العليـــا للأشـــغال العموميـــة
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build 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'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude APD modernisation,dedoublement et/ou rectification de la ligne miniére Annaba-Bouchegouf du PK 40+000 au PK 54+000	*BENMANSOUR Rania* *AYACHE Oumnia*	*Mr.ZENNOUCHE Smail*	*1/4* *1/2* *3/5*	*Gare de Bouchegouf*	**2023 / 2024**

ASSAINISSEMENT DE GARE "BOUCHEGOUF"

LEGENDE:

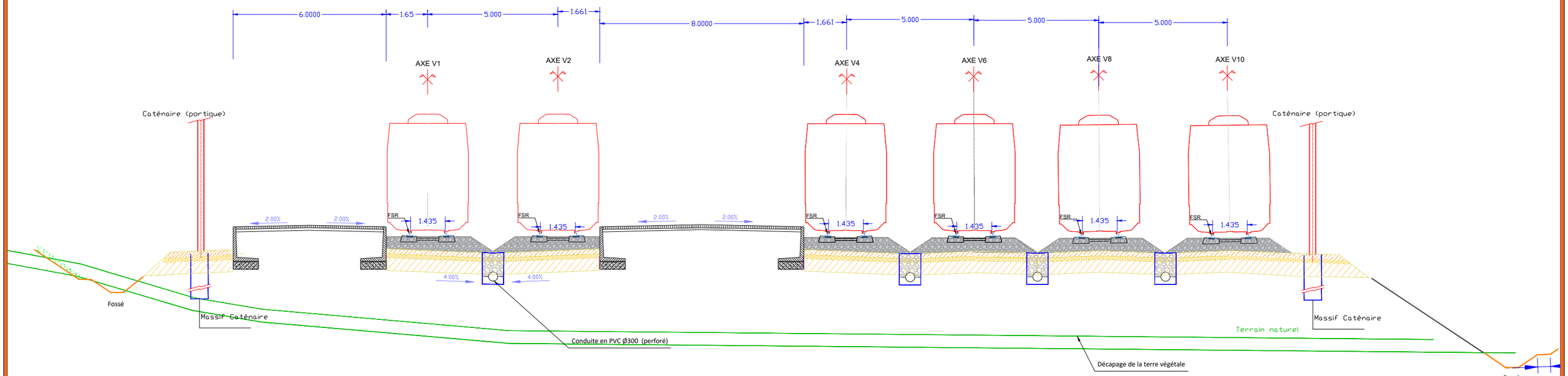
- Drain perforé
- Ouvrage de rejet
- Regard
- BOUCHON

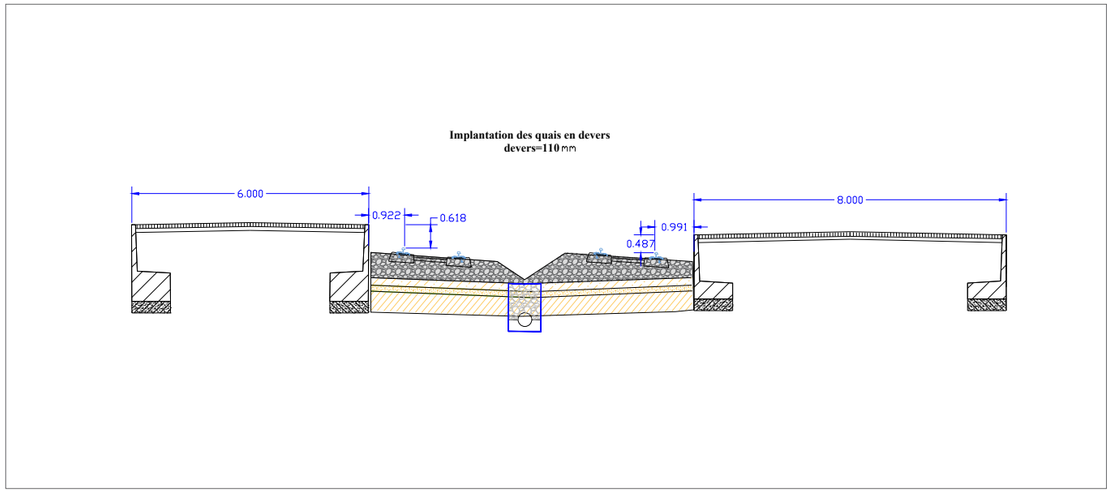
ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

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'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude APD modernisation,dedoublement et/ou rectification de la ligne miniére Annaba-Bouchegouf du PK 40+000 au PK 54+000	*BENMANSOUR Rania AYACHE Oumnia*	*Mr.ZENNOUCHE Smail*	*1/1500*	*VUE EN PLAN ' ASSAINISSEMENT DE GARE'*	**2023 / 2024**

PROFIL EN TRAVERS TYPE
EN GARE
(Quais)





ENSTP
المدرسة الوطنيـــة العليـــا للأشـــغال العموميـــة
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build 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'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude APD modernisation,dedoublement et/ou rectification de la ligne miniére Annaba-Bouchegouf du PK 40+000 au PK 54+000	*BENMANSOUR Rania* *AYACHE Oumnia*	*Mr.ZENNOUCHE Smail*	*1/150*	*PROFIL EN TRAVERS TYPE*	**2023 / 2024**

CHAPITRE X :
Signalisation Ferroviaire

I. Introduction :

Le système de signalisation ferroviaire est un ensemble de signaux conventionnels et d'équipement techniques installées le long des voies. Son objectif est de gérer le trafic sur les réseaux ferroviaires. Ce système nous permet de contrôler les mouvements des trains et d'éviter les collisions. Garantissant ainsi la sécurité et la fluidité.

II. Le rôle de la signalisation ferroviaire :

L'objectif de la signalisation ferroviaire est d'assurer la sécurité et l'efficacité de la circulation des trains sur une ligne. Elle est utilisée pour contrôler la vitesse et la distance entre les trains, mais aussi pour signaler l'état de la voie devant eux.

III. Les risques ferroviaires et ces solutions :

Les risques ferroviaires sont classés en cinq catégories principales comme suit :

Tableau X.1 : Les risques ferroviaires et ces solutions

Risque	*Sa solution*
Collision nez à nez : consiste à une rencontre frontale de deux trains qui se rencontrent sur la même voie.	La gestion de cette collision frontale repose sur les enclenchements de sens.
Collision par rattrapage : se produit par collision entre un train et un autre qui se trouve devant lui.	Le risque de rattrapage est géré par le cantonnement
Le déraillement : correspond au danger de sortir du train de la voie.	La giration du risque de déraillement se fait par différents systèmes de sécurité tels que les limitations des vitesses, les systèmes de surveillance des chargements.
La prise en écharpe : se produit lorsque deux trains arrivent à un aiguillage déjà occupé par un autre train venant en sens inverse.	Ce risque est pris en charge par l'utilisation des enclenchements internes au poste d'aiguillage (enclenchement d'itinéraire et de transit).
Obstacles sur la voie : concerne la collision avec des obstacles présents sur la voie qui sont susceptibles d'être rencontrés par le train.	Ce risque est géré par le déclenchement des dispositifs de sécurité tels que les freins d'urgence ou des avertissements sonores.

IV. Système de cantonnement :

C'est un système de signalisation ferroviaire qui sépare une ligne en section connue sous le nom de cantons ou blocs. Dans chaque canton, il est prévu qu'un seul train soit autorisé. Généralement sur une longueur fixe, les contons sont munis de signaux qui signalent aux conducteurs si le canton suivant est libre ou occupe par un autre train.

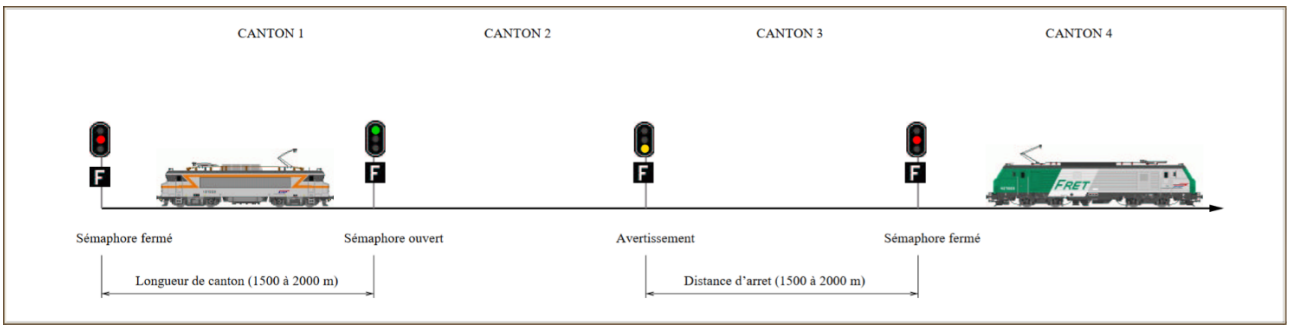


Figure X.1 : Espacement des trains[30]

V. Blocs ferroviaires :

Un bloc ferroviaire est un dispositif de signalisation qui vise à assurer la séparation des trains sur une même voie et à prévenir les accidents. La sécurité est la gestion du trafic ferroviaire sont des objectifs essentiels des différents blocs ferroviaire, parmi ces blocs on a :

- ✓ **Le Bloc Automatique Lumineux (BAL) :** est un système de contrôle de la circulation des trains qui utilise des signaux. Son objectif est de garantir une distance de sécurité entre les trains en affichant des signaux lumineux pour indiquer l'état des voies.
- ✓ **Le Bloc Automatique à Permissivité Restreinte (BAPR) :** est chargé de limiter l'accès à une section de voie lorsqu'elle est occupée par un train, afin d'éviter la circulation de deux trains simultanément dans cette même section par l'utilisation des signaux lumineux qui vont permettre d'indiquer l'état et de contrôler l'accès des cantons.
- ✓ **Blocs manuels (BM) :** est chargé de permettre ou d'empêcher l'accès des trains à certaines sections de voie par l'intervention manuelle, telle que le cantonnement téléphonique qui sert à communiquer oralement entre les gens afin de coordonner le passage des trains.

VI. Les principaux signaux ferroviaires :

Les signaux ferroviaires sont divisés en deux grandes catégories en Algérie, en règle générale ces signaux sont placés à gauche de la voie ou les trains circulent, sauf si des contraintes particulières le rendent impossible.

[30] https://primary.jwwb.nl/public/i/h/f/temp-oefwigffgsmprjwjepyu/o4euzf/image-401.png

Tableau X.2 : Les différentes signalisations lumineuses et leurs indications

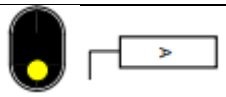
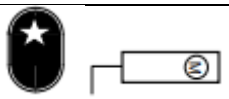
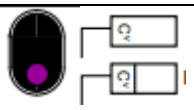
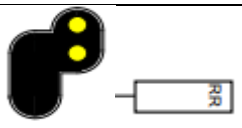
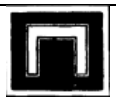
Signalisation lumineuse	*Indications*
 **Feu vert**	La marche normale est autorisée.
 **Avertissement**	Arrête avant les signaux d'arrêts : carré, smartphone, observer un feu rouge clignotant.
 **Ralentissement 30**	Ne pas dépasser la vitesse de 30 Km/h.
 **Ralentissement 60**	Ne pas dépasser la vitesse de 60 Km/h au franchissement de l'aiguille.
 **Feu blanc**	La confirmation au mécanicien l'observation de ta marche en manœuvre.
 **Feu blanc clignotant**	Il est interdit dans tous les cas le départ de la ligne d'un train.
 **Carré violet**	L'arrêt avant le signal.
 **Rappel 30**	Le rappel de ne pas dépasser, la vitesse 30 Km/h.
 **Rappel 60**	Le rappel de ne pas dépasser, la vitesse 60 Km/h au franchissement de l'aiguille.

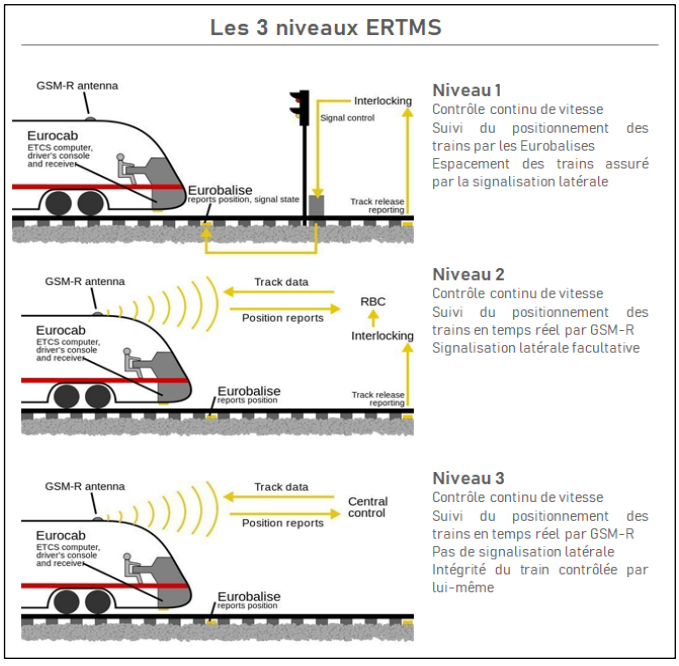
Tableau X.3 : Les plaques d'identification

Les plaques d'identification	*Indications*
	De pancartes pour repère le point d'arrêt des trains de voyageurs.
	
	Une zone à gabarit limité (ouvrage d'art).
	La direction correspondante est une voie de service.
	La direction correspondante est une voie de dépôt.

VII. Le système ERTMS :

Européen Railways Traffic Management System, en français cela désigne le système européen de la gestion de la circulation ferroviaire, c'est la signalisation moderne.

Il s'agit d'un système de signalisation bord/sol et de contrôle de vitesse européen standardisé, qui vise à améliorer l'interopérabilité du système ferroviaire en utilisant un seul équipement de sécurité.



➢ **Les fonctions de ERTMS :**

Le système ERTMS remplit les tâches suivantes :

- Assurer une meilleure sécurité dans le transport ferroviaire.
- Accroitre la fréquence des trains.
- Améliore-la capacité des infrastructures.

ERTMS assure les trois niveaux. (Voir la Figure X.2).

Figure X.2 : Les trois niveaux du système de contrôle des trains ERTMS[31]

[31] http://transportrail.canalblog.com/pages/ertms---les-grands-principes-techniques/38926569.html

VIII. Implantation longitudinale :

L'installation longitudinale des signaux tient compte de deux distances essentielles pour assurer un freinage sécurisé.

- ✓ **La distance d'arrêt** : c'est la distance entre le signal d'arrêt et le point de la protection.
- ✓ **La distance de ralentissement** : la distance pour que le train respect la limitation de vitesse.

IX. Application pour notre projet :

Notre tracé est doté d'un système de signalisation ERTMS. Les cas particuliers présents dans notre projet sont gérés par une signalisation ferroviaire de la manière suivante :

- ➢ D'après le référentiel de l'SNTF (chapitre 10), dans le cas de la présence des tunnels il faut avoir un détecteur propre à la sécurité du tunnel (détecteurs de fumée, d'incendie …), les informations seront transmises en même temps au poste de surveillance du tunnel (appel de secours, la ventilation) et au système ERTMS (pour les actions directes sur la signalisation).
- ➢ Dans le cas de ralentissement de vitesse, une signalisation lumineuse de couleur jaune est utilisée pour indiquer au conducteur qu'il doit ralentir son train.

X. Conclusion :

Ces dernières années, la signalisation ferroviaire a connu une croissance significative grâce à l'avancement des outils d'informatiques. Cette progression a permis de réduire les accidents et d'améliorer la fluidité de la circulation des trains.

CHAPITRE XI :
Impact sur l'environnement

I. Introduction :

L'impact sur l'environnement englobe les différentes modifications qui se produisent dans l'environnement, qu'elles soient positives ou négatives, elles sont causées par différents facteurs. Cette étude nous permet d'évaluer les effets potentiels du projet en tenant compte des spécificités de l'infrastructure ferroviaire, ce qui en fait un outil préventif pour prendre en compte la protection de l'environnement dans les premières étapes. Cela garantit une prise parfaite des intérêts des communautés et favorise la mise en œuvre d'un projet.

II. Description de la zone d'étude (état initial) :

II.1. Contexte physique de la région :

Tableau XI.1 : Contexte physique

Wilaya	*Commune*	*Pk*	*Longueur du tronçon*	*À proximité immédiat*	*Climat*	*Les risques*
Guelma	Bouchegouf	Du 40+000 au 54+000	14 Km	Environnement agricole (terres et fermes agricoles)	Humide à subhumide	Risque d'inondation (débordement des cours d'eaux)

II.2. Contexte socio-économie de la région :

II.2.1. Agriculture :

La présence de l'oued Seybouse permet à l'agriculture de Guelma d'avoir un système d'irrigation important. La fertilité de la région est reconnue et elle est une région agricole importante en Algérie.

L'élevage de bovins, d'ovin, de caprins et de camelins est la principale occupation de la commune, avec une attention particulière portée à l'élevage ovin.

II.2.2. Industrie :

L'industrie représente un secteur majeur avec des activités industrielles significatives dans les secteurs de l'industrie lourde, de la chimie et de la production agroalimentaire.

II.2.3. Commerce :

Guelma occupe une position commerciale stratégique, en tant qu'un centre de production et de transformation des produits agricoles et comme un point de référence logistique pour l'acheminement des ressources minières vers les marchés.

III. Les facteurs environnementaux prise en considération :

Les infrastructures de transport présentes dans les zones occupées peuvent avoir des effets néfastes sur l'environnement. Pour cela, un certain nombre de facteurs sont pris en charge.

III.1. Les ressours d'eau :

La construction d'une voie ferrée peut altérer les conditions du sol et l'écoulement des eaux, ainsi a un impact sur la qualité et la quantité des eaux souterraines. Les sites à proximité des ressources d'eau souterraine (puits, forages) et des réservoirs de montagne sont considérés comme particulièrement vulnérables et doivent être protégés autant que possible afin d'éviter toute perturbation.

III.2. L'agriculture :

Notre projet se situe dans l'une des villes de la zone agricole pluvieuse du nord de l'Algérie, avec des conditions climatiques et des ressources en eau plus propices à une agriculture variée.

IV. Les impacts :

Plusieurs aspects du réseau ferroviaire sont fortement influencés par L'électrification et la modernisation d'une ligne ferroviaire.

IV.1. Impacts positifs :

- Une diminution dans les délais du trajet et un renforcement de la fiabilité du service, cela repose sur l'amélioration des trains en termes de vitesse, de capacité et de régularité.
- Une diminution des risques d'accidents et d'incendies.
- L'amélioration du confort des voyageurs par l'intégration des équipements modernes tels que la climatisation, les prises électriques et le Wi-Fi.
- Un développement économique régional en améliorant l'accessibilité aux zones, en favorisant les échanges commerciaux et en stimulant le tourisme.

IV.2. Impacts négatifs :

- La démolition provoque une détérioration du paysage et de l'environnement visuel, ainsi qu'une altération de la qualité de vie des habitants locaux.
- Perturbation de la faune et la flore.
- La réduction des espaces verts favorables à la biodiversité.

CHAPITRE XII :
Devis Quantitatif et Estimatif

I. Devis quantitatif et estimatif :

N des prix	Désignations	Unité	Prix unitaire	Quantité	Montant
1- ETUDES D'EXECUTION ET INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER					
1-1	Installation du matériel et installation globale du chantier	F	1397350000	1	1397350000
1-2	Repli du matériel et des installations du chantier	F	52400000	1	52400000
1-3	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	262000000	1	262000000
Prix total d'installation général de chantier DA					**1711750000**
2- Étude D'EXECUTION					
2-1	Etude exécution	F	125000000	1	125000000
Prix total de l'étude d'exécution					**125000000**
3- DEGAGEMENT DES EMPRISES					
3-1	Dépose de la voie existante	ML	2500	8507	21268728
3-2	Déposé d'appareils de voie existants	U	34000	18	612000
Prix total dégagement des emprises DA					**21880728**
4- LES TERRASSEMENTS					
4-1	Décapage de terre végétale	M3	135	22035.39	2974778
4-2	Déblais mise en dépôt	M3	570	527493.4	300671238
4-3	Remblai	M3	1000	213337.25	213337250
4-4	Protection des fondation purge	M3	6800	6179.83	42022844
4-5	Matériaux des zones inondables enrochement	M3	3700	12834.5	47487650
4-6	Fourniture et pose géotextile anti- contaminant	M2	1160	15300	17748000
Prix total des Terrassements DA					**624241760**
5- DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT					
5-1	Fossé en béton arme préfabrique	ML	8000	11314.6	90516800
5-2	Dalot en béton arme (3*1.5)	M3	6500	87.975	571837.5
5-3	Dalot en béton arme (1.5*1.5)	M3	6500	53.82	349830
5-4	Dalot en béton arme (2*2.5)	M3	6500	125.8	817700
5-5	Dalot en béton arme (1.5*1)	M3	6500	32.325	210113
5-6	Dalot en béton arme (2*3)	M3	6500	198.18	1288170
5-7	Dalot en béton arme (2*1.5)	M3	6500	52.32	340080
5-8	Dalot en béton arme (4*3)	M3	6500	422.64	2747160
5-9	Dalot en béton arme (8*4)	M3	6500	809.28	5260320
5-10	Buses de tuyaux en béton armée 1500 mm	ML	80000	4.52115	361692
Prix total drainage et assainissement DA					**102463702**
6- COUCHES D'ASSISE FEROVIAIRE					
6--1	Mise en place et réalisation de la couche de ballast	M3	7500	69650.66	522379950
6--2	Mise en place et réalisation de la couche de forme	M3	2000	91441.69	182883380
6--3	Mise en place et réalisation de la couche de fondation	M3	3500	25784.42	90245470
6--4	Mise en place et réalisation de la couche S/Ballast	M3	3500	33195.97	116185895
Prix total terrassements généraux DA					**911694695**
7- TRAVAUX DE LA VOIE					
7-1	Fourniture de rail neufs UIC 60 E1	Tonne	330000	2038	672562560.1
7-2	Fourniture de traverse bi-blocs	U	15000	28208	423116668
7-3	Fourniture des attaches pour le rail UIC 60	U	1400	14104	19745444
7-4	Pose de voie	ML	7000	16925	118472667
7-5	Fourniture des appareils de voie simples UIC 60 -500-1/12	U	26000000	8	208000000
7-6	Fourniture des appareils de voie simples UIC 60 -300-1/9	U	22000000	2	44000000

7-7	Fourniture des appareils de voie simples UIC 60-190-1/7	U	20400000	8	163200000
7-8	Pose des appareils de voie simple UIC 60 -500-1/12	U	663000	8	5304000
7-9	Pose des appareils de voie simple UIC 60 -300-1/9	U	586000	2	1172000
7-10	Pose des appareils de voie simple UIC 60 -190-1/7	U	518000	8	4144000
7-11	Soudage aluminothermique	U	22000	148	3266164
7-12	Soudage électrique	U	22000	1763	38785695
7-13	Traverses de Garage franc	U	59000	18	1062000
7-14	Heurtoir	U	1120000	2	2240000
Prix Total travaux de voie DA					**1705071197**
8- OUVRAGE D'ART					
8-1	Tunnel 1	F	3477900000	1	3477900000
8-2	Tunnel 2	F	3863000000	1	3863000000
Prix Total Ouvrage d'art DA					**7340900000**
9- HALTE ET GARE					
9--1	Halte d'oued Fragha	F	80800000	1	80800000
9--2	Halte de Boudroua	F	81300000	1	81300000
9--3	Gare de Bouchegouf	F	225217000	1	225217000
Prix Totale Halte et Gare DA					**387317000**
Prix Total Hors Taxes					12930319082
Montant de la T.V.A (19%)					2456760626
Montant du projet en T.T.C					15387079708

Montant total en TTC :

Quinze Milliards trois Cent Quatre-Vingt Sept Millions Soixante -Dix- neuf Mille Sept Cent Huit Dinars Algérien.

CHAPITRE XIII :
Planification

I. Introduction :

La planification du chantier englobe toutes les mesures prises pour assurer une exécution optimale.

Cette organisation implique la définition et la coordination des moyens nécessaires à la réalisation de l'œuvre tout en respectant les directives générales établies par le maître d'ouvrage.

Cette dernière consiste à explorer la meilleure manière d'économiser la main-d'œuvre afin de garantir l'efficacité des actions de qualité dans les délais les plus courts, sans causer d'accidents humains.

II. Objectif de la planification :

L'objectif de la planification sert à accomplir les objectifs suivants :

- ✓ Élaborer une structure globale assurant l'accueil, la sécurité et la productivité optimale de tous.
- ✓ Sélectionner des aspects essentiels et des méthodes pour progresser pendant la réalisation.
- ✓ Respecter les délais et optimiser les dépenses.

III. Le diagramme de Gantt :

On utilise fréquemment le diagramme de Gantt pour gérer des projets dans le domaine de la construction. Appliquée lors de la planification d'un projet. Il offre la possibilité de voir dans le temps les diverses tâches qui constituent un projet, en représentant visuellement les délais prévus pour leur accomplissement et leur progression.

Lorsqu'on crée un planning de Gantt, il est important de prendre en considération ces aspects :

- ✓ Définir le contenu du projet.
- ✓ Tenir compte des délais prévus pour la réalisation.
- ✓ Tenir compte de l'efficacité du matériel disponible sur le chantier.

IV. Application sur notre projet :

Après avoir intégré les informations du projet, le délai d'exécution du présent projet est arrêté à 493 Jours repartis conformément au planning de Gantt et cela se récapitule comme suit :

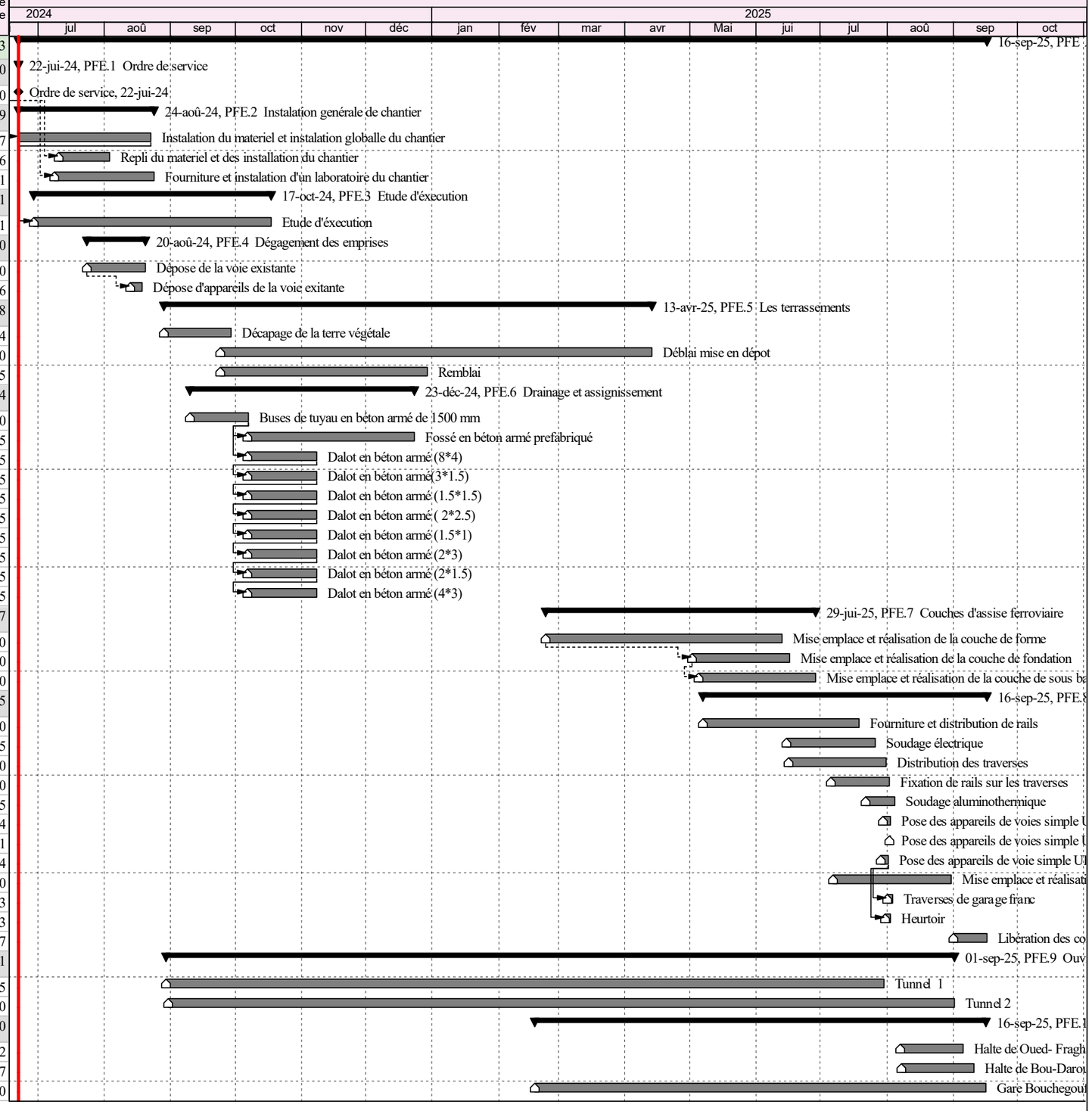
- o Le délai d'exécution de la section installation générale du chantier : 69 jours.
- o Le délai d'exécution de la section d'étude d'exécution : 121 jours.
- o Le délai d'exécution de la section dégagement des emprises :30 jours.

- Le délai d'exécution de la section des terrassements généraux : 248 jours.
- Le délai d'exécution de la section drainage et assainissement : 114 jours.
- Le délai d'exécution de la section d'assise ferroviaire :137 jours.
- Le délai d'exécution de la section des travaux de la voie : 145 jours.
- Le délai d'exécution de la section d'ouvrages d'art :401 jours.
- Le délai d'exécution de la section haltes et gare : 230 jours.

Etude APD modernisation,dedoublement et/ou rectification de la ligne miniere Annaba-Bouchegouf du PK 40+000 au PK 54+000

22/juin/2024

#	ID tâche	Nom de la tâche	Début	Fin	Durée initiale
1		***PFE Annaba-Bouchegouf du PK 40+000 au PK 54+000***	22-jui-24	16-sep-25	493
2		***PFE.1 Ordre de service***	22-jui-24	22-jui-24	0
3	A1010	Ordre de service	22-jui-24		0
4		***PFE.2 Instalation genérale de chantier***	22-jui-24	24-aoû-24	69
5	A1000	Instalation du materiel et instalation globalle du chantier	22-jui-24	22-aoû-24	67
6	A1020	Repli du materiel et des installation du chantier	11-jul-24	03-aoû-24	26
7	A1030	Fourniture et instalation d'un laboratoire du chantier	09-jul-24	24-aoû-24	51
8		***PFE.3 Etude d'éxecution***	29-jui-24	17-oct-24	121
9	A1040	Etude d'éxecution	29-jui-24	17-oct-24	121
10		***PFE.4 Dégagement des emprises***	23-jul-24	20-aoû-24	30
11	A1050	Dépose de la voie existante	23-jul-24	20-aoû-24	30
12	A1060	Dépose d'appareils de la voie exitante	13-aoû-2	18-aoû-24	6
13		***PFE.5 Les terrassements***	29-aoû-2	13-avr-25	248
14	A1070	Décapage de la terre végétale	29-aoû-2	29-sep-24	34
15	A1080	Déblai mise en dépot	24-sep-2	13-avr-25	220
16	A1090	Remblai	24-sep-2	29-déc-24	105
17		***PFE.6 Drainage et assignissement***	10-sep-24	23-déc-24	114
18	A1110	Buses de tuyau en béton armé de 1500 mm	10-sep-2	07-oct-24	30
19	A1111	Fossé en béton armé prefabriqué	07-oct-2	23-déc-24	85
20	A1120	Dalot en béton armé (8*4)	07-oct-2	08-nov-24	35
21	A1130	Dalot en béton armé(3*1.5)	07-oct-2	08-nov-24	35
22	A1140	Dalot en béton armé (1.5*1.5)	07-oct-2	08-nov-24	35
23	A1150	Dalot en béton armé (2*2.5)	07-oct-2	08-nov-24	35
24	A1160	Dalot en béton armé (1.5*1)	07-oct-2	08-nov-24	35
25	A1170	Dalot en béton armé (2*3)	07-oct-2	08-nov-24	35
26	A1180	Dalot en béton armé (2*1.5)	07-oct-2	08-nov-24	35
27	A1190	Dalot en béton armé (4*3)	07-oct-2	08-nov-24	35
28		***PFE.7 Couches d'assise ferroviaire***	23-fév-25	29-jui-25	137
29	A1220	Mise emplace et réalisation de la couche de forme	23-fév-2	13-jui-25	120
30	A1230	Mise emplace et réalisation de la couche de fondation	02-Mai-2	16-jui-25	50
31	A1240	Mise emplace et réalisation de la couche de sous ballast	05-Mai-2	29-jui-25	60
32		***PFE.8 Travaux de la voie***	07-Mai-2	16-sep-25	145
33	1300	Fourniture et distribution de rails	07-Mai-2	19-jul-25	80
34	1310	Soudage électrique	15-jui-25	26-jul-25	45
35	A1301	Distribution des traverses	16-jui-25	31-jul-25	50
36	A1311	Fixation de rails sur les traverses	06-jul-25	02-aoû-25	30
37	A1321	Soudage aluminothermique	22-jul-25	04-aoû-25	15
38	A1330	Pose des appareils de voies simple UIC 60-500-1/12	30-jul-25	02-aoû-25	4
39	A1340	Pose des appareils de voies simple UIC 60-300-1/9	02-aoû-2	02-aoû-25	1
40	A1350	Pose des appareils de voie simple UIC 60-190-1/7	29-jul-25	01-aoû-25	4
41	A1360	Mise emplace et réalisation de la couche de balllast	07-jul-25	31-aoû-25	60
42	A1380	Traverses de garage franc	01-aoû-2	03-aoû-25	3
43	A1390	Heurtoir	31-jul-25	02-aoû-25	3
44	A1400	Libération des contraintes	01-sep-2	16-sep-25	17
45		***PFE.9 Ouvrage d'art***	30-aoû-2	01-sep-25	401
46	A1450	Tunnel 1	30-aoû-2	30-jul-25	365
47	A1460	Tunnel 2	30-aoû-2	01-sep-25	400
48		***PFE.10 Halte et gare***	17-fév-25	16-sep-25	230
49	A1420	Halte de Oued- Fragha	07-aoû-2	05-sep-25	32
50	A1430	Halte de Bou-Daroua	08-aoû-2	10-sep-25	37
51	A1440	Gare Bouchegouf	17-fév-2	16-sep-25	230



Actual Level of Effort
Actual Work
Remaining Work
Critical Remaining Work
Start Constraint
Finish Constraint

- BENMANSOUR Rania
- AYACHE Oumnia

Encadrant: Mr.ZENNOUCHE Smail

Conclusion générale

Conclusion générale

Le chemin de fer algérien joue un rôle essentiel dans le progrès socio-économique du pays. Pour développer le réseau ferroviaire, la société nationale des transports ferroviaires (SNTF) a lancé des projets visant à moderniser les voies existantes en intégrant la traction électrique.

Notre projet de fin d'étude concerne une étude APD visant à moderniser, dédoubler et rectifier le tracé afin d'augmenter la vitesse à 120 km/h sur le tronçon du PK 40+000 au PK 54+000 de la ligne minière Annaba -Bouchegouf.

Dans ce projet, nous avons respecté les normes et les règlementations SNTF et UIC, afin de comprendre tous les problèmes techniques et les contraintes auxquels nous avons été confrontés, notamment : le choix du tracé en respectant le dédoublement de la ligne existante, la ligne rouge a été choisie de manière rationnelle afin de rester sur des côtés proches de celles de la voie existante, assurer la stabilité des talus et accomplir un système d'assainissement performant pour assurer la durabilité de la ligne ferroviaire. En prenant en considération les aspects environnementaux pour garantir une conception équilibrée et respectueuse de l'environnement.

En résumé, grâce à ce travail, nous avons pu acquérir des compétences en analyse de données, en utilisant des outils de modernisation et de simulation tels que CIVIL 3D, INFRAWORKS, GOOGLE EARTH, GEO5, PRIMAVERA tous en bénéficiant de l'expérience des ingénieurs. Nous avons également appris comment prendre des décisions judicieuses en fonction des contraintes et des objectifs.

Bibliographie

[1] Contributeurs aux projets Wikimedia. “Page de Liste de Wikimedia.” *Wikipedia.org*, Fondation Wikimedia, Inc., 21 Aug. 2014, fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_lignes_de_chemin_de_fer_d%27Alg%C3%A9rie.

[2] Rapport technique de la sous mission tracé (C2) section 1 ELHEDJAR-BOUCHEGOUF « SETERAIL ».

[3] Rapport géotechnique LM Est CHEBAITA-BOUCHEGOUF « SETERAIL ».

[4] Rapport Hydrologique et Hydraulique CHEBAITA-BOUCHEGOUF « COSIDER INGENIEREING ».

[5] « UIC 719, 3^{e} 3dition », Ouvrages en terre et couches d’assises ferroviaires.

[6] SNTF, Référentiel technique, version 2, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 2005.

[7] SNTF, Référentiel technique, version 2, chapitre 7.2.2 : Ouvrages en terre pour plate-formes ferroviaires.

[8] “Bouchegouf.” *Wikipedia*, 3 Jan. 2024, fr.wikipedia.org/wiki/Bouchegouf.

[9] Stéra, Guide technique : Assainissement routier, Octobre 2006.

[10] « IN-03278-Tome2 » : Ouvrage en terre

[11] « UIC 741 » Quai des gares a voyageurs-Règles pour l’implantation des bordures des quais par rapport à la voie.

[12] « IN0272 », Référentiel infrastructure, version 01 : Conception du tracé de la voie courant V≤ 220 Km/h.

[13] « UIC 739 », Marges de glissement à l’aval des signaux.

[15] Nouasria Ahlam, K. I. (2019). Caractéristiques physico-chimiques et potabilité des principales sources de la wilaya de Guelma (Nord-Est Algérien).

[16] Rétiveau, R. (1987). *La signalisation ferroviaire*. Presse de l'école nationale des Ponts et Chaussées.

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

Annexes

Annexe A : Listing Axe

V. Listing de la géométrie de l'axe en plan

Client:	**Prepared by:**
Client	Preparer
Client Company	Your Company Name
Address 1	123 Main Street

Date: 13/06/2024 12:20:54 AM

Axe en plan: Axe rania
Description:
Plage d'abscisse : Début: 40+000, Fin: 54+000

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			40+000	388806.0876	4048846.4936
CLO1	A=162.757				
	R=600.000	44.150			
			40+044	388827.4181	4048807.8413
ARC2	XC=388295.1487				
	YC=4048530.9129				
	R=600.000	885.624			
			40+930	388621.1952	4048027.2327
CLO3	A=256.905				
	R=600.000	110.000			
			41+040	388525.4112	4047973.2291
DR4	ANG=269.2622 (g)	1031.838			
			42+072	387611.5272	4047494.1612
CLO5	A=250.998				
	R=900.000	70.000			
			42+142	387549.1173	4047462.4697
ARC6	XC=387162.5671				
	YC=4048275.2298				
	R=900.000	182.488			
			42+324	387377.5259	4047401.2774
CLO7	A=250.998				
	R=900.000	70.000			
			42+394	387309.1459	4047386.3271
CLO8	A=250.998				

	R=900.000	70.000			
			42+464	387240.7659	4047371.3768
ARC9	XC=387455.7246				
	YC=4046497.4245				
	R=900.000	434.562			
			42+899	386859.5622	4047171.6576
CLO10	A=250.998				
	R=900.000	70.000			
			42+969	386808.3449	4047123.9488
DR11	ANG=251.4316 (g)	185.787			
			43+154	386674.0526	4046995.5645
CLO12	A=252.982				
	R=800.000	80.000			
			43+234	386615.3196	4046941.2596
ARC13	XC=386092.0891				
	YC=4047546.4289				
	R=800.000	260.375			
			43+495	386394.3458	4046805.7259
CLO14	A=252.982				
	R=800.000	80.000			
			43+575	386319.3176	4046777.9887
DR15	ANG=278.5178 (g)	879.154			
			44+454	385489.7434	4046486.9235
CLO16	A=252.982				
	R=800.000	80.000			
			44+534	385414.7152	4046459.1863
ARC17	XC=385716.9719				
	YC=4045718.4833				
	R=800.000	661.047			
			45+195	384967.4254	4045998.0901
CLO18	A=252.982				
	R=800.000	80.000			
			45+275	384941.9811	4045922.2537
DR19	ANG=219.5472 (g)	422.603			
			45+698	384814.2516	4045519.4156
CLO20	A=256.905				
	R=600.000	110.000			
			45+808	384784.2347	4045413.6330

ARC21	XC=385370.3718				
	YC=4045285.4019				
	R=600.000	172.325			
			45+980	384771.9190	4045242.3420
CLO22	A=256.905				
	R=600.000	110.000			
			46+090	384786.4941	4045133.3533
DR23	ANG=189.5916 (g)	284.756			
			46+375	384832.8432	4044852.3944
CLO24	A=256.905				
	R=600.000	110.000			
			46+485	384847.4183	4044743.4057
ARC25	XC=384248.9654				
	YC=4044700.3457				
	R=600.000	584.366			
			47+069	384620.9368	4044229.5621
CLO26	A=256.905				
	R=600.000	110.000			
			47+179	384530.6563	4044166.7895
DR27	ANG=263.2661 (g)	582.748			
			47+762	384042.2582	4043848.8858
CLO28	A=184.391				
	R=400.000	85.000			
			47+847	383972.7415	4043800.0475
ARC29	XC=384225.2730				
	YC=4043489.8414				
	R=400.000	588.485			
			48+435	383891.4973	4043269.4014
CLO30	A=184.391				
	R=400.000	85.000			
			48+520	383943.2174	4043202.0012
DR31	ANG=156.0776 (g)	540.906			
			49+061	384287.4955	4042784.8065
CLO32	A=273.861				
	R=1500.000	50.000			
			49+111	384319.5331	4042746.4199
ARC33	XC=385460.3951				
	YC=4043720.2956				

	R=1500.000	138.512			
			49+250	384414.1951	4042645.3697
CLO34	A=273.861				
	R=1500.000	50.000			
			49+300	384450.4108	4042610.8971
DR35	ANG=148.0769 (g)	564.252			
			49+864	384861.2660	4042224.1439
CLO36	A=264.575				
	R=1000.000	70.000			
			49+934	384911.6699	4042175.5753
ARC37	XC=384201.1833				
	YC=4041471.8647				
	R=1000.000	571.097			
			50+505	385179.3163	4041679.8448
CLO38	A=264.575				
	R=1000.000	70.000			
			50+575	385192.2728	4041611.0582
DR39	ANG=188.8904 (g)	150.878			
			50+726	385218.4690	4041462.4715
CLO40	A=273.861				
	R=1500.000	50.000			
			50+776	385227.4236	4041413.2805
ARC41	XC=386700.0957				
	YC=4041698.3012				
	R=1500.000	89.451			
			50+865	385247.0281	4041326.0182
CLO42	A=273.861				
	R=1500.000	50.000			
			50+915	385259.9748	4041277.7241
DR43	ANG=182.9719 (g)	297.197			
			51+213	385338.5236	4040991.0951
CLO44	A=252.982				
	R=800.000	80.000			
			51+293	385358.3765	4040913.6068
ARC45	XC=384577.2205				
	YC=4040740.9937				
	R=800.000	127.256			
			51+420	385375.8563	4040787.6924

CLO46	A=252.982				
	R=800.000	80.000			
			51+500	385377.8617	4040707.7264
DR47	ANG=199.4648 (g)	322.802			
			51+823	385380.5753	4040384.9361
CLO48	A=268.328				
	R=1200.000	60.000			
			51+883	385381.5797	4040324.9462
ARC49	XC=386580.9101				
	YC=4040365.0265				
	R=1200.000	66.657			
			51+949	385385.6547	4040258.4228
CLO50	A=268.328				
	R=1200.000	60.000			
			52+009	385391.9799	4040198.7588
DR51	ANG=192.7455 (g)	339.021			
			52+348	385430.5291	4039861.9366
CLO52	A=244.949				
	R=3000.000	30.000			
			52+368	385432.8253	4039842.0689
ARC53	XC=388412.2146				
	YC=4040193.1240				
	R=3000.000	84.730			
			52+453	385443.9272	4039758.0724
CLO54	A=244.949				
	R=3000.000	30.000			
			52+473	385446.8715	4039738.2903
DR55	ANG=190.5230 (g)	390.749			
			52+864	385504.8252	4039351.8626
CLO56	A=128.452				
	R=330.000	50.000			
			52+914	385510.9886	4039302.2567
ARC57	XC=385181.8700				
	YC=4039278.1532				
	R=330.000	163.441			
			53+077	385482.8966	4039142.9386
CLO58	A=128.452				
	R=330.000	50.000			

			53+127	385460.1389	4039098.4323
DR59	ANG=231.6991 (g)	269.696			
			53+397	385331.3305	4038861.4845
CLO60	A=150.624				
	R=302.500	75.000			
			53+472	385298.2849	4038794.2140
ARC61	XC=385579.8785				
	YC=4038683.7092				
	R=302.500	132.756			
			53+605	385278.0153	4038664.0901
CLO62	A=150.624				
	R=302.500	75.000			
			53+680	385289.0341	4038589.9557
DR63	ANG=187.9762 (g)	320.058			
			54+000	385349.1242	4038275.5896

Annexe B : Listing profil

VI. Profil : Abscisse Sommets et Raccordements

Client:	**Prepared by:**
Client	Preparer
Client Company	Your Company Name
Address 1	123 Main Street

Date: 13/06/2024 12:25:16 AM

Profil en long : LR FSR
Description: Plage d'abscisse : Début: 40+000, Fin: 54+000
LONGUEUR DE L'AXE : 14000.000m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			40+000	55.624
D1	PENTE= 0.15%	1229.908		
			41+230	57.499
ARC1	S= 41+274 Z=57.566			
	R= -11405.546	88.321		
			41+318	57.975
D2	PENTE= 0.93%	497.018		
			41+815	62.582
ARC2	S= 41+861 Z=63.005			
	R= -30000.000	91.246		
			41+906	63.289
D3	PENTE= 0.62%	1754.689		
			43+661	74.215
D4	PENTE= -0.66%	583.324		
			44+245	70.345
ARC4	S= 44+281 Z=70.103			
	R= -8000.000	72.924		
			44+317	70.193
D5	PENTE= 0.25%	1041.333		
			45+359	72.777
D6	PENTE= 0.32%	765.818		
			46+125	75.259
ARC6	S= 46+166 Z=75.393			
	R= -22025.707	83.079		

Annexe B : Listing profil

VI. Profil : Abscisse Sommets et Raccordements

Client:	**Prepared by:**
Client	Preparer
Client Company	Your Company Name
Address 1	123 Main Street

Date: 13/06/2024 12:25:16 AM

Profil en long : LR FSR
Description:
Plage d'abscisse : Début: 40+000, Fin: 54+000
LONGUEUR DE L'AXE : 14000.000m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			40+000	55.624
D1	PENTE= 0.15%	1229.908		
			41+230	57.499
ARC1	S= 41+274 Z=57.566			
	R= -11405.546	88.321		
			41+318	57.975
D2	PENTE= 0.93%	497.018		
			41+815	62.582
ARC2	S= 41+861 Z=63.005			
	R= -30000.000	91.246		
			41+906	63.289
D3	PENTE= 0.62%	1703.246		
			43+610	73.894
ARC3	S= 43+661 Z=74.215			
	R= -8000.000	102.886		
			43+713	73.874
D4	PENTE= -0.66%	531.881		
			44+245	70.345
ARC4	S= 44+281 Z=70.103			
	R= -8000.000	72.924		
			44+317	70.193
D5	PENTE= 0.25%	1041.333		
			45+359	72.777
D6	PENTE= 0.32%	765.818		

			46+125	75.259
ARC6	S= 46+166 Z=75.393			
	R= -22025.707	83.079		
			46+208	75.685
D7	PENTE= 0.70%	1671.186		
			47+879	87.403
ARC7	S= 47+928 Z=87.748			
	R= -6000.000	98.309		
			47+977	87.287
D8	PENTE= -0.94%	576.354		
			48+554	81.885
ARC8	S= 48+596 Z=81.489			
	R= -6000.000	84.549		
			48+638	81.688
D9	PENTE= 0.47%	322.261		
			48+960	83.209
ARC9	S= 48+995 Z=83.374			
	R= -20695.935	69.874		
			49+030	83.421
D10	PENTE= 0.13%	449.268		
			49+479	84.024
ARC10	S= 49+509 Z=84.064			
	R= -29134.347	60.000		
			49+539	84.166
D11	PENTE= 0.34%	1079.011		
			50+618	87.837
ARC11	S= 50+648 Z=87.939			
	R= -11656.003	60.000		
			50+678	88.195
D12	PENTE= 0.85%	353.020		
			51+031	91.214
ARC12	S= 51+107 Z=91.861			
	R= -15000.000	151.350		
			51+183	91.744
D13	PENTE= -0.15%	417.491		
			51+600	91.101
ARC13	S= 51+630 Z=91.055			
	R= -10980.598	60.000		

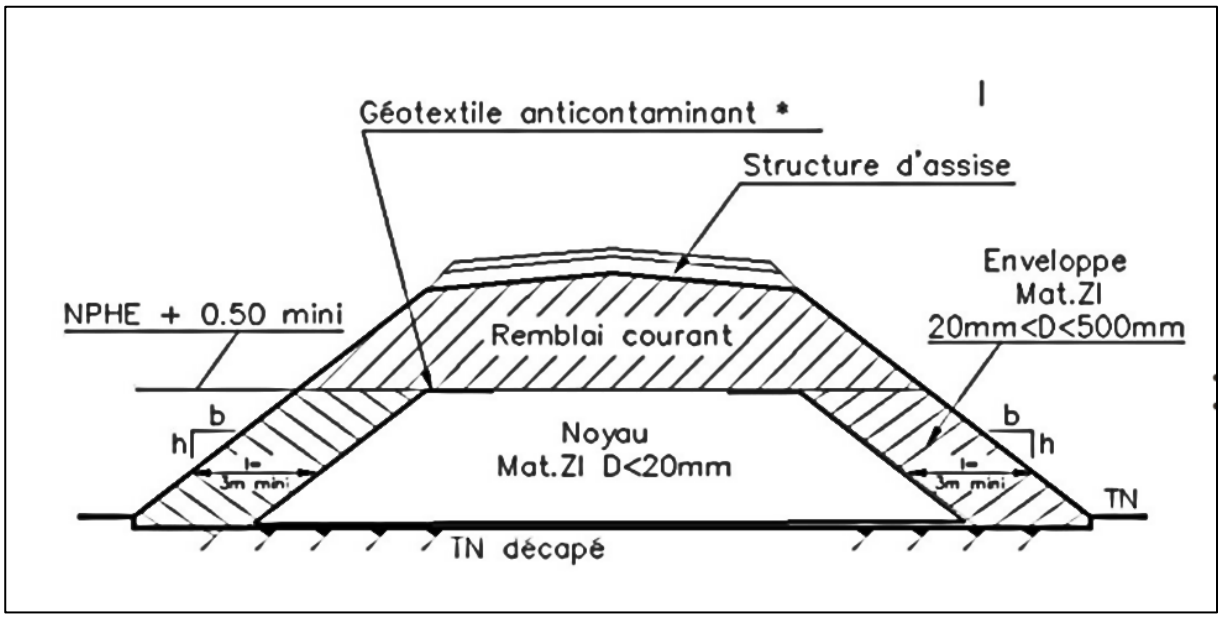
			51+660	91.172
D14	PENTE= 0.39%	884.668		
			52+545	94.643
ARC14	S= 52+575 Z=94.761			
	R= -15292.112	60.000		
			52+605	94.761
D15	PENTE= 0.00%	1394.768		
			54+000	94.761

Annexe C

Annexe C-1 : coefficient de rugosité Ks

Nature de l'ouvrage	*En terre*	*Buse métallique*	*Maçonnerie*	*Béton (Dalot)*	*Béton (Buse préfabriquée)*
Ks	30	40	50	70	

Annexe C-2 : Zone inondable



Annexe D

Annexe D-1 : Les essais de sondages pressiométrique et pénétromètre dynamique lourd

PK	*Essai in situ*	*Prof (m)*
40+0451`	SP N°1	5
	PDL 1	Refus
40+600	PDL 2	Refus
41+000	SP 2	12
41+165	PDL 3	Refus
41+350	PDL 4	Refus
42+200	PDL 5	Refus
44+350	PDL 6	Refus
44+773	PDL 7	Refus
45+406	PDL 8	Refus
45+545	SP 3	14
45+795	PDL 9	Refus
45+980	PDL10	Refus
46+497	SP 4	12
46+600	PDL 11	Refus
47+575	SP 5	24
47+875	SP6	15
48+250	PDL 12	Refus
48+410	PDL 13	Refus
48+540	PDL 14	Refus
48+700	PDL15	Refus
48+875	PDL 16	Refus
48+584	PDL17	Refus
48+850	PDL 18	Refus
49+300	PDL 19	Refus
49+380	SP 7	12
	PDL 20	Refus
49+700	PDL 21	Refus
49+750	PDL22	Refus
50+500	PDL23	Refus
50+500	PDL24	Refus
51+180	PDL25	Refus
51+600	PDL26	Refus
52+180	SP 8	14
52+470	PDL 27	Refus

Annexe D-2 : Essais géotechniques

Localisation		*Essai in situ*	*Prof (m)*	*Essai au laboratoire*
N PU	*PK*			
1	**Pk 40+600**	-Sondages carotté -Forage pressiométrique avec essais -Pénétromètre dynamique -Pénétromètre statique lourd -Puits de reconnaissance	4	Analyse granulométrique, densité, Limite d'Atterberg, essai Proctor modifier, VBS.
2	**PK 41+ 350**		4	Analyse granulométrique, densité, Limite d'Atterberg, essai Proctor modifier, VBS.
3	**PK 43+ 850**		4	Analyse granulométrique, densité, Limite d'Atterberg Essai Proctor modifier, VBS, Analyse chimique.
4	**PK 46+ 592**		4	Teneur en eau, Analyse granulométrique, Densité, Limite d'Atterberg, Essai Proctor modifier, VBS.
5	**PK 48+075**		4	Teneur en eau, Analyse granulométrique, Densité, Limite d'Atterberg, Essai Proctor modifier, VBS.
6	**PK 48+ 250**		4	Teneur en eau, Analyse granulométrique, Densité, Limite d'Atterberg, Essai Proctor modifier, VBS.
7	**PK 48+ 400**		4	Teneur en eau, Analyse granulométrique, Densité, Limite d'Atterberg, Essai Proctor modifier, VBS.
8	**PK 48+ 450**		4	Teneur en eau, Analyse granulométrique, Densité, Limite d'Atterberg, Essai Proctor modifier, VBS, Analyse chimique.
9	**PK 48+ 562**		4	Teneur en eau, Analyse granulométrique, Densité, Limite d'Atterberg, Essai, Proctor modifier, VBS.
10	**PK 48+ 740**		4	Teneur en eau, Analyse granulométrique, Densité, Limite d'Atterberg, Essai Proctor modifier, VBS.
11	**PK 49+ 164**		4	Teneur en eau, Analyse granulométrique, Densité, Limite

				d'Atterberg, Essai Proctor modifier, VBS.
12	**PK 49+ 567**		4	Analyse granulométrique, Densité, Limite d'Atterberg Essai Proctor modifier, VBS.
14	**PK 49+ 613**		4	Teneur en eau, Analyse granulométrique, Densité, Limite d'Atterberg, Essai Proctor modifier, VBS.
15	**PK 50+ 400**		4	Analyse granulométrique, Densité, Limite d'Atterberg, Essai Proctor modifier, VBS, Analyse chimique.
16	**PK 52+ 460**		4	Analyse granulométrique, Densité, Limite d'Atterberg, Essai Proctor modifier, VBS.

Annexe E

Annexe E-1 : Stabilité statique d'un remblai

Settings

Standard - safety factors

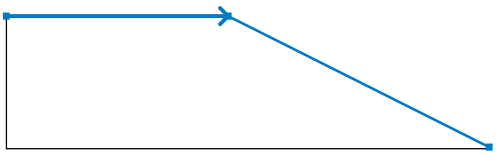
Stability analysis

Earthquake analysis : Standard

Verification methodology: Safety factors (ASD)

Safety factors			
Permanent design situation			
Safety factor :	SF_s =	1,50	[–]

Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	8,00	13,60	8,00	29,60	0,00

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m³]
1	remblai		30,00	5,00	20,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m³]	γ_s [kN/m³]	n [–]
1	remblai		20,00		

Soil parameters

Remblai

Unit weight : γ=20,00 kN/m^3

Stress-state : effective

Angle of internal friction : Φ_{ef} =30,00°

Cohesion of soil c_{ef}= 5,00 kPa

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		13,60	8,00	0,00	8,00	remblai
		0,00	-0,10	29,60	-0,10	
		29,60	0,00			

Surcharge

No.	Type	Type of action	Location z [m]	Origin x [m]	Length l [m]	Width b [m]	Slope α [°]	Magnitude q, q_1, f, F	q_2	unit
1	strip	permanent	on terrain	x = 3,00	l = 1,44		0,00	30,00		kN/m²
2	strip	permanent	on terrain	x = 5,50	l = 1,44		0,00	30,00		kN/m²

Surcharges

No.	Name
1	charge 1
2	charge 2

Water

Water type: No water

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Earthquake not included.

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters						
Center :	x =	29,07	[m]	Angles :	□1 =	-50,69 [°]
	z =	21,67	[m]		□2 =	0,91 [°]
Radius :	R =	21,58	[m]			
The slip surface after optimization.						

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : F_a =262,47 kN/m
Sum of passive forces : F_p =442,72 kN/m

Sliding moment : M_a =5664,02 kNm/m
Resisting moment : M_p =9554,00 kNm/m

Factor of safety = 1,69 > 1,50
Slope stability ACCEPTABLE

Annexe E-2 : Stabilité sismique d'un remblai

Settings

(input for current task)

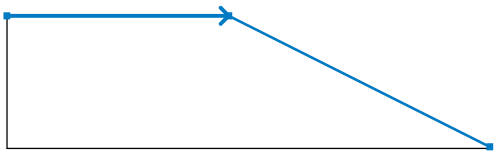
Stability analysis

Earthquake analysis : Standard

Verification methodology: Safety factors (ASD)

Safety factors			
Permanent design situation			
Safety factor :	SF_S =	1,10	[–]

Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	8,00	13,60	8,00	29,60	0,00

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	□ef [°]	cef [kPa]	□ [kN/m3]
1	remblai		30,00	5,00	20,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	□sat [kN/m3]	□s [kN/m3]	n [–]
1	remblai		20,00		

Soil parameters

Remblai

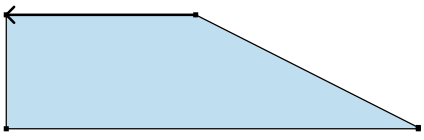
Unit weight : γ=20,00 kN/m^3

Stress-state : effective

Angle of internal friction : Φ_{ef} =30,00°

Cohesion of soil c_{ef}= 5,00 kPa

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		13,60	8,00	0,00	8,00	remblai
		0,00	-0,10	29,60	-0,10	
		29,60	0,00			

Surcharge

No.	Type	Type of action	Location z [m]	Origin x [m]	Length l [m]	Width b [m]	Slope □ [°]	Magnitude q, q1, f, F	q2	unit
1	strip	permanent	on terrain	x = 3,00	l = 1,44		0,00	30,00		kN/m2
2	strip	permanent	on terrain	x = 5,50	l = 1,44		0,00	30,00		kN/m2

Surcharges

No.	Name
1	charge 1
2	charge 2

Water

Water type: No water

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Horizontal seismic coefficient : K_h =0,1250

Vertical seismic coefficient : K_v =0,0400

Settings of the stage of construction

Desing situation: permanent

Results (Stage of construction 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters							
Center :	x =	29,18	[m]	Angles :	□1 =	-49,37	[°]
	z =	22,77	[m]		□2 =	0,60	[°]
Radius :	R =	22,68	[m]				
The slip surface after optimization.							

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : F_a =334,28 kN/m

Sum of passive forces : F_p =430,11 kN/m

Sliding moment : M_a =7581,47 kNm/m

Resisting moment : M_p =9754,91 kNm/m

Factor of safety = 1,29 > 1,10

Slope stability ACCEPTABLE

Annexe E-3 : Stabilité statique d'un remblai

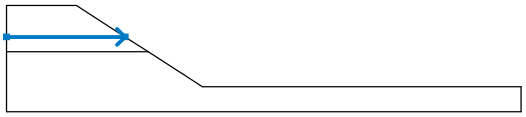
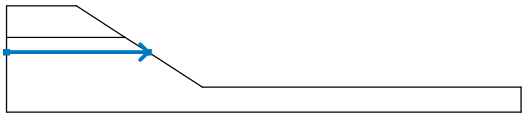
Stability analysis

Earthquake analysis : Standard

Verification methodology: Safety factors (ASD)

Safety factors			
Permanent design situation			
Safety factor :	SF_S =	1,50	[–]

Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	16,30	13,60	16,30	23,05	10,00
		27,55	7,00	38,05	0,00	100,00	0,00
2		0,00	10,00	23,05	10,00		
3		0,00	7,00	27,55	7,00		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	□ef [°]	cef [kPa]	□ [kN/m3]
1	remblai		30,00	5,00	20,00
2	gres		20,00	50,00	40,00
3	marne		21,20	60,00	20,63

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	□sat [kN/m3]	□s [kN/m3]	n [–]
1	remblai		20,00		
2	gres		40,00		
3	marne		20,63		

Soil parameters

Remblai

Unit weight : γ=20,00 kN/m^3

Stress-state : effective

Angle of internal friction : Φ_{ef} =30,00°

Cohesion of soil c_{ef}= 5,00 kPa

Saturated unit weight γ_{sat}=20,00 kN/m^3

gres

Unit weight : γ=40,00 kN/m^3

Stress-state : effective

Angle of internal friction : Φ_{ef} =20,00°

Cohesion of soil c_{ef}= 50,0 kPa

Marne

Unit weight : γ=20,63 kN/m^3

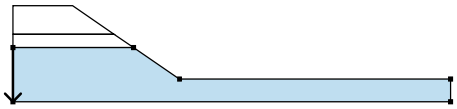
Stress-state : effective

Angle of internal friction : Φ_{ef} =21,20°

Cohesion of soil c_{ef}= 60,00 kPa

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		23,05	10,00	13,60	16,30	remblai
		0,00	16,30	0,00	10,00	

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
2		27,55	7,00	23,05	10,00	gres
		0,00	10,00	0,00	7,00	
3		0,00	7,00	0,00	-5,00	marne
		100,00	-5,00	100,00	0,00	
		38,05	0,00	27,55	7,00	

Surcharge

No.	Type	Type of action	Location z [m]	Origin x [m]	Length l [m]	Width b [m]	Slope □ [°]	Magnitude q, q1, f, F	Magnitude q2	Magnitude unit
1	strip	permanent	on terrain	x = 3,00	l = 1,44		0,00	30,00		kN/m2
2	strip	permanent	on terrain	x = 5,50	l = 1,44		0,00	30,00		kN/m2

Surcharges

No.	Name
1	charge 1
2	charge 2

Water

Water type: No water

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Earthquake not included

Settings of the stage of construction

Design situation: permanent

Results (Stage of construction 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters							
Center :	x =	33,70	[m]	Angles :	□1 =	-62,36	[°]
	z =	30,67	[m]		□2 =	8,11	[°]
Radius :	R =	30,98	[m]				
The slip surface after optimization.							

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : F_a =2085,8847 kN/m

Sum of passive forces : F_p =3668,53 kN/m

Sliding moment : M_a =64620,56 kNm/m

Resisting moment : M_p =113650,91 kNm/m

Factor of safety = 1,76 > 1,50

Slope stability ACCEPTABLE

Annexe E-4 : Stabilité sismique d'un remblai

Settings

(input for current task)

Stability analysis

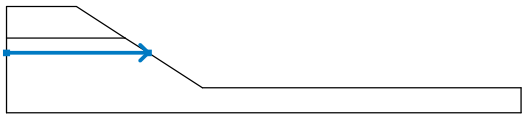
Earthquake analysis : Standard

Verification methodology: Safety factors (ASD)

Safety factors			
Permanent design situation			
Safety factor :	SF_S =	1,10	[–]

Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	16,30	13,60	16,30	23,05	10,00
		27,55	7,00	38,05	0,00	100,00	0,00
2		0,00	10,00	23,05	10,00		

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
3		0,00	7,00	27,55	7,00		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	□ef [°]	cef [kPa]	□ [kN/m3]
1	remblai		30,00	5,00	20,00
2	gres		20,00	50,00	40,00
3	marne		21,20	60,00	20,63

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	□sat [kN/m3]	□s [kN/m3]	n [–]
1	remblai		20,00		
2	gres		40,00		
3	marne		20,63		

Soil parameters

Remblai

Unit weight : γ=20,00 kN/m^3

Stress-state : effective

Angle of internal friction : Φ_{ef} =30,00°

Cohesion of soil c_{ef}= 5,00 kPa

gres

Unit weight : γ=40,00 kN/m^3

Stress-state : effective

Angle of internal friction : Φ_{ef} =20,00°

Cohesion of soil c_{ef}= 50,0 kPa

Marne

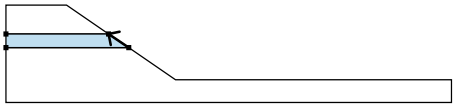
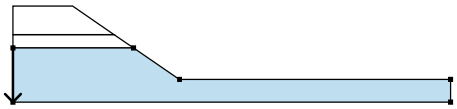
Unit weight : γ=20,63 kN/m^3

Stress-state : effective

Angle of internal friction : Φ_{ef} =21,20°

Cohesion of soil c_{ef}= 60,00 kPa

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		23,05	10,00	13,60	16,30	remblai
		0,00	16,30	0,00	10,00	
2		27,55	7,00	23,05	10,00	gres
		0,00	10,00	0,00	7,00	
3		0,00	7,00	0,00	-5,00	marne
		100,00	-5,00	100,00	0,00	
		38,05	0,00	27,55	7,00	

Surcharge

No.	Type	Type of action	Location z [m]	Origin x [m]	Length l [m]	Width b [m]	Slope □ [°]	Magnitude q, q1, f, F	q2	unit
1	strip	permanent	on terrain	x = 3,00	l = 1,44		0,00	30,00		kN/m^2
2	strip	permanent	on terrain	x = 5,50	l = 1,44		0,00	30,00		kN/m^2

Surcharges

No.	Name
1	charge 1

No.	Name
2	charge 2

Water

Water type: No water

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Horizontal seismic coefficient : K_h =0,1250

Vertical seismic coefficient : K_v =0,0400

Settings of the stage of construction

Design situation: permanent

Results (Stage of construction 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters							
Center :	x =	33,93	[m]	Angles :	□1 =	-60,09	[°]
	z =	32,77	[m]		□2 =	7,19	[°]
Radius :	R =	33,03	[m]				
The slip surface after optimization.							

Slope stability verification (Bishop)
Sum of active forces : F_a =2531,94 kN/m
Sum of passive forces : F_p =3614,17 kN/m
Sliding moment : M_a =83630.07 kNm/m
Resisting moment : M_p =119376,10 kNm/m
Factor of safety = 1,43 > 1,10
Slope stability ACCEPTABLE

Annexe E-5 : Stabilité statique d'un déblai

Settings

Standard - safety factors

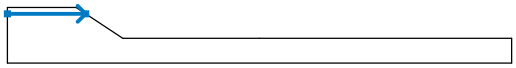
Stability analysis

Earthquake analysis : Standard

Verification methodology: Safety factors (ASD)

Safety factors			
Permanent design situation			
Safety factor :	SF_S =	1,50	[–]

Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	6,20	13,60	6,20	15,55	4,90
		22,90	0,00	50,00	0,00	100,00	0,00
2		0,00	4,90	15,55	4,90		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	□ef [°]	cef [kPa]	□ [kN/m3]
1	couche1		23,51	29,00	21,50
2	couche 2		21,68	31,00	25,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	□sat [kN/m3]	□s [kN/m3]	n [–]
1	couche1		21,50		
2	couche 2		25,00		

Soil parameters

Couche 1

Unit weight : γ=21,50 kN/m^3

Stress-state : effective

Angle of internal friction : Φ_{ef} =23,51°

Couche 2

Unit weight : γ=25,00 kN/m^3

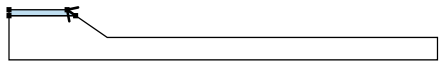
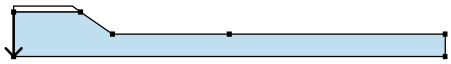
Stress-state : effective

Angle of internal friction : Φ_{ef} =21,68°

Cohesion of soil c_{ef}= 29,00 kPa

Cohesion of soil c_{ef}= 31,00 kPa

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		15,55	4,90	13,60	6,20	couche1
		0,00	6,20	0,00	4,90	
						
2		0,00	4,90	0,00	-5,00	couche 2
		100,00	-5,00	100,00	0,00	
		50,00	0,00	22,90	0,00	
		15,55	4,90			

Surcharge

No.	Type	Type of action	Location z [m]	Origin x [m]	Length l [m]	Width b [m]	Slope □ [°]	Magnitude q, q1, f, F	q2	unit
1	strip	permanent	on terrain	x = 30,00	l = 1,44		0,00	30,00		kN/m2
2	strip	permanent	on terrain	x = 35,00	l = 1,44		0,00	30,00		kN/m2

Surcharges

No.	Name
1	charge 1
2	charge 2

Water

Water type: No water

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Earthquake not included.

Settings of the stage of construction

Design situation: permanent

Results (Stage of construction 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters							
Center :	x =	20,39	[m]	Angles :	α_1 =	-69,01	[°]
	z =	9,84	[m]		α_2 =	14,42	[°]
Radius :	R =	10,16	[m]				
The slip surface after optimization.							

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : F_a =313,85 kN/m

Sum of passive forces : F_p =753,01 kN/m

Sliding moment : M_a =3188,73 kNm/m

Resisting moment : M_p =7650,55 kNm/m

Factor of safety = 2,40 > 1,50

Slope stability ACCEPTABLE

Annexe E-6 : Stabilité sismique d'un déblai

Settings

(input for current task)

Stability analysis

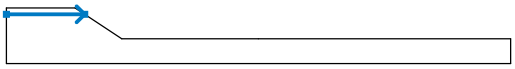
Earthquake analysis : Standard

Verification methodology: Safety factors (ASD)

Safety factors			
Permanent design situation			
Safety factor :	SF_S =	1,10	[–]

Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	6,20	13,60	6,20	15,55	4,90
		22,90	0,00	50,00	0,00	100,00	0,00

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
2		0,00	4,90	15,55	4,90		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	□ef [°]	cef [kPa]	□ [kN/m3]
1	couche1		23,51	29,00	21,50
2	couche 2		21,68	31,00	25,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	□sat [kN/m3]	□s [kN/m3]	n [–]
1	couche1		21,50		
2	couche 2		25,00		

Soil parameters

Couche 1

Unit weight : γ=21,50 kN/m^3

Stress-state : effective

Angle of internal friction : Φ_{ef} =23,51°

Cohesion of soil c_{ef}= 29,00 kPa

Couche 1

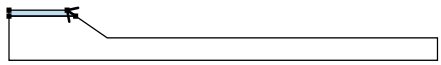
Unit weight : γ=25,00 kN/m^3

Stress-state : effective

Angle of internal friction : Φ_{ef} =21,68°

Cohesion of soil c_{ef}= 31,00 kPa

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		15,55	4,90	13,60	6,20	couche1
		0,00	6,20	0,00	4,90	
						
2		0,00	4,90	0,00	-5,00	couche 2
		100,00	-5,00	100,00	0,00	
		50,00	0,00	22,90	0,00	
		15,55	4,90			

Surcharge

No.	Type	Type of action	Location z [m]	Origin x [m]	Length l [m]	Width b [m]	Slope □ [°]	Magnitude q, q1, f, F	Magnitude q2	Magnitude unit
1	strip	permanent	on terrain	x = 30,00	l = 1,44		0,00	30,00		kN/m2
2	strip	permanent	on terrain	x = 35,00	l = 1,44		0,00	30,00		kN/m2

Surcharges

No.	Name
1	charge 1
2	charge 2

Water

Water type: No water

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Horizontal seismic coefficient : K_h =0,1250

Vertical seismic coefficient : K_V =0,0400

Settings of the stage of construction

Design situation: permanent

Results (Stage of construction 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters							
Center :	x =	20,06	[m]	Angles :	α_1 =	-65,25	[°]
	z =	10,93	[m]		α_2 =	14,70	[°]
Radius :	R =	11,30	[m]				
The slip surface after optimization.							

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : F_a =416,93 kN/m

Sum of passive forces : F_p =808,89 kN/m

Sliding moment : M_a =4711,31 kNm/m

Resisting moment : M_p =9140,45 kNm/m

Factor of safety = 1,94 > 1,10

Slope stability ACCEPTABLE

Annexe F : Classification des sols selon UIC

Classe de qualité de sol	*Classification des sols (identification géotechnique)*
QS0 : sols impropres	0.1 sols organiques 0.2 sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonné humides et donc non comparables. 0.3 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 organique ».
QS1 : sols médiocres	1.1 Sols comportant plus de 40% de fines (sauf sols 0.2). 1.2 Roches très évolutives par exemple : -craies de pd<1.7 t/m3et de friabilité forte- Marnes- Schistes altérés. 1.3 sols comportant de 15 à 40% de fines (sauf sols 0.2). 1.4 Roches évolutives par exemple : -craies de pd <1.7<t/m3 et de friabilité faible-Schistes non altérés 1.5 Roches tendres par exemple : Si Microdeval en présence d'eau (MED)>40 et Los Angeles LA>40.
QS2 : sols moyens	2.1 sols comportant de 5 à 15%de fines 2.2 sols comportant moins de 5%de fines mais uniformes (Cu≤6). 2.3 Roches moyennement dures par exemple : Si 25<MED ≤40 et 30 <LA < 40.
QS3 : bon sols	3.1 Sols comportant moins de 5%de fines 3.2 Roches dures par exemple : Si MDE ≤25 et LA ≤ 30.

Annexe G : Détermination de la classe de portance de la plate-forme

Classe de qualité du sol	*Classe de portance envisagées pour la plate-forme*	*Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance*	
		Qualité	*Epaisseur minimale ef en mètre*
QS1	P1 P2 P2 **P3**	QS1 QS2 QS3 **QS3**	- 0.50 0.35 **0.50**
QS2	P2 P3	QS2 QS3	- 0.35
QS3	P3	QS3	-

Annexe H : Les épaisseurs minimales de la couche d'assise

E = 0.70 m	Pour les plateformes de classe de portance P1 a
E = 0.55 m	Pour les plateformes de classe de portance P2 a
E = 0.45 m	Pour les plateformes de classe de portance P3 a
a = 0	Pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V> 160 km/, 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 2.6 m
b = 2.5- L/2	Pour les traverses de béton de longueur L (b en m, L en m peut être négatif si L >2.5 m)
c = 0	Pour un dimensionnement normal
c = -0.10 m	A titre exceptionnel pour des Operations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que 7,8,9, sans voyageur -b
d = 0	Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorques ne dépasse pas 200 KN
d = 0.05 m	Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorques ne dépasse pas 225KN
d = 0.12 m	Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorques ne dépasse pas 250KN
f =0	Pour toutes les lignes à vitesse ≤160 Km/h et pour les plates-formes de portance P3, des lignes a grandes vitesses.
f = 0.05 m	Pour les plateformes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse a
f = 0.1 m	Pour les plateformes de classe de portance P2 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