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 de dédoublement, modernisation et/ou rectification du tracé pour augmenter la capacité de la ligne ferroviaire minière EST (Annaba-Tebessa) sur le tronçon du PK 62+000 au PK 74+000, avec la conception de la gare Aouinet, et la modélisation de la ligne en BIM

Présenté par :

BENDRIHEM Oussama
BELHAMRA Akram

Encadré par :

Mr. DERRADJI Ayachi

Promotion 2022 / 2023

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

REMERCIEMENT

Au premier lieu, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers Dieu qui nous a guidés et soutenus tout au long de ce travail de mémoire. Sa présence et Sa bénédiction ont été sources de force et d'inspiration pour nous.

Nous souhaitons également exprimer notre gratitude envers notre encadreur, Mr AYACHI Derradji, pour son encadrement précieux et ses conseils avisés. Sa disponibilité, sa patience et son expertise ont été d'une importance capitale pour la réussite de notre travail. Ses orientations éclairées et ses encouragements constants ont été des moteurs essentiels de notre progression.

En outre, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers Mr MORSLI, notre enseignant, pour son soutien inestimable tout au long de notre parcours. Sa passion pour l'enseignement, sa maîtrise du domaine des travaux publics et son dévouement envers notre réussite ont été une source d'inspiration pour nous. Ses conseils éclairés, ses retours constructifs et son soutien constant ont contribué de manière significative à notre développement académique.

Nous ne pouvons également pas passer sous silence l'apport précieux des enseignants de l'École Nationale Supérieure des Travaux Publics. Leurs enseignements enrichissants, leur disponibilité pour répondre à nos questions et leur volonté de partager leurs connaissances ont été des éléments clés de notre parcours académique.

Nous souhaitons exprimer notre gratitude envers les autres membres du personnel de l'ENSTP, notamment Mme. Bourebia, Mme. Makoudi et Mme. Boumehraz, Mme Nassima, pour leur soutien et leur contribution à notre formation.

Enfin, nos vifs remerciements vont aux membres du jury qui ont accepté d'examiner attentivement notre travail de recherche et de l'enrichir par leurs propositions. Leur intérêt manifesté à l'égard de notre étude est une reconnaissance précieuse de nos efforts. Leurs suggestions et commentaires constructifs ont contribué à améliorer la qualité de notre recherche et ont renforcé notre démarche scientifique.

C'est grâce à l'ensemble de ces personnes que nous avons pu mener à bien ce travail de mémoire. Leur soutien, leur expertise et leurs contributions nous ont permis de franchir des étapes importantes dans notre parcours académique.

Nous leur exprimons notre gratitude la plus sincère et nos remerciements les plus chaleureux pour leur accompagnement et leur contribution précieuse à notre formation et à la réalisation de ce travail de mémoire.

Oussama BENDRIHEM

Dédicace

À Dieu, qui nous a accordé la force, la persévérance et la guidance nécessaires pour mener à bien ce travail de mémoire, nous dédions nos remerciements les plus sincères.

À mes chers parents

Je dédie ce travail à vous, mes piliers de soutien et sources d'inspiration inépuisables. Votre amour inconditionnel, votre encouragement constant et votre dévouement ont été les fondations solides sur lesquelles j'ai pu construire ma réussite académique.

À mon cher frère Abdeljalil et à mes sœurs bien-aimées,

Je dédie ce travail à vous, mes compagnons de vie et mes plus fidèles alliés. Votre présence dans ma vie a été une source de bonheur, de soutien et de force inébranlable.

À toute ma chère famille,

C'est avec une profonde gratitude que je dédie ce travail à vous, membres précieux de ma famille élargie.

À mon binôme Akram BELHAMRA,

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude pour ton soutien indéfectible et ta disponibilité tout au long de notre parcours

A mes amies : Djamel, Abdelkader, Mahieddine, Hichem, Faicel, Tayeb, Fetah, Amine.

À l’ensemble des étudiants de ma promotion.

Akram BELHAMRA

Dédicace

A mes chers parents,

Pour leurs sacrifices, leur disponibilité et leur soutien tout au long de mon

Parcours universitaire

A mes frère Amrane et Ma chère sœur

Pour leur appui et leur encouragement

A toute ma famille,

À mes meilleurs amis :

Charafa , wail ,raouf melizi ,Oussama bendrihem, diya, rahim boulahya, mahi, tiyeb, raouf Ouranadeur , anis ,zied, houssem, youssef , jamal ,amin, aymen ,moumen, safwan, amrabet .

À l'ensemble des étudiants de ma promotion.

ملخص:

هذه المذكرة عبارة عن دراسة مفصلة لمقطع سكة حديدية في إطار مشروع تجديد الخط المنجمي الرابط بين ولايتي عنابة وتبسة، وتهدف الدراسة إلى زيادة القدرة الاستيعابية للخط ورفع سرعته إلى 120 كيلومترًا في الساعة. (يتراوح المقطع المراد دراسته بين النقطة الكيلومترية 62 والنقطة الكيلومترية74.)

بالإضافة إلى ذلك، تتضمن المذكرة تصميمًا وتهيئة لمحطة الركاب في دائرة العوينات، وتشمل أيضًا وضع مخطط للأعمال المطلوبة ونمذجة مقطع السكة الحديدية باستخدام تقنية (**B**uilding **I**nformation **M**odeling) **BIM**.

صممت هذه الدراسة وفقا لمعايير الإتحاد الدولي للسكك الحديدية **UIC** وبناء على توصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية **SNTF**وبمساعدة البرامج الهندسية التالية :Civil 3d 2022, Autocad 2022, Infraworks 2022

كلمات مفتاحية: سكة حديدية، محطة، دراسة.

Résumé :

Le présent mémoire porte sur une étude détaillée d'une section de voie ferrée dans le cadre du projet de dédoublement, modernisation et/ou rectification de tracé de la ligne minière Annaba-Tébessa. L'étude vise à augmenter la capacité de la ligne et à augmenter sa vitesse à 120 kilomètres par heure. (La section à étudier s'étend du PK 62+000 au PK 74+000)

En outre, le mémoire comprend la conception et l'aménagement d'une gare voyageurs à Aouinet. Il comprend également l'établissement d'un plan des travaux requis et la modélisation de la section de voie ferrée à l'aide de la technologie BIM (Building Information Modeling).

Cette étude a été réalisée conformément aux normes de l'Union internationale des chemins de fer (UIC) et en fonction des recommandations de la Société nationale des transports ferroviaires (SNTF), avec l'aide des logiciels d'ingénierie suivants : Civil 3d 2022, Autocad 2022, Infraworks 2022.

Mots clés : BIM, Civil 3D, voie ferrée, dédoublement, Gare.

Abstract:

This project is a detailed study of a railway section within the framework of the mine line (Annaba-Tébessa) renewal-duplication project. The study aims to increase the line's capacity and raise its speed to 120 kilometers per hour. (The section to be studied ranges from kilometer point 62 to kilometer point 74.)

Additionally, the thesis includes the design and preparation of a passenger station in Aouinet. It also involves the development of a plan for the required works and the modeling of the railway section using Building Information Modeling (BIM) technology.

This study has been designed according to the standards of the International Union of Railways (UIC) and based on the recommendations of the National Railway Transportation Company (SNTF), with the assistance of the following engineering software: Civil 3d 2022, Autocad 2022, Infraworks 2022.

Keywords: BIM, Civil 3D, Railways, duplication, Station.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE **1**

I.1 LE RESEAU FERROVIAIRE EN ALGERIE

I.2 Introduction 3

I.3 Historique de chemin de fer en Algérie 3

I.4 Transport ferroviaire en Algérie 4

I.5 Avantage de transport ferroviaire 4

I.6 Conclusion 5

II. PRESENTATION DU PROJET

II.1 Introduction 6

II.2 Présentation du site 7

II.2.1 Situation géographique 7

II.2.2 Le relief 7

II.2.3 Climat/température 8

II.2.4 Sismicité 8

II.3 Description du projet 8

II.3.1 Caractéristique de la voie 9

II.4 Conclusion 10

III. SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

III.1 Introduction 11

III.2 Le rail 11

III.3 Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1 12

III.4 Assemblage des rails 13

III.4.1 Eclisse 13

III.4.2 Soudures 13

III.4.3 Les travers 14

III.4.4 Les attaches 15

III.5 L'appareil de voie 15

III.6 . Conclusion 16

IV. TRACE EN PLAN :

IV.1 Introduction 18

IV.2 Trace en plan 18

IV.3 Condition et règles de tracé selon la SNTF 18

IV.4 Les éléments de trace en plan 19

IV.4.1 Alignement 19

IV.4.2 Arc de cercle 19
IV.4.3 Raccordement progressive 19
IV.5 Les caractéristiques géométriques du tracé 19
IV.5.1 Longueur minimum des éléments de tracé 19
IV.5.2 Dévers 19
IV.5.3 Rayon horizontale minimum 23
IV.5.4 Raccordements progressifs 23
IV.6 Tableau récapitulatif des éléments de tracé en plan 24
IV.8 Conclusion 26
V. PROFIL EN LONG :
V.1 Introduction 25
V.2 Définition 25
V.3 Eléments de composition de profil en long 25
V.3.1 Choix des alignements droits 25
V.3.2 Choix des cercles 26
V.4 Application au projet 27
V.5 Les contraintes le long du tracé 27
V.6 Conclusion 27
VI. ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE
VI.1 Introduction 28
VI.2 Etude géologique 28
VI.2.1 Géologie régionale 28
VI.2.2 Géomorphologie 28
VI.2.3 Lithologie 28
VI.2.4 Sismicité 29
VI.3 Etude géotechnique 30
VI.3.1 Programme d'investigation géotechnique 30
VI.4 Campagne de reconnaissance géotechnique 35
VI.4.1 Essai in situ 36
VI.4.2 Essai de laboratoire 36
VI.4.3 Résultat des essais géotechnique 37
VI.5 Réutilisation des sols en corps de remblais 40
VI.6 Conclusion 40
VII. ASSISE FERROVIAIRE
VII.1 Introduction 41
VII.2 Le ballast 41

VII.2.1 Caractéristique de ballast 41
VII.3 Sous couche 41
VII.3.1 Rôle de la sous couche 41
VII.4 La plate-forme 42
VII.4.1 Définition 42
VII.4.2 Classification des sols pour la plateforme 42
VII.4.3 La classe de portance de la plateforme 43
VII.4.4 Plate- forme proposée 43
VII.5 Dimensionnement des couches d'assise 43
VII.6 Les paramètres de dimensionnement 44
VII.7 Application au projet 45
VII.7.1 Synthèse de la solution 45
VII.8 Conclusion 45
VIII. ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE
VIII.1 Introduction 46
VIII.2 Etude hydrologique 46
VIII.2.Caractéristiques morphologiques des bassins versants 47
VIII.3 Calcul hydraulique 49
VIII.3.2 Etude d'Assainissement 52
VIII.3.3 Ouvrages d'assainissement longitudinaux 55
VIII.4 Conclusion 58
IX. PROFIL EN TRAVERS
IX.1 Introduction 59
IX.1.1 Profil en travers type 59
IX.1.2 Profil en travers courant 59
IX.2 Les profils en travers affectés au projet 59
X. TERRASSEMENT ET OUVRAGES D'ART
X.1 Les terrassements 61
X.1.1 Pente de talus 61
X.1.2 Application au projet 61
X.1.3 Epaisseur de la terre végétale 62
X.1.4 Récapitulatifs des quantités de matériaux utilisées 62
X.2 Ouvrages d'art 63
X.2.1 Les croisements avec les routes 63
X.3 Conclusion 64
XI. CONCEPTION ET AMENAGEMENT DE LA GARE AOUINET

XI.1 Introduction 65
XI.2 Types de gares 65
XI.3 Plan de masse d'une gare 65
XI.4 Aménagement de la gare Aouinet 65
XI.4.1 Installations d'une gare à voyageur 65
XI.4.2 Tracé en plan et profil en long 66
XI.4.3 Garage franc 66
XI.5 La longueur utile d'une voie de stationnement 67
XI.5.1 Les quais 67
XI.5.2 Passerelle supérieure 68
XI.5.3 Appareils de Voie 68
XI.6 Assainissement de la gare 70
XII. SIGNALISATION FERROVIAIRE
XII.1 Introduction 72
XII.2 Rôle de l'installation de signalisation 72
XII.3 Implantation des signaux en Algérie 72
XII.4 Principe de signalisation ferroviaire 72
XII.5 Les différents types de blocks 72
XII.6 Système de contrôle et de protection ERTMS 73
XII.7 Application au projet 73
XIII. ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT
XIII.1 Introduction 74
XIII.2 Les éléments environnementaux pris en compte 74
XIII.2.1 Les ressource en eaux 74
XIII.2.2 Les zones urbanisées 74
XIII.2.3 Les zones agricoles 75
XIII.2.4 Environnements biologiques 75
XIII.3 Identification et description des impacts 75
XIII.4 Les mesures prises pour réduire ou compenser les impacts 76
XIII.5 Conclusion 76
XIV. DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF 76
XV. PLANIFICATION DE PROJET
XV.1 Introduction 82
XV.2 La planification 82
XV.3 Diagramme de Gantt 82
XVI. MODELISTION DE LA LIGNE EN BIM

XVI.1 Introduction 83
XVI.2 Principe de la méthode utilisée 83
XVI.3 Modélisation de la voie 83
XVI.4 Conclusion 86
CONCLUSION GENERALE 87

LISTE DES FIGURES :

Figure II 1 Carte de la ligne minière Annaba-Djebel Onk…….. 7

Figure II 2 Carte de la ligne minière Annaba-Djebel Onk…….…… 7

Figure II 3 Position géographique de la Zone d'étude…….……7

Figure II 4 Carte topographique Aouinet, altitude, relief…….…….8

Figure II 5 Diagramme ombrothermique –……...8

Figure II 6 Tébessa - Données climatiques ……8

Figure II 7 Localisation du projet ……9

Figure III 1 Profil rail du type UIC60 E1 ……...10

Figure III 2 Les constituant de la section transversal de rail……11

Figure III 3 Soudure électrique ……12

Figure III 4 Traverse bi-bloc ……13

Figure III 5 Les attaches Nabla ……14

Figure III 6 Système d'attache utilisé dans le projet ……14

Figure III 7 Schéma des appareils de voie utilisées dans le projet……15

Figure VI 1 Les chaines montagneuses en Algérie ……28

Figure VI 2 Géologie du Tronçon d'étude (extrait de la carte géologique au 1/50 000ème n° 150, ORGM) ……29

Figure VI 3 Carte de zonage sismique du territoire national (extrait RPOA) ……..30

Figure VII 1 Structure d'assise ferroviaire ……45

Figure VIII 1 les basins versant en Algérie ……46

Figure VIII 3 Caractéristiques morphologiques des bassins versants ……..48

Figure VIII 4. Fossé de forme trapézoïdale. ……56

Figure XI 2 Le garage franc ……66

Figure XI 3 Longueurs minimales ……68

Figure XI 4 Schéma de l'appareil de voie. ……69

Figure XIII 1 Photo satellitaire prise par google earth de la zone urbain traversée par le chemin de fer …… .74

Figure XVI 1 Modélisation d 'un ouvrage hydraulique dalot 3x3 ……..84

Figure XVI 2 Rétablissement routière passage supérieur ……..84

Figure XVI 3 Rétablissement routière trémie ……..85

Figure XVI 4 Entrée du parking de la gare Aouinet et sa liaison avec la voie routière…….85

Figure XVI 5 Modélisation de la gare Aouinet en respectant le plan (quais, bâtiment, parking, Passage supérieur) ……86

Figure XVI 6 Vue transversal d la gare Aouinet ……86

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau IV 1Longueur minimum des éléments de tracé en plan ……19

Tableau IV 2 3 Valeurs de devers maximales selon SNTF ……20

Tableau IV 3 Les valeurs maximales admissibles de l'insuffisance selon SNTF : ……21

Tableau IV 4Les valeurs maximales de l'excès admissibles selon SNTF : ……21

Tableau IV 5Les valeurs admissibles de la variation de dévers en fonction de la longueur des courbes de transition ……...22

Tableau IV 6 Variation de dévers dans le temps ……22

Tableau IV 7 Variation de l'insuffisance de dévers dans le temps ……23

Tableau IV 8 les paramètres géométriques de tracé ……24

Tableau IV 9 Tableau récapitulatif des éléments de tracé en plan ……25

Tableau IV 9 Liste des rayons à rectifier……..23

Tableau V 1 La variation Déclivité maximale ……26

Tableau V 2 Les longueurs minimales des éléments de profile en long ……26

Tableau V 3 Valeurs de Rayon vertical minimale ……27

Tableau VI 1 Programme d'investigation de Lot tracé ……33

Tableau VI 2 Les résultats des puits (PR) effectués ……37

Tableau VI 3 Qualificatif de la fraction du sol constituée d'éléments inférieurs à 400 um en fonction de l'indice de plasticité ……..…..37

Tableau VI 4 Résume des résultats des essais de laboratoire sur échantillons de sols remaniés ……..38

Tableau VII 1 Les classes de qualité de sols ……42

Tableau VII 3 La classe la portance de la plate-forme (normes UIC 719R p.34) ……43

Tableau VII 4 Les valeurs des différents paramètres pour le calcul de l'épaisseur ……44

Tableau VII 5 Dimensionnement de la couche d'assise ……45

Tableau VII 6 Structure de la voie ……45

Tableau VIII 1 Paramètres a et b des Courbes IDF pour la région de l'étude ……50

Tableau VIII 2 Désignation des coefs de ruissellement par zone ……51

Tableau VIII 3 Résultats de calcul des débits par la méthode rationnelle ……51

Tableau VIII 4 Liste globale des ouvrages à projeter ……53

Tableau VIII 5 Surface de plateforme, talus, berme ……57

Tableau VIII 6 Coefficient de ruissellement choisi ……57

Tableau VIII 7 Débit total d'apport ……57
Tableau VIII 8 dimensions de fossé proposé……58
Tableau VIII 9 Calcul des débits de saturation des fossés ……58
Tableau X 1 Les caractéristiques de chaque déblai. ……61
Tableau X 2 Les caractéristiques de chaque remblai……62
Tableau X 3 Volume de décapage ……62
Tableau X 4 Récapitulatif des volumes de terrassement. ……62
Tableau X 5. Les différents volumes de notre projet……63
Tableau X 6 Liste des ouvrages d'art pour notre projet ……63
Tableau XI 1Les garages francs ……66
Tableau XI 2 Les longueurs utiles ……67
Tableau XI 3 Caractéristiques des appareils de voie ……69
Tableau XI 4 Coordonnées d'implantation des appareils de voies ……69

INTRODUCTION GENERALE :

Le transport ferroviaire joue un rôle important dans le transport de personnes et de marchandises à travers de longues distances. Les chemins de fer sont utilisés pour transporter une grande variété de produits tels que des matières premières, des produits manufacturés, des denrées alimentaires, des produits chimiques et des produits pétroliers.

La modernisation, la rectification et le dédoublement d'une ligne ferroviaire sont des projets d'infrastructure majeurs qui visent à améliorer la capacité, la sécurité et l'efficacité du transport ferroviaire. Ces projets impliquent la mise à niveau de l'infrastructure ferroviaire existante, la construction de nouvelles voies, la réduction des courbes et des pentes pour améliorer la vitesse et la fiabilité du trafic ferroviaire.

La ligne ferroviaire minière Est reliant Annaba à Tébessa joue un rôle crucial dans l'économie algérienne, reliant Annaba et Tébessa. Malgré son importance pour le transport de passagers et de marchandises, la ligne présente des limites en termes de capacité, de sécurité et de performance opérationnelle. Pour répondre aux besoins croissants des utilisateurs et pour améliorer la qualité du service, une modernisation et un dédoublement de cette ligne sont nécessaires.

Dans ce projet de fin d'étude, nous proposons une étude de dédoublement, modernisation et/ou rectification d'un tracé de 12 km qui fait partie de la section Souk Ahras-Tébessa (176 km), du PK 62+000 au PK 74+000, avec la conception de la gare de Aouinet (Tébessa). L'objectif de ce projet est d'améliorer la capacité de la ligne minière, d'assurer la sécurité des passagers et de réduire les temps de trajet. Le projet permettra également d'augmenter la fréquence des trains, d'offrir un service plus fiable et plus confortable, et de soutenir le développement économique de la région. Afin de procéder à cette étude. On a réparti sur les chapitres suivants :

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le transport ferroviaire en Algérie d'où on a traité les éléments suivants : Historique et le développement de chemin de fer en Algérie, ainsi que les avantages et l'importance du transport ferroviaire.

Chapitre II : Présentation du Projet, ce chapitre donne une présentation de la région (Tébessa), les objectifs et la description de projet.

Chapitre III : Superstructure de la voie, ce chapitre permet de présenter les choix techniques et les critères de conception relatifs à la structure de la voie pour assurer la qualité et la sécurité de la voie ferrée, ce qui est essentiel dans la conception d'une ligne ferroviaire.

Chapitre IV et V : Tracer en plan et le profil en long, Il permet de présenter les choix techniques relatifs à l'alignement horizontal et vertical de la voie ferrée on se respectant tous les exigences des normes techniques tel qu'UIC (Union Internationale des Chemins de fer), SNTF (Société Nationale de Transport Ferroviaire), SNCF (Société Nationale des Chemins de Fer).

Chapitre VI : Etude géologique et géotechnique, elle permet de comprendre la nature des sols et des roches sur lesquels la voie ferrée sera construite et de prendre en compte les contraintes géotechniques pour déterminer les choix techniques et les coûts associés.

Chapitre VII : Dimensionnement d'assise ferroviaire, la détermination les dimensions et les caractéristiques des matériaux utilisés dans la construction de la couche d'assise sur laquelle la voie ferrée sera posée.

Chapitre VIII : Etude hydraulique et d'assainissement, elle permet de comprendre l'impact de l'eau sur la voie ferrée et de prendre en compte les contraintes hydrauliques pour déterminer les choix techniques associés.

Chapitre IX : Profil en travers types appliqués au projet.

Chapitre X : Terrassement et Ouvrages, Dans ce chapitre on détermine les hauteurs des remblais et des déblais nécessaires pour créer la voie ferrée, et les ouvrages utilisés pour franchir les obstacles.

Chapitre XI : Conception de la gare, choix de la conception adaptée de la gare pour répondre aux besoins des usagers.

Chapitre XII : Signalisation ferroviaire, choix de la signalisation qui garantit la sécurité des trains, des passagers et du personnel. Elle permet également de faciliter le trafic ferroviaire en assurant une régulation efficace de la circulation des trains.

Chapitre XIII : Etude d'impact sur l'environnement, Cette étude consiste à évaluer les impacts environnementaux potentiels de la construction et de l'exploitation de la ligne ferroviaire sur l'environnement naturel, social et économique de la zone d'étude.

Chapitre XIV : Devis quantitatif et estimatif, ce chapitre permet d'évaluer le coût prévisionnel des travaux à réaliser pour la construction de la ligne ferroviaire, y compris la gare et les ouvrages d'art

Chapitre XV : Planification de projet, le chapitre consiste à rechercher constamment la meilleure façon d'utiliser avec économie la main d'œuvre et autres moyens de mise en œuvre pour assurer l'efficacité de l'action entreprise.

Chapitre XVI : Modélisation de la ligne en BIM, pour visualiser et concevoir des infrastructures ferroviaires de manière réaliste.

Finalisant notre travail avec une conclusion générale qui permet de résumer les résultats du projet et de de présenter des recommandations pour l'avenir et de souligner l'importance de la réalisation du projet.

I. LE RESEAU FERROVIAIRE EN ALGERIE

I. LE RESEAU FERROVIAIRE EN ALGERIE

I.1 Introduction :

L'Algérie a lancé un programme de modernisation et d'expansion de son réseau ferroviaire pour améliorer la connectivité des différentes régions du pays.

La ligne de chemin de fer reliant Oued El Kebrit à Djebel El Onk est une ligne importante du réseau ferroviaire algérien située dans la région de l'Est de l'Algérie, entre les wilayas de Tébessa et Souk Ahras d'une longueur de 176 km. Cette ligne joue un rôle important dans le transport de phosphate, une ressource naturelle largement exploitée dans la région de Tébessa en Algérie. En effet, cette ligne permet de relier les mines de phosphate situées dans les environs de Djebel El Onk à la ville de Oued El Kebrit, où se trouve l'une des principales usines de traitement de phosphate en Algérie.

Cependant, la ligne a subi des dégradations et des problèmes de capacité au fil des ans, ce qui a entraîné une baisse de la qualité de service et une augmentation des temps de trajet. Dans le cadre du plan national de développement des infrastructures ferroviaires, les autorités algériennes ont lancé un programme de modernisation et de réhabilitation de la ligne Oued El Kebrit- Djebel El Onk pour augmenter sa vitesse à 120km/h et sa capacité de transport, améliorer la qualité de service pour les passagers et les marchandises, et contribuer au développement économique de la région.

I.2 Historique de chemin de fer en Algérie :

L'histoire du transport ferroviaire en Algérie remonte à la fin du XIXe siècle, avec l'arrivée des colons français dans le pays. Le premier chemin de fer a été construit en 1857, reliant la ville de Philippeville (actuellement Skikda) à Constantine. Cette ligne a été étendue au fil des ans, reliant finalement Alger à Tunis en Tunisie.

Au début du XXe siècle, l'Algérie était devenue un important centre de production agricole et minier, ce qui a conduit à la construction de plusieurs lignes ferroviaires pour transporter ces ressources vers les ports pour l'exportation. De nouvelles lignes ont été construites pour relier des villes telles que Oran, Béchar, Ouargla, Biskra et Tlemcen, ainsi que des zones minières telles que Tébessa.

Après l'indépendance de l'Algérie en 1962, la plupart des chemins de fer du pays sont passés sous le contrôle de la Société nationale de transport ferroviaire (SNTF), qui a remplacé La SNCFA (Société nationale des chemins de fer français d'Algérie) et a continué à moderniser et à développer le réseau ferroviaire. De nouvelles lignes ont été construites, notamment la ligne reliant Alger à Oran, la ligne reliant Alger à Constantine, et la ligne reliant Annaba à Béchar. Le transport ferroviaire est devenu un moyen important de transport de marchandises et de passagers en Algérie, contribuant à l'économie du pays.

Cependant, le réseau ferroviaire algérien a connu des défis ces dernières années, notamment en termes de maintenance et de modernisation des infrastructures existantes. Pour répondre à ces défis, des efforts sont en cours pour moderniser et développer

Le réseau, y compris la construction de nouvelles lignes ferroviaires, la rénovation des lignes existantes et l'acquisition de nouveaux équipements pour améliorer l'efficacité et la sécurité du transport ferroviaire.

I.3 Transport ferroviaire en Algérie :

L'Algérie dispose d'un réseau ferroviaire géré par la Société nationale des chemins de fer algériens (SNTF), qui est une entreprise publique. Le réseau s'étend sur plus de 4 000 kilomètres, reliant les principales villes et ports du pays.

Le transport ferroviaire en Algérie est principalement utilisé pour le transport de marchandises, en particulier les produits agricoles et miniers. Cependant, il est également utilisé pour le transport de passagers, avec des trains longue distance reliant les principales villes du pays.

Le réseau ferroviaire algérien est actuellement en cours de modernisation et de développement, avec la construction de nouvelles lignes à grande vitesse et la modernisation des infrastructures existantes, Il sera porté à une longueur de 6.500 km après la réception des projets en cours de réalisation.

En outre, l'Algérie est également impliquée dans le projet de la ligne ferroviaire transsaharienne, qui vise à relier les pays du Maghreb et l'Afrique subsaharienne par une ligne ferroviaire traversant le Sahara. Ce projet est considéré comme un élément clé de l'intégration économique de l'Afrique et de la promotion du commerce et des échanges entre les pays de la région.

I.4 Avantage de transport ferroviaire :

Le chemin de fer est un mode de transport important dans de nombreux pays et il offre de nombreux avantages par rapport à d'autres modes de transport. Voici quelques-uns des avantages et de l'importance du chemin de fer :

- **Efficacité de transport :** Le transport ferroviaire est efficace pour le transport de marchandises et de passagers sur de longues distances. Les trains peuvent transporter des charges lourdes sur de longues distances sans avoir besoin de faire des arrêts fréquents.
- **Coût de transport :** Le transport ferroviaire est souvent moins cher que les autres modes de transport, surtout pour le transport de grandes quantités de marchandises. Les coûts fixes de transport ferroviaire sont généralement moins élevés que ceux du transport routier.
- **Respect de l'environnement :** Les trains consomment moins de carburant que les camions et les avions, ce qui les rend plus respectueux de l'environnement.
- **Sécurité :** Le transport ferroviaire est considéré comme l'un des modes de transport les plus sûrs pour les voyageurs et les marchandises.
- **Développement économique** : Le chemin de fer peut contribuer au développement économique en offrant un moyen efficace et peu coûteux de transport pour les entreprises.
- **Capacité de transport :** Les trains peuvent transporter de grandes quantités de marchandises et de passagers à la fois, ce qui les rend très efficaces pour les grandes quantités de marchandises ou de voyageurs.

I.5 Conclusion :

Le transport ferroviaire en Algérie est important pour le transport de marchandises et de passagers, mais le réseau ferroviaire est mal entretenu et sous-utilisé. Il est crucial d'améliorer le réseau existant, d'augmenter sa capacité et de construire de nouvelles lignes pour répondre aux besoins de transport du pays. Ces améliorations pourraient avoir des impacts positifs sur l'économie et l'environnement de l'Algérie.

II. PRESENTATION DU PROJET

II.1 Introduction :

La modernisation de la ligne ferroviaire est une priorité pour améliorer les performances du transport ferroviaire en Algérie. Dans ce contexte, le projet de dédoublement de la voie ferroviaire entre Oued Kebrit à Souk Ahras et Djebel El Onk à Tébessa est une initiative majeure pour renforcer la capacité de transport sur l'axe principale 03 du réseau national ferroviaire (ligne minière Est entre Annaba – Souk Ahras – Tébessa – Djebel–Onk). Permettant à la SNTF de répondre aux besoins actuels de transport du minerai de fer et du phosphate à court et à long terme.

Le projet comprend la modernisation et la rectification du tracé de la ligne sur trois sections différentes :

- Section 1 : ANNABA/ BOUCHEGOUF
- Section 2 : BOUCHEGOUF / OUED KEBERIT
- Section 3: OUED KEBERIT / DJEBEL ONK

Sur la section 2 et la section 3, la vitesse des trains voyageurs devrait être augmentée à 120 km/h, tandis que la vitesse des trains marchandises devrait être augmentée à 80 km/h. Sur la section 1, la vitesse des trains voyageurs devrait être augmentée à 160 km/h et celle des trains marchandises à 100 km/h.

Le thème de ce projet de fin d'étude consiste à faire l'étude de dédoublement, modernisation et/ou rectification du tracé sur la section 3 du PK 62+000 au PK 74+000 entre la daïra de Aouinet et sidi Yahya dans la Wilaya de Tébessa, avec la conception d'une gare à Aouinet.

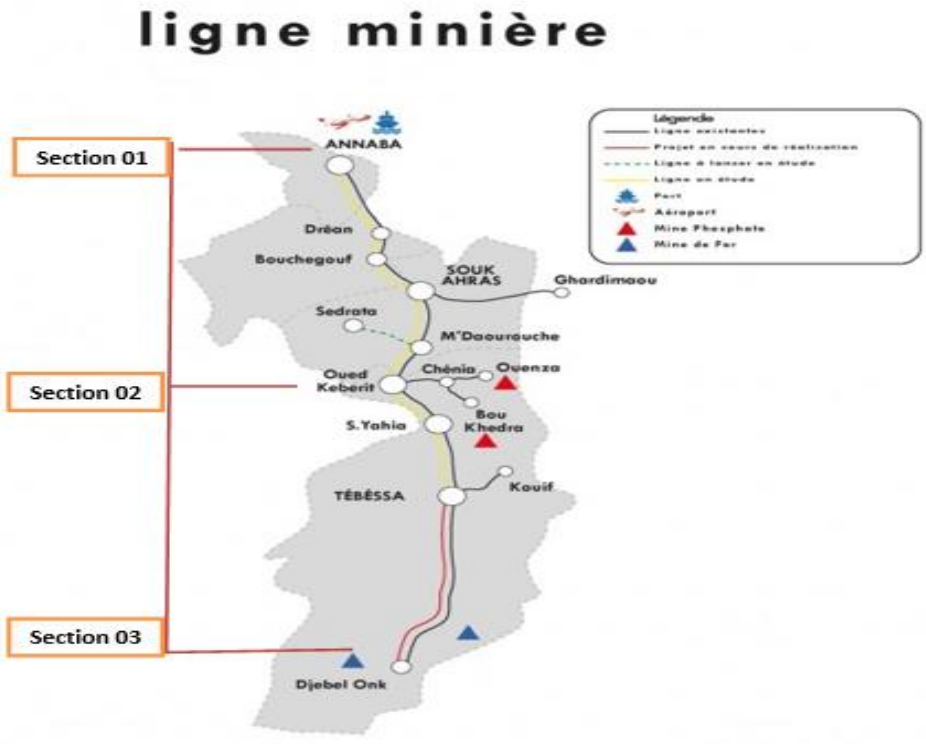


Figure II-1 Carte de la ligne minière Annaba-Djebel Onk

II.2 Présentation du site :

Le projet de dédoublement de la ligne minière Oued Kebrit-Djebel Onk est situé dans l'est de l'Algérie, dans les wilayas de Tébessa et de Souk Ahras.

La ligne minière existante relie la mine de phosphate de Djebel Onk, située à environ 60 kilomètres à l'ouest de Tébessa, à la ville d'Oued Kebrit, située à environ 90 kilomètres au sud de Souk Ahras.

II.2.1 Situation géographique :

La Wilaya de Tébessa est une région frontalière située dans le nord-est de l'Algérie, elle est limitée :

- Au Nord par Souk-Ahras.
- A l'Oust par Khenchela et Oum El Bouaghi.
- A l'Est par la Tunisie.
- Au Sud par El Oued.

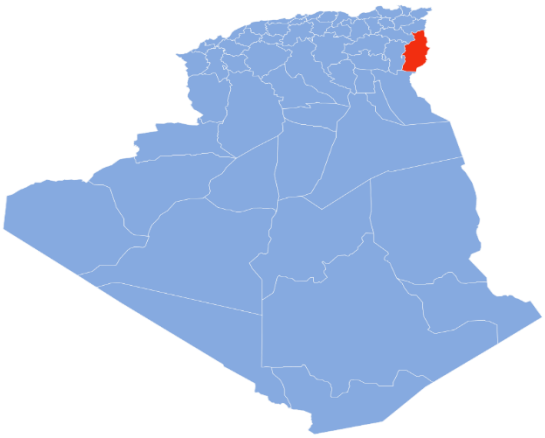


Figure II-2 Position géographique de la Zone d'étude

II.2.2 Le relief :

La zone entre Sidi Yahia et Aouinet dans la wilaya de Tébessa est caractérisée par une topographie montagneuse avec des collines et des montagnes de tailles variées. La région appartient à la chaîne montagneuse de l'Aurès, qui culmine à plus de 2 000 mètres d'altitude.

La zone est également marquée par des vallées fluviales étroites et des plaines avec une altitude moyenne d'environ 700 à 800 mètres. Il est à noter que la région est également affectée par des phénomènes d'érosion et de désertification.

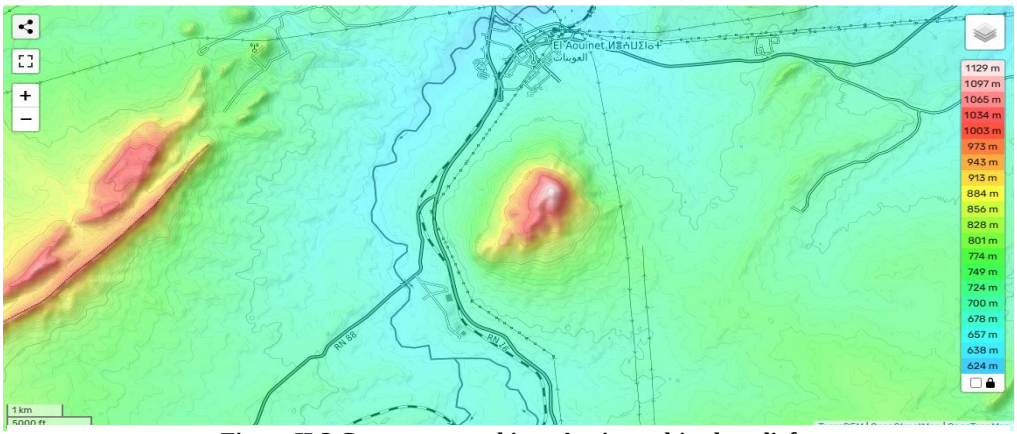


Figure II-3 Carte topographique Aouinet, altitude, relief

II.2.3 Climat/température :

La zone d'étude a un climat semi-aride avec des étés chauds et secs et des hivers relativement froids. Les températures diurnes moyennes en été sont de 35 à 40°C, tandis qu'en hiver, elles sont de 10 à 15°C. Les précipitations sont généralement faibles avec une moyenne annuelle d'environ 250 millimètres. Les mois les plus pluvieux sont décembre et janvier. Les vents sont également un élément important du climat à Aouinet, avec des vents chauds et secs soufflant souvent à travers la région.

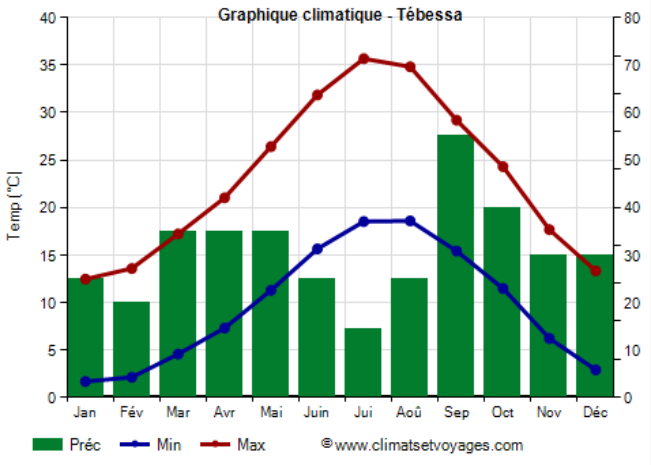


Figure II-4 Diagramme ombrothermique – Courbe de température Tébessa

Tébessa - Températures moyennes (1991-2020)			
Mois	Min (°C)	Max (°C)	Moyenne (°C)
Janvier	2	12	7
Février	2	14	7,8
Mars	5	17	10,9
Avril	7	21	14,1
Mai	11	26	18,8
Juin	16	32	23,7
Juillet	19	36	27,1
Août	19	35	26,7
Septembre	15	29	22,3
Octobre	11	24	17,9
Novembre	6	18	11,9
Décembre	3	13	8,1
An	9,7	23,2	16,4

Figure II-5 Tébessa - Données climatiques

II.2.4 Sismicité :

La wilaya de Tébessa, située dans les hauts plateaux algériens, est classée comme une zone de sismicité faible, selon le Règlement parasismique Algérien « RPA 99/version 2003 » la wilaya est classée en zone 1. Cela signifie que le risque de tremblements de terre y est considéré comme étant faible.

II.3 Description du projet :

Le présent projet a pour objet l'étude de dédoublement et rectification de la ligne de chemin de fer Oued Kebrit– Djebel El Onk exactement entre les points kilométriques (Pk62+000 et Pk 74+000) dans le cadre de la modernisation et de rectification de tracé de la ligne ferroviaire minière Est.

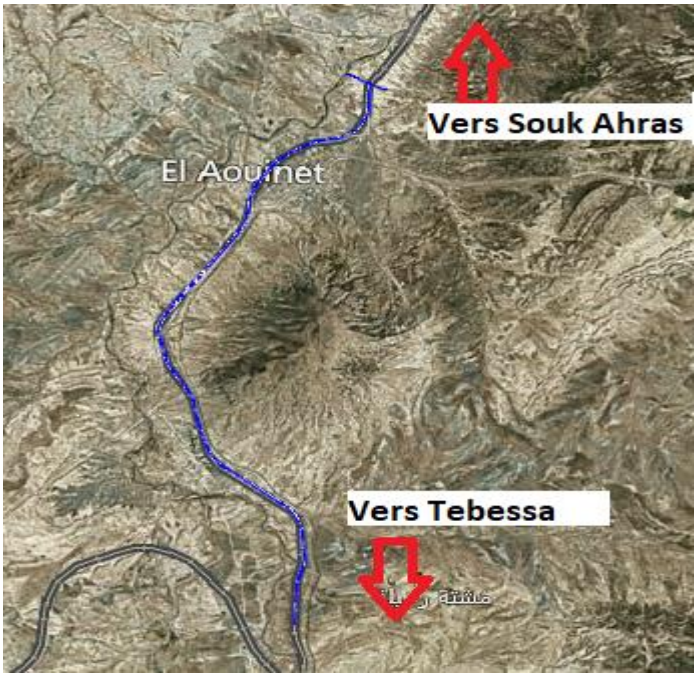


Figure II-6 Localisation du projet

II.3.1 Caractéristique de la voie :

La ligne présente les caractéristiques suivantes :

- La longueur de tracé d'étude est 12 Km.
- La ligne est à voie double.
- Mode de traction mixte : électrique – diesel.
- Écartement de la voie : 1435mm.
- Électrification : 25 KV.
- Distance axe voie –axe caténaire : 3.15m.
- Pente latérale plateforme : 4%.
- La vitesse de conception de la ligne est de 120 km/h pour les trains voyageurs, et d'une vitesse de 80km/h pour les trains marchandises.
- La ligne est mixte voyageurs/marchandises.
- L'entraxe des voies est de 5,00 m.

II.4 Conclusion :

En somme, la ligne minière reliant Tébessa à Annaba est un pilier essentiel de l'économie nationale de l'Algérie, et la rectification et la modernisation de sa voie sont des étapes cruciales pour en maximiser les avantages et garantir sa pérennité à long terme.

III. SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

III.1 Introduction :

L'infrastructure ferroviaire comprend toutes les installations fixes qui permettent d'assurer l'asservissement des véhicules à leur trajectoire c'est-à-dire permettant d'assurer la portance, le guidage et leur maintien dans un volume exempt de tout obstacle, avec les équipements de sécurité nécessaire pour garantir cette fonction.

Les éléments constitutifs de la superstructure de la voie sont : les rails, les traverses, le ballast, ainsi que leurs accessoires.

III.2 Le rail :

Les rails sont les premiers éléments entre le train et la voie, Le caractéristique essentielle d'un rail est son poids au mètre linéaire, Ils sont des poutres en acier mises bout à bout et posées sur les traverses en deux lignes parallèles avec un écartement standard (e=1435mm) afin de constituer la voie ferrée.

Le rail doit assurer les fonctions suivantes :

- Supporter les efforts provoqués par la charge roulante, La voie donc reprend les efforts verticaux (poids) et horizontaux (force centrifuge) transmis par le train. Elle est également soumise à des efforts longitudinaux (la dilation ou la rétractation des rails, action d'accélération et de freinage).
- Réaliser le guidage des roues et ces mouvements.
- Transmet le courant électrique, pour assurer la signalisation et pour la traction des trains sur les lignes électrifier. Le type de rail utilisé dans le projet entre « Oued Kebrit–djebel Onk » est de type **Vignole UIC 60 E1**.

Pour une section transversale d'un rail du type Vignole on distingue

- Le patin qui s'appuie sur la traverse.
- Le champignon qui constitue la table de roulement
- L'âme : c'est la partie verticale qui relie le champignon au patin.
- Table de roulement.

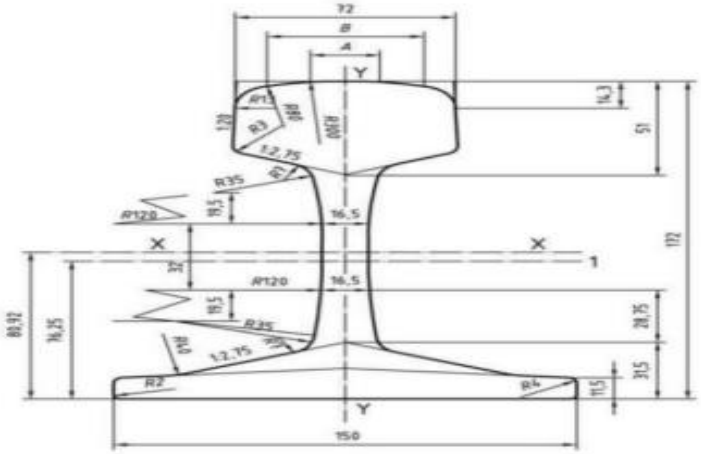


Figure III-1 Profil rail du type UIC60 E1

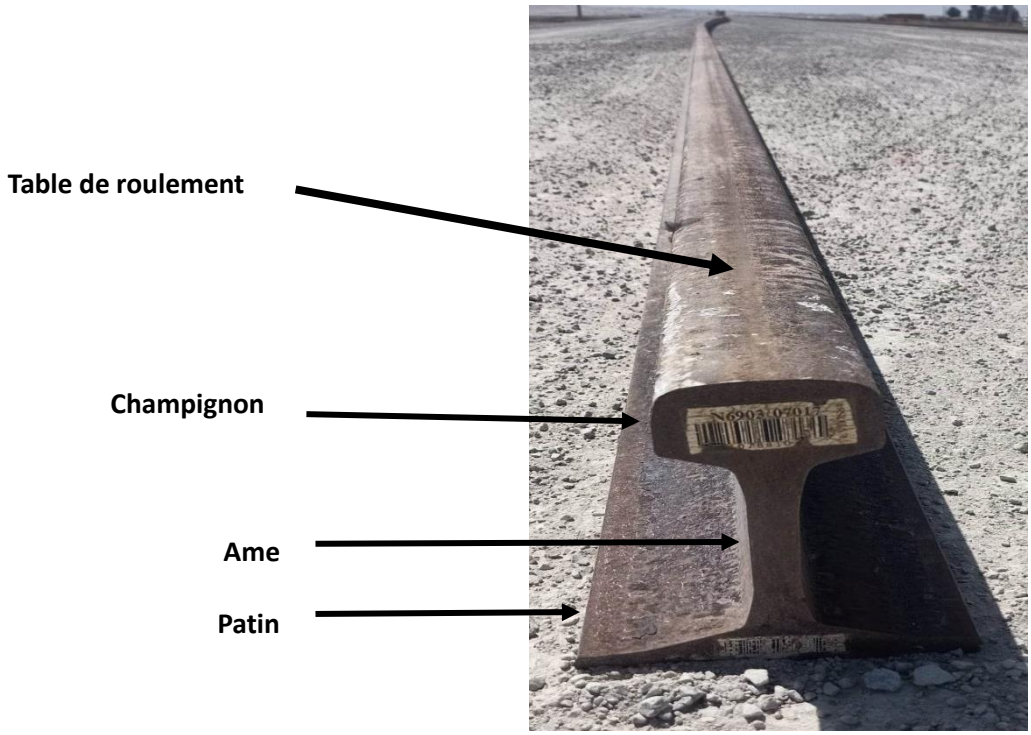


Figure III-2 Les constituant de la section transversal de rail

III.3 Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1

- Surface de la section : 76.70 cm².
- Masse par mètre : 60.34 Kg/m.
- Moment d'inertie, axe xx : 3038.3 cm4.
- Module d'inertie champignon : 333.6 cm3
- Module d'inertie patin : 375.5 cm3
- Moment d'inertie axe yy : 375.5 cm4.
- Module d'inertie axe yy : 512.3 cm3.
- Hauteur totale : 172 mm.
- Épaisseur Champignon : 72 mm.
- Épaisseur patin : 150 mm.
- Épaisseur âme : 16.5 mm.
- Dimension indicative B : 52.053 mm.
- Dressage : classe A.

- Nuance : 260 (carbone-manganèse).
- Dureté au milieu de la table de roulement entre 260 et 300 HBW.
- Résistance à la traction ≥ 880N/mm².
- Allongement : A ≥ 10%.

III.4 Assemblage des rails :

Les rails sont fabriqués dans des longueurs comprise entre 18 et 36 mètres, pour établir la solidarité des barres qui forment la voie, on est obligé de les reliées solidement à leur extrémité, pour effectuer cette liaison on emploie des éclisses et des soudures :

III.4.1 Eclisse :

Une éclisse est un composant de la voie ferrée, il s'agit d'une pièce métallique fixée par des boulons sur les rails, elle permet de faire la liaison entre deux rails consécutifs. Elles sont souvent utilisées à proximité des aiguillages.

III.4.2 Soudures :

Il y a deux types de soudures à savoir :

- La soudure électrique utilisée en atelier ou bien sur place aux niveaux de chantier qui permet de réaliser des longues barres soudées.
- La soudure aluminothermique réalisé en voie par réaction chimique très exothermique sur une charge de métal d'apport.

Les rails de notre projet sera fourni en barres de 18 m, lesquelles seront soudées électriquement en atelier pour permettre l'obtention d'une barre continue de longueur de 288 m (dites « LRS »).

Les barres avec 288 m seront transportées et seront liées entre elles par des soudures aluminothermiques en voie.



Figure III-3 Soudure électrique

III.4.3 Les traverse :

En voie ferrées, les rails reposent sur un plancher constituer par les travers, cette dernière pièce est posée en travers de la voie.

Il ne sera question que des traverses les plus utilisées en Algérie :

1. **Les traverses en bois :** utilise généralement au niveau des appareils de voie

2. Les traverses en béton :

- **Bibloc :** deux blocs sont reliés par une entretoise en acier pour maintenir l'écartement
- **Monobloc :** poutre en béton précontrainte elle offre une meilleure résistance à la flexion que la traverse bibloc et une meilleure répartition des charges verticales (pas de poinçonnages)

Rôle de traverse : La transmission des efforts entre le rail et le ballast se fait par cette pièce qu'assure en même temps le maintien de l'écartement et l'inclinaison du rail 1/20.

Pour notre projet le type choisi de traverse est les **Traverse bibloc type B440 (ancienne Vax U31)**



Figure III-4 Traverse bi-bloc

III.4.4 Les attaches :

Elles permettent la fixation du rail sur le travers par l'intermédiaire du tire-fond, elles assurent à la fois une élasticité dans les sens verticale et horizontal, une semelle d élastomère cannelée de 9 mm d'épaisseur est posée entre le rail et la traverse afin d'assurer l'absorption des vibrations dans les rails.

Les attaches utilisées dans notre projet sont de type élastique (**NABLA**)

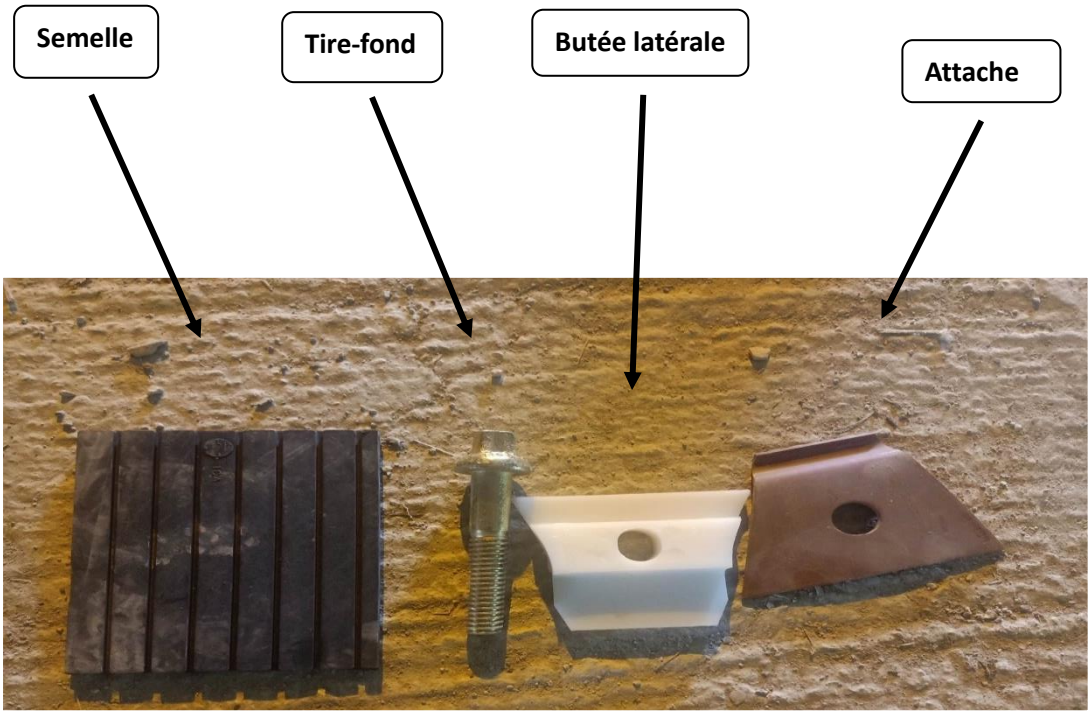


Figure III-6 Système d'attache utilisé dans le projet



Figure III-5 Les attaches Nabla

III.5 L'appareil de voie :

Les appareils de voie sont des éléments clés du système ferroviaire permettant de guider les trains d'une voie à une autre, ils sont caractérisés par leur angle de déviation au cœur. L'appareil de voie ne pouvant pas être posés en dévers et aucune courbe de raccordement n'étant possible pour la voie

déviée, leur rayon minimum doit être déterminé en fonction de la vitesse souhaitée, ce dernier est constitué de rails spéciaux (croissement de rail) et d'élément mobiles (aiguille). Les appareils de voie sont appelés aiguillage dans le langage courant :

Il existe trois catégories d'aiguilles :

- Le branchement simple.
- Le croisement ou traversée simple.
- La traversée jonction (qui peut être simple ou double) ou combinaison des deux derniers

Les appareils de voie utilisé pour notre projet sont de type branchement simple : UIC 60 1/12 500 et UIC 60 1/9 300.

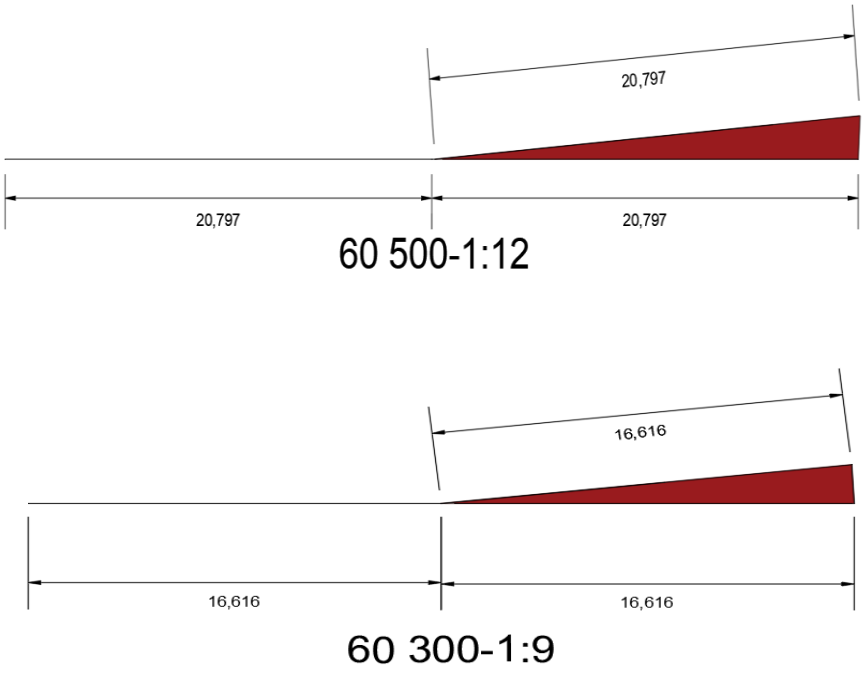


Figure III-7 Schéma des appareils de voie utilisées dans le projet

III.6 . Conclusion :

Le choix des éléments de superstructure de la voie ferrée est crucial pour assurer la sécurité, la durabilité, les performances et la rentabilité du réseau ferroviaire. Il est donc essentiel de prendre en compte ces facteurs lors de la conception, de la construction et de l'entretien des voies ferrées.

IV. TRACE EN PLAN :

IV. TRACE EN PLAN

IV.1 Introduction :

L'étude géométrique du tracé de la voie est une étape clé dans la conception d'un projet de doublement de ligne ferroviaire. Elle permet de déterminer la forme optimale de la voie et du tracé pour assurer un roulement sûr et efficace des véhicules.

Dans ce chapitre, nous allons nous concentrer sur l'étude géométrique du tracé de la ligne ferroviaire de Oued KEBRIT à DJEBEL EL ONK, spécifiquement pour le tronçon allant du PK 62+000 au PK74+000. L'objectif principal de cette étude est de corriger le tracé existant pour permettre une vitesse de circulation de 120 km/h, tout en répondant aux normes de sécurité ferroviaire.

IV.2 Trace en plan :

Le tracé en plan d'une voie ferroviaire est un plan détaillé qui montre la position de la voie ferroviaire par rapport à son environnement, Il est constitué généralement d'alignements droits et de courbes circulaires. La transition entre ces deux éléments se fait par des raccordements progressifs.

Notre projet est caractérisé par deux vitesses :

$\boldsymbol{Vmax}$: vitesse des trains rapides (voyageurs) : 120km/h

$\boldsymbol{Vmin}$: vitesse des trains lents (marchandises) 80km/h

IV.3 Condition et règles de tracé selon la SNTF :

Pour faire un tracé économique et technique, on doit respecter les règles suivantes :

- Il est important de se raccorder au réseau existant pour garantir la continuité de la ligne et optimiser l'utilisation des infrastructures existantes.
- Les raccordements à la voie existante doivent être réalisés de manière à minimiser les perturbations pour les voyageurs et pour les opérations ferroviaires.
- Les alignements droits doivent être utilisés autant que possible pour optimiser la vitesse de circulation. La longueur minimale entre deux courbes doit être de 0,5 fois la vitesse maximale autorisée (en km/h).
- Les rayons de courbure et les longueurs minimales recommandées par la SNTF doivent être respectés pour assurer la sécurité et la stabilité des trains.
- Les courbes de niveau doivent être privilégiées pour réduire les coûts de terrassement.
- Il est préférable d'éviter les franchissements d'oueds et de routes pour minimiser les coûts des travaux d'ouvrages d'art. Si cela est inévitable, le franchissement doit être réalisé perpendiculairement à la ligne d'écoulement des oueds ou dans les endroits les plus étroits pour réduire les impacts sur l'environnement et les coûts de construction.
- Eviter les zones où il y a des problèmes géologique et/ou géotechniques.

IV.4 Les éléments de trace en plan :

IV.4.1 Alignement :

Un alignement droit (R= ∞) est techniquement le meilleur tracé pour une voie ferrée car il n'implique pas de force centrifuge, contrairement à une courbe de rayon fini qui va nécessiter un déversement de la voie pour compenser cette force.

IV.4.2 Arc de cercle :

Ils sont utilisés dans les chemins de fer lorsque la topographie du terrain ne permet pas de réaliser des alignements droits entre les différents tronçons de voie. Le rayon de courbure des arcs de cercle est choisi en fonction de la vitesse de base des trains et de la configuration du terrain.

IV.4.3 Raccordement progressive :

Un raccordement progressif est une courbe à rayon variable qui permet de faire la transition en douceur entre un alignement droit et une courbe complète ou entre deux courbes de rayons différents dans une voie ferrée. La forme courbe utilisée est souvent une clothoïde

IV.5 Les caractéristiques géométriques du tracé :

Le but d'étude est d'identifier un tracé le plus optimiser. La nouvelle ligne ferroviaire OUED KEBRIT-TEBESSA-DJEBEL ONK est circulée par des trains voyageurs et marchandise à des vitesses respectivement de 120 Km/h et 80Km/h.

Les paramètres géométriques applicables selon **SNTF** à la nouvelle ligne ferroviaire OUED KEBRIT-TEBESSA-DJEBEL ONK pour une vitesse de 120 km/h sont les suivants :

IV.5.1 Longueur minimum des éléments de tracé :

Les longueurs minimales des alignement droits et des pleines courbes pour une vitesse maximale de 120 km/h en présence des doucines sont les suivantes :

Tableau IV-1Longueur minimum des éléments de tracé en plan

Paramètres	Valeur limite normale	Valeur limites exceptionnelle
Longueur minimum des éléments de tracé	$\frac{V}{2} = 60m$	$\frac{V}{3} = 40m$

IV.5.2 Dévers :

L'application du dévers sera obtenue par surélévation du rail extérieur par rapport au rail intérieur de façon à obtenir l'épaisseur de ballast nominale sous la file de rail la plus contraignante. La variation du dévers à l'entrée et à la sortie d'une courbe sera continue tout au long de la courbe de transition

Dévers maximal :

Les valeurs maximales admissibles de devers selon SNTF (Chapitre 06) et IN 0272 sont données dans le tableau suivant :

Tableau IV-2 Valeurs de devers maximales selon SNTF

Paramètres	Valeur limite normale	Valeur limites exceptionnelle
Devers maximum	160 mm	180 mm

Dévers théorique ou d'équilibre :

Le dévers théorique annule totalement l'effet de la force centrifuge lors d'un passage du train à une vitesse V sur une courbe de rayon R, sa formule est la suivante :

$$D_{th} = \frac{11.8 \times Vmax^2}{R}$$

- ✓ R : rayon de courbure.
- ✓ V_{max}: Vitesse de trains voyageurs.
- ✓ D_{th} : Devers théorique.

Coefficient de dévers et dévers pratique :

Le choix d'un coefficient de proportionnalité C (appelé coefficient de devers), constant sur une section de voie à trafic homogène donnée, entre le dévers pratique dp et la courbure (1/R) permet de respecter simultanément les valeurs limites normales (ou, dans certain cas, exceptionnelles) des paramètres suivants :

- **Devers**
- **Insuffisance de divers**
- **Excès de dévers**
- **Variation de devers**
- **Variation de l'insuffisance de dévers**

La formule donnant le dévers pratique dp est la suivante :

$$D_p = \frac{1000 \times C}{R}$$

- ✓ La valeur optimale du coefficient de dévers étant de l'ordre de $C = 0.006 \times V^2$.
- ✓ V : vitesse des trains les plus rapide en km/h.

Remarque : le coefficient de devers adopté doit être un multiple de 15.

Il doit satisfaire la condition suivante $0.5 \leq \frac{C}{0.0118 \times V^2} \leq 0.7$

Pour notre projet on a :

C = 0.006×120^2= 86.4 en prend C = 90.

Vérification : $0.5 \leq \frac{90}{0.0118 \times 120^2}$=0.53.

Insuffisance de dévers :

En pratique, on limite l'accélération transversale non compensée, afin d'assurer la sécurité des circulations, le confort des voyageurs et assurer un coût raisonnable de l'entretien de la voie.

$$I = \frac{11.8 \times V^2}{R} - D_p$$

- ✓ Avec V : la vitesse des trains voyageur.

Tableau IV-3 Les valeurs maximales admissibles de l'insuffisance selon SNTF :

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Insuffisance de dévers	150	160

Excès de dévers :

L'excès de dévers E est limité pour éviter l'usure prématurée du rail intérieur dans les courbes (pour les circulations fret donc lentes).

Il est calculé avec la formule suivante :

$$I = D_{p-} \frac{11.8 \times V^2}{R}$$

- ✓ Avec V : vitesse des trains lents (marchandises).

Tableau IV-4Les valeurs maximales de l'excès admissibles selon SNTF :

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Excès de dévers	110	130

IV.5.2.1 Variation de dévers :

1. Variation de dévers dans les courbes de transition Δd/Δl :

La longueur des courbes de transition sera fonction du dévers adopté et du taux de variation de dévers admissible.

Tableau IV-5Les valeurs admissibles de la variation de dévers en fonction de la longueur des courbes de transition

Paramètre	Valeur limite normale (mm/m)	Valeur limite exceptionnelle (mm/m)
Variation de dévers (mm/m)	$\frac{180}{V} = 1.50$	$\frac{216}{V} = 1.80$

Variation de l'insuffisance de dévers dans le temps ΔI/Δt :

La variation d'insuffisance de dévers se détermine par la formule suivante :

$$\frac{\Delta I}{\Delta l} = \frac{I \times V}{3.6 \times Lrp}$$

- ✓ V : vitesse (Km/h)
- ✓ I : insuffisance de dévers (mm)
- ✓ Lrp : longueur du raccordement progressif (m)

Tableau IV-6 Variation de l'insuffisance de dévers dans le temps

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Taux de variation de l'insuffisance de devers (mm/s)	75	90

IV.5.3 Rayon horizontale minimum :

Le rayon minimum (normal et exceptionnel), sera défini à partir de l'insuffisance de dévers admissible pour les vitesses maximales et à partir de l'excès de dévers pour les vitesses minimales sans que le dévers maximum ne soit dépassé.

Il se traduit par la formule suivante :

$$R_{min} = \frac{11.8 \times Vmax^2}{Dmax + Imax}$$

- ✓ R min = Rayon minimum de courbe (m).

- ✓ V max = Vitesse des trains rapide (voyageurs) (km/h).
- ✓ D max = Dévers maximal (mm).
- ✓ I max = Insuffisance de dévers maximum (mm).

Pour une circulation à 120Km/h, et un devers maximum de 160 mm avec une valeur maximale de l'insuffisance de dévers 150 mm :

$$R_{min} = \frac{11.8 \times 120^2}{160 + 150} = 548.13\ m$$

On prend Rmin= 600m.

IV.5.4 Raccordements progressifs :

Des raccordements progressifs (RP), de type clothoïde avec variation linéaire du dévers des voies, seront mis en œuvre entre alignements et courbes.

D'après les conditions exigées par la norme (SNCF/IN0272) on a :

$$L_{rp} \geq Dp \times \frac{V_{max}}{3.6 \times \frac{\Delta D}{\Delta t}}$$

- ✓ Vmax : Vitesse maximale.
- ✓ dd/dt : Variation de devers en fonction du temps.
- ✓ D : dévers pratique.

Tableau IV-7 les paramètres géométriques de tracé

Paramètre géométrique	Normal	Exceptionnel
Dévers maximal d (mm)	**160**	**180**
Rayon minimum (m)	**600**	/
Longueurs minimales des alignements (m)	**60**	**40**
Longueurs minimales des pleines courbes (m)	**60**	**40**
Insuffisance de dévers admissible I (mm)	**150**	**160**
Excès de dévers admissible E (mm)	**110**	**130**

Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur (mm/m)	**1.500**	**1.800**
Limite de la variation d'insuffisance de dévers(mm/s)	**75**	**90**

IV.6 Tableau récapitulatif des éléments de tracé en plan :

Ci-dessous le tableau récapitulatif des rayons en plan établis pour notre tronçon du PK 62+000 AU PK 74+000, avec longueurs de clothoïde correspondantes, ainsi que toutes les vérifications nécessaires notamment

- **Exemple de calcule pour R=700**

Dévers théorique :

$$D_{th} = \frac{11.8 \times Vmax^2}{R} = \frac{11.8 \times 120^2}{700} = 242.74\ mm$$

Coefficient de dévers : $C = 0.006 \times Vmax^2 = 0.006 \times 120^2 = 86.4$

On prend C= 90

Vérification de C $0.5 \leq \frac{C}{0.0118 \times V^2} = \frac{90}{0.0118 \times 120^2} = 0.53 \leq 0.7$

Donc C=90 est vérifier

Le dévers pratique :

$D_p = \frac{1000 \times C}{R} - \frac{1000 \times 90}{700} = 128.57\ mm$

On prend Dp= 130mm (ne doit pas dépasser 160 mm selon SNTF)

Insuffisance de dévers $I = Dth - Dp = 242.74 - 130 = 112.74 mm$ < 150 mm donc c'est vérifier

Excès de dévers $E = Dp - \frac{11.8 \times Vmar^2}{R} = 130 - \frac{11.8 \times 80^2}{700} = 22.11\ mm < 110\ mm$ donc c'est vérifier

La longueur de clothoïde : $Lrp = \frac{dp}{\frac{dd}{dl}} = \frac{dp}{\frac{180}{V}} = \frac{130}{1.5} = 86.66$ m

On prend Lrp = 90 m.

Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur : $\frac{dp}{dl} = \frac{130}{90} =$ 1.44 mm/m.<1.5 mm/m donc c'est vérifier

La variation d'insuffisance de dévers :

$$\frac{\Delta I}{\Delta L} = \frac{I \times V}{3.6 \times Lrp} = \frac{112.74 \times 120}{3.6 \times 90} = 41.76\ mm/m < 75\ \text{mm/m donc c'est vérifier}$$

Tableau IV-8 Tableau récapitulatif des éléments de tracé en plan

Rayon (m)	Vitesse (Km/h)	Dth (mm)	C	C adopté	Vérification C	Dp (mm)	Dp adopté (mm)	I(mm)	E(mm)	Lrp adopté(m)	dD/dL (mm/m)	dL/dT (mm/s)
600	120	283.20	86.40	90	0.53	150.00	160	123.20	34.13	110	1.45	37.33
650	120	261.42	86.40	90	0.53	138.46	140	121.42	23.82	100	1.40	40.47
700	120	242.74	86.40	90	0.53	128.57	130	112.74	22.11	90	1.44	41.76
750	120	226.56	86.40	90	0.53	120.00	120	106.56	19.31	80	1.50	44.40
800	120	212.40	86.40	90	0.53	112.50	120	92.40	25.60	80	1.50	38.50
1440	120	118.00	86.40	90	0.53	62.50	70	48.00	17.56	50	1.40	32.00

IV.7 Description générale du tracé :

Le tracé qui fait l'objet d'étude débute PK 62+000 au Pk 74+000 sur un linéaire de 12 km, passant par la gare d'AOUINET au Pk 66+522.

Le tracé débute par un arc de cercle et se termine par un alignement droit, Les courbes existants à rectifié (R < 600m) sont montré ci-dessous

Tableau IV-9 Liste des rayons à rectifier

	Rayon	Position
Arc 1	507	PK 62+000
Arc 2	590	PK 62+438.857
Arc 3	465	PK 63+464.932
Arc 4	390	PK 64+146.651
Arc 5	515	PK 64+793.786
Arc 6	510	PK 65+216.179
Arc 10	500	PK 67+800.572
Arc 13	430	PK 70+383.447
Arc 14	501	PK 72+057.221
Arc 15	503	PK 72+997.253
Arc 16	490	PK 73+342.931

Vu la sinuosité du tracé de la voie existante et les faibles rayons existant, des zones de rectifications de tracé ont été prévus dans le but de modernisation de la ligne et l'augmentation de la vitesse et de la capacité de la ligne.

Les zones de rectifications et des dédoublements sont cités ci-dessous.

Zone 1 : PK 62+000 au PK 66+522 rectifications de tracé.

Zone 2 : PK 66+522 au PK 67+487 Gare Aouinet .

Zone 3 : PK 67+487 au PK 68+125 rectifications de tracé

Zone 4 : PK 68+125 au PK 69+050 dédoublements de la voie à droite.

Zone 5 : PK69+050 au PK 69+372.35 rectifications de tracé

Zone 6 : PK 69+372.35 au PK 69+901 dédoublements de la voie à droite.

Zone 7 : PK 69+901 au PK 70+642 rectifications de tracé

Zone 8 : PK 70+642 au PK 71+679.64 dédoublements de la voie à droite.

Zone 9 : PK 71+679.64 au PK 72+375 rectifications de tracé

Zone 10 : PK 72+375 au PK 72+750.39 dédoublements de la voie à droite.

Zone 11 : PK 72+750.39 au PK 73+393.48 rectifications de tracé.

Zone 12 : PK 73+393.48 au PK 74+021 dédoublements de la voie à droite

IV.8 Conclusion :

Lors de la conception de notre tracé, nous avons dû tenir compte de plusieurs contraintes telles que les propriétés privées, les intersections avec d'autres pistes et le passage sous un ouvrage d'art. De plus, il est important de noter que la majorité du tronçon étudié nécessite une modification des rayons existants afin de permettre une circulation sécurisée à la nouvelle vitesse définie.

V. PROFIL EN LONG :

V. PROFIL EN LONG :

V.1 Introduction :

La construction du profil en long est la tâche la plus importante par laquelle on peut évaluer un projet ferroviaire, soit sur le plan économique là ou paraîtra l'importance des terrassements (quantité de déblai et de remblai), ouvrage d'art, tunnel…etc.

V.2 Définition :

- **Profil en long du terrain naturel :**

C'est une représentation plane de la surface du terrain naturel suivant un plan vertical le long du tracé en plan, ce profil va être le support pour le profil en long du projet.

- **Profil en long du Projet :**

C'est la représentation de l'allure du projet, en général le tracé d'une voie ferrée en profile est constitué par une succession d'alignement droits raccordé par des courbes circulaires.

- **Déclivité :**

On appelle déclivité la tangente de l'angle qui fait le profil en long avec l'horizontale, elle prend le nom de pente pour une descente et rampe pour une monte.

V.3 Eléments de composition de profil en long :

V.3.1 Choix des alignements droits :

Le profile en long de la voie ferre est caractérisé par des valeurs très faible de déclivités pour assurer des vitesses de circulation convenables et la sécurité lors de freinage en pente est confort au démarrage de véhicule en rampe, donc la déclivité des droites ne peut pas dépasser un certain maximum fixé par la SNTF.

D'autre part, on emploie un palier (pente 0.00 %) de longueur égale à 965 m pour l'implantation de la gare, on adopte en générale les déclivités maximales suivantes :

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

Tableau V-1 La variation Déclivité maximale

Longueur de la déclivité Maximale admissible (m)	Déclivité maximal admissible P (‰)	
	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
L≤ 3 000	P= 16	P= 18
3 000 ≤ L ≤ 15 000	13 ≤ P ≤ 16	15 ≤ P ≤ 18
L> 15 000	P ≤ 13	P ≤ 15

La position des droites par rapport au terrain naturel dépend de plusieurs facteurs tel que :

- Eviter les terrassements inutiles.
- Equilibrer les remblais-déblais.
- Minimiser le mouvement des terres.
- Eviter d'introduire une pointe basse du profile en long dans une partie de déblais, qui risque de crées de contraintes à savoir :

Celles qui sont liées aux difficultés de terrassement et à l'évacuation des eaux pluviales.

La solution est soit de relever ce point au-dessus du terrain naturel soit d'atténuer les déclivités arrivant de chaque cote de ce point bas.

- Dans les zones inondables, il est obligatoire de passer avec un profil en remblais dont La hauteur est supérieure à NPHE + 0.5m.
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en déclivité.
- Respecter la longueur minimale des éléments de profil en long, afin d'éviter les oscillations des véhicules dues aux variations successives des déclivités.
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.

Tableau V-2 Les longueurs minimales des éléments de profile en long

Valeur normale	V/2
Valeur exceptionnelle	V/2,5

Ces éléments de droites font apparaitre des angles dits « saillants » ou « rentrants » qui correspondent aux zones de raccordement par cercle

V.3.2 Choix des cercles :

Lorsqu'un véhicule traverse un changement de déclivité, il subit une accélération verticale brutale aux extrémités du raccordement, qui provoque oscillation de la suspension du véhicule et perturbe le confort des voyageurs.

Cette accélération est donnée par la formule suivante : $Av = \frac{V^2}{3.6^2 * RV}$

Pour une vitesse inférieure à 220 km/h la valeur maximale de cette accélération est de 0.22m/$ss2$ (Av≤0.05g) (exceptionnellement 0.31m/$s2$) qui est une valeur de confort acceptable en remplaçant les valeurs de Av dans la formule : $Rv = \frac{V^2}{3.6^2 * AV}$ On trouve :

Tableau V-3 Valeurs de Rayon vertical minimale

Valeur minimale normale	**0.35 V²**
Valeur minimale normale	0.25 V²

La position des cercles par rapport au terrain naturel dépend de plusieurs facteurs tel que :

- Il ne doit pas y avoir d'interférence entres les courbes de transition en plans (clothoïde) et les courbe de raccordement en profil en long.
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe.

V.4 Application au projet :

	Valeur maximale normale	Valeur maximale exceptionnelle
Vitesse (Km/h)	120	/
Rayon de raccordement en profil minimum (m)	5040	3600
Longueurs minimales des pentes/rampes	60	48
Déclivité en gare	0 ‰	0 ‰

V.5 Les contraintes le long du tracé :

- La voie existante (la ligne de projet doit être conserver en zone de dédoublement)
- Lignes électriques très haute tension **THT** au PK 63+050 et 63+350
- Lignes électriques moyen tension **MT** au PK 63+275, 63+370 et 63+475
- Les pistes au PK 64+065 et PK 64+365 et PK 65+804
- Intersection avec RN88 au PK 67+955.

V.6 Conclusion :

La constitution du profil en long est en effet une tâche essentielle dans l'évaluation d'un projet ferroviaire, les résultats obtenus dans cette étude sont conformes au référentiel de l'SNTF, et tous les paramètres nécessaires pour la rectification et le dédoublement du tracé afin d'atteindre la vitesse de 120 km/h sont pris en compte, avec le respect de l'altitude de la voie existante dans la zone de dédoublement.

VI. ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

VI.1 Introduction :

Pour une réalisation optimale, et une sécurité totale de la voie ferrée, l'ingénieur doit voir une connaissance bien précise sur les contraintes naturelles.

L'objectif de ce chapitre est de déterminer le comportement de sol d'assise, sa composition, et sa nature, afin d'interpréter les mouvements gravitationnels pour garantir la stabilité et la durabilité à long terme ainsi que la géologie de site pour prévenir tous les risques naturels, y compris les problèmes d'instabilité tels que le mouvement des pentes, affaissement et effondrement.

VI.2 Etude géologique :

VI.2.1 Géologie régionale :

Tébessa est une région géologiquement très intéressante, située dans le nord-est de l'Algérie. Elle se trouve dans une zone de transition entre les chaînes de montagnes de l'Atlas tellien et les montagnes de l'Atlas saharien.

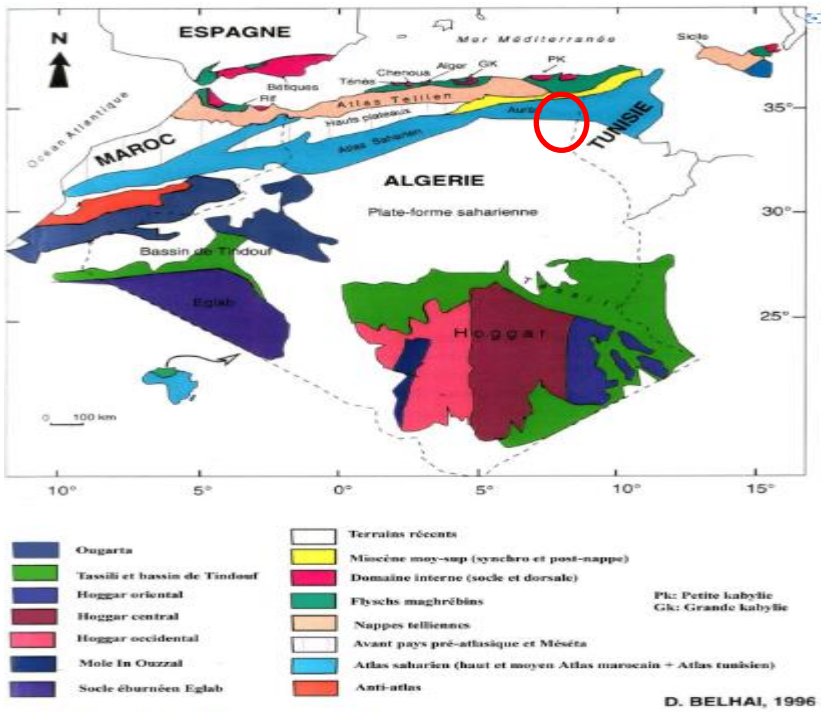


Figure VI-1 Les chaines montagneuses en Algérie

VI.2.2 Géomorphologie :

La géomorphologie des terrains traversés est caractérisée par la vallée d'Oued Chebro qui s'étend pour notre projet de Oued El Kebrit au Nord jusqu'à Tébessa au Sud. Et ce, en passant par les pleines agricole de Mechtat R'mila, Mechtat ech Ekhchine, les terrains traversés sont à prépondérance limoneuse en surface et notamment sur la Mechtat ech Ekhchine .

VI.2.3 Lithologie :

Suite à la superposition de la carte géologique de Aouinet au 1 :50 000 avec le tracé, les unités traversées par le tracé sur la zone sont les suivants :

- Limons et cailloutis : formations limoneuses remplissent le lit majeur de l'oued Chebro. Le lit mineur de cet oued est taillé dans ces formations qui sont donc antérieures à l'époque actuelle.

- Limons : de couleur allant du brun-ocre au gris sombre, les limons fins associés à des niveaux de cailloutis anguleux se déposent dans toutes les régions basses. Il s'agit de résidu d'altération et lessivage des marnes environnantes. Ce processus est entamé depuis longtemps, comme en témoignent les épaisses accumulations qui s'observe dans les pleines d'El Meridj et de l'Oued Chebro.
- Croûte calcaire : la carapace calcaire s'observe de façon très générale dans la région. Elle se trouve surtout dans les dépressions et les pentes faibles. Dans la pleine d'effondrement de l'Oued Chebro, elle est probablement envoyée sous les limons récents.
- Marnes grises : 170m de calcaires massifs grisâtres, et gros bancs, renfermant parfois de nombreuses empreintes d'Inocerâmes.
- Dépôt de marais : formations limoneuses non compacts.
- Alluvions récentes : Les alluvions actuelles sont peu importantes. Elles sont constituées de cailloutis calcaires.

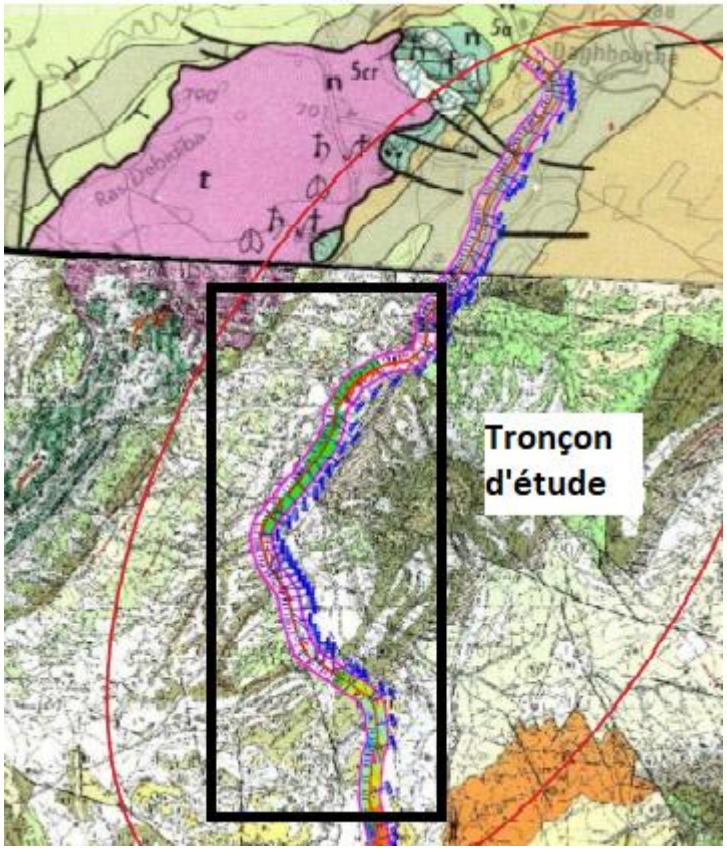


Figure VI-2 Géologie du Tronçon d'étude (extrait de la carte géologique au 1/50 000ème n° 150, ORGM)

VI.2.4 Sismicité :

VI.2.4.1 Zonage sismique algérien :

Le territoire national est divisé en quatre (04) zones de séismicité croissante, définies sur la carte des zones de séismicité qui précise cette répartition par wilaya et par commune, soit :

Zone 0 : sismicité négligeable

Zone II : sismicité moyenne

Zone I : sismicité faible **Zone III :** sismicité élevée

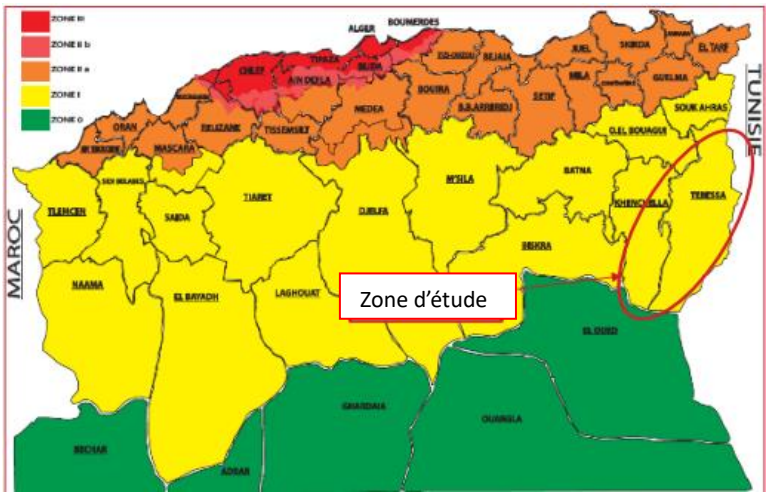


Figure VI-3 Carte de zonage sismique du territoire national (extrait RPOA)

VI.2.4.2 Coefficient d'accélération de zone :

Pour toute la zone d'étude, le risque des tremblements de terre est faible (zone I), avec des accélérations sismiques basiques comprises entre une valeur minimale de 0,10g m/s2 et maximale de 0,15g m/s^2.

VI.3 Etude géotechnique :

L'objectif de l'étude géotechnique dans l'étude de tracé ferroviaire est d'identifier, localiser les différentes couches et déterminer les caractéristiques physique et mécanique du sol et du sous-sol sur le tracé proposé, afin d'identifier les risques géotechniques et les mesures à prendre pour garantir la stabilité et la sécurité de la voie ferrée.

VI.3.1 Programme d'investigation géotechnique :

Après analyse du tracé projeté de la voie ferrée, nous proposons notre plan d'investigation géotechnique le long de la ligne ferroviaire Oued Kebrit-Tébessa dont les objectifs sont :

- **Tracé :**
- Évaluer la capacité portante des sols et des roches pour dimensionner la couche d'assise afin de supporter les charges de la voie ferrée, des trains et des équipements associés.
- Évaluer la capacité portante des sols et des roches pour supporter les charges de la voie ferrée, des trains et des équipements associés.
- **Ouvrage d'art :**

Il s'agit de la détermination des propriétés physique et mécaniques de sol d'assise pour supporter les futurs ouvrages.

VI.3.1.1 Tracé :

Afin de déterminer la portance de sol support les essais suivantes sont élaborer :

- **Puits d'exploration (ou de reconnaissance) :** sont des forages réalisés dans le sol pour obtenir des informations géotechniques sur les couches de sol ou de roche sous la surface. D'évaluer l'épaisseur de la terre végétale pour le décapage et de procéder au prélèvement d'échantillons remaniés pour l'identification et la caractérisation géotechnique en laboratoire
- **Essai au laboratoire :**

Pour les échantillons prélevés on prévoit la réalisation des essais suivants :

- **Essais d'identification** (granulométrie, sédimentométrie, consistance (limites d'Atterberg), densité sèche et humide, équivalent de sable (ES), permettant la classification des sols.
- **Essais de cisaillement rectiligne CD et UU** permettant le calcul des fondations et la stabilité des talus.
- **Essai œdométrique** pour le calcul des tassements.
- **Essai CBR à 4 jours d'imbibition** pour la classification des assises de fond de forme.
- **Essai de résistance à la compression (RC)** sur les sols rocheux pour la portance des sols.

Tableau VI-1 Programme d'investigation de Lot tracé

Localisation	Hauteur de l'ouvrage en terre	Essais géotechniques		
		Essai in situ	Prof	Essai au laboratoire
En section remblais				
PK 62+ 000	0.41 m	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essai CBR
PK 62+225	0.83 m	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essai CBR
PK 62+350	1.85 m	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essais de cisaillement rectiligne CD et UU Essai CBR
PK 62+725	2.24 m	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essais de cisaillement rectiligne CD et UU Essai œdométrique. Essai CBR
PK 63+175	1.57	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essais de cisaillement rectiligne CD et UU. Essai CBR
PK 63+975	1.0 m	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essai CBR

PK 64+150	0.31 m	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essai CBR
PK 64+600	2.04 m	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essais de cisaillement rectiligne CD et UU Essai CBR
PK 65+200	3.55 m	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essais de cisaillement rectiligne CD et UU Essai œdométrique. Essai CBR Essai de résistance à la compression (RC)
PK 66+475	4.61	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essais de cisaillement rectiligne CD et UU Essai œdométrique. Essai CBR Essai de résistance à la compression (RC)
PK 66+900	1.76 m	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essai CBR Essai de résistance à la compression (RC)
PK 68+700	1.71 m	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essais de cisaillement rectiligne CD et UU Essai CBR Essai de résistance à la compression (RC)
PK 71+975	2.75 m	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essais de cisaillement rectiligne CD et UU Essai œdométrique. Essai CBR
PK 73+000	3.37 m	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essais de cisaillement rectiligne CD et UU Essai œdométrique. Essai CBR

				Essai de résistance à la compression (RC)
En section déblais				
PK 62+100	0.45 m	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essais de cisaillement rectiligne CD et UU Essai CBR Essai de résistance à la compression (RC)
PK 62+450	3.61 m	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essais de cisaillement rectiligne CD et UU Essai CBR Essai de résistance à la compression (RC)
PK 63+500	2.06 m	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essais de cisaillement rectiligne CD et UU Essai CBR Essai de résistance à la compression (RC)
PK 66+750	1.01 m	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essais de cisaillement rectiligne CD et UU Essai CBR Essai de résistance à la compression (RC)
Pk 67+025	2.50 m	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essais de cisaillement rectiligne CD et UU Essai CBR Essai de résistance à la compression (RC)
Pk 67+875	1.59 m	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essais de cisaillement rectiligne CD et UU Essai CBR Essai de résistance à la compression (RC)
Pk 70+350	4.33 m	01 Puit d'explorations à la pelle Un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	05 m	Essais d'identification Essais de cisaillement rectiligne CD et UU Essai CBR Essai de résistance à la compression (RC)

VI.3.1.2 Ouvrage d'art :

Afin de recueillir les informations géotechniques nécessaires à la construction des futurs ouvrages d'art, il est indispensable de mettre en place un programme d'investigation géotechnique. Ce programme inclura une liste d'essais de laboratoire et sur le terrain. Pour cela on prévoit la réalisation des essais suivants :

Essais in situ :

- La réalisation d'un sondage carotté de 10 m de profondeur avec prélèvement des échantillons intact.
- Essai au pénétromètre dynamique au niveau de chaque ouvrage SPT

Essais au laboratoire :

- **Essais d'identification** (granulométrie, sédimentométrie, consistance (limites d'Atterberg, densité sèche et humide),
- **Essais de cisaillement rectiligne CD et UU** permettant le calcul des fondations et la stabilité des talus.
- **Essai œdométrique** pour le calcul des tassements.
- **Essai CBR à 4 jours d'imbibition** pour la classification des assises de fond de forme.
- **Essai de résistance à la compression (RC**) sur les sols rocheux pour la portance des sols. Pour voir le positionnement des sondages carottés voir (Annexe C)

Remarque :

On a constaté que le tracé que on a choisi ne correspondait pas à celui déterminé par le bureau d'études, ce qui a entraîné une différence dans le programme géotechnique. Afin d'interpréter correctement les résultats et dimensionner la couche d'assise, on va utiliser le programme exécuté par le bureau d'études.

VI.4 Campagne de reconnaissance géotechnique :

Les différents travaux réalisés dans la campagne géotechnique ainsi que les essais de laboratoire proposés sont énumérés dans cette partie.

- Reconnaissance de surface.
- Puits de reconnaissance.
- Essais de pénétration dynamique.
- Sondages mécaniques.
- Essais de laboratoire sur les échantillons originaires des puits et des sondages.

Les travaux de reconnaissance géotechnique (sondages, pénétromètres dynamiques et puits de reconnaissance) et les essais de laboratoire dans des échantillons extraits des sondages et des puits de reconnaissance, ont été effectués par un laboratoire géotechnique.

VI.4.1 Essai in situ :

VI.4.1.1 Puits d'exploration :

Tableau VI-2 Les résultats des puits (PR) effectués

Désignation de puit	Localisation	Profondeur	Lithologie
PU-5-9-EXE	PK 62+180	1.5 m	Limons récents
PU-5- 10-EXE	PK 64+960	2.0 m	Limons récents et actuels d'Oued Chebro
PU-5- 11-EXE	PK 64+500	1.5 m	Colluvions
PU-5-12-EXE	PK 65+880	1.5 m	Colluvions
PU-5- 13-EXE	PK 66+300	2.0 m	Limons récents

PU-5- 14-EXE	PK 66+900	2.0 m	Limons récents
PU-5- 15-EXE	PK 68+170	2.0 m	Limons récents
PU-5- 16-EXE	PK 70+850	2.0 m	Colluvions
PU-5- 17-EXE	PK 70+620	2.0 m	Colluvions
PU-5- 18-EXE	PK 71+460	2.0 m	Limons récents
PU-5- 19-EXE	Pk 72+000	2.0 m	Limons récents
PU-5- 20-EXE	Pk 72+460	2.0 m	Limons récents et actuels d'Oued Chebro

VI.4.2 Essai de laboratoire :

VI.4.2.1 Essais d'identification :

1- Analyses granulométriques :

L'analyse granulométrique est une méthode courante pour déterminer la distribution des tailles de particules dans un échantillon donné. Elle s'effectue par tamisage pour les grains d'un diamètre supérieur à 80 µm et par sédimentométrie pour les grains les plus fins.

2- Teneur en eau :

L'essai de teneur en eau est une méthode courante pour déterminer la quantité d'eau contenue dans un matériau donné.

3- Limites d'Atterberg :

Les limites d'Atterberg permettent de détecter les teneurs en eau (exprimées en %) correspondant aux limites des différents états (limite de liquidité, limite de plasticité).

Tableau VI-3 Qualificatif de la fraction du sol constituée d'éléments inférieurs à 400 um en fonction de l'indice de plasticité

Indice de plasticité (%)	Qualificatif
Ip≤12	Non plastique
12≤Ip≤25	Peu plastique
25≤Ip≤40	Plastique
Ip>40	Très plastiques

4- Essais de propreté :

L'équivalent de sable est un indicateur caractérisant la propreté d'un sable ou une grave. Il indique la teneur en éléments fins.

5- Essai au bleu méthylène VBS :

L'essai au bleu de méthylène, ou « essai au bleu », est Utilisé pour déterminer l'argilosité d'un sable d'un granulat et plus généralement d'un sol.

VI.4.2.2 Essais mécaniques :

1- Essai Proctor :

L'essai Proctor est un essai de compactage couramment utilisé pour déterminer la densité maximale d'un sol et le contenu en eau optimal pour atteindre cette densité.

2- Essai CBR imbibé :

Est un essai de portance qui donne l'aptitude des matériaux à supporter les charge des remblais et des couches de forme, il permet d'évaluer la traficabilité des engins des terrassements.

VI.4.3 Résultat des essais géotechnique :

Les résultats des essais géotechniques des sols traversés sont donnés par le tableau récapitulatif si dessous :

Tableau VI-4 Résume des résultats des essais de laboratoire sur échantillons de sols remaniés

Référence du Puits/sondage		PU-5-9-EXE	SC-5-1-EXE			PU-5-10-EXE	PU-5-11-EXE	PU-5-12-EXE	PU-5-13-EXE	PU-5-14-EXE	PU-5-15-EXE	PU-5-16-EXE	PU-5-17-EXE	PU-5-18-EXE	PU-5-19-EXE	PU-5-20-EXE
PK		62+180	63+080			64+960	64+500	65+880	66+300	66+900	68+170	70+150	70+620	71+460	72+000	72+460
Profondeur (m)		1.5 m	0,6-0,85	2,0-2,35	7,30-7,80	2.0 m	1.5 m	1.5 m	2.0 m	2.0 m	2.0 m	2.0 m	2.0 m	2.0 m	2.0 m	2.0 m
Teneur en eau	W (%)	2,03	17,52	8,91	4,72	15,32	3,84	4,56	5,15	4,35	6.62	6,68	5,61	12,91	8,09	8,70
Densité humide	γ (g/cm3)		2,09	2,32	2,45											
Densité sèche	γd (g/cm3)		1,77	2,13	2,34											
Analyse granulométrique (Tamisât)	50 mm (%)	89,40	100			100	93.24	96.64	100	100	100	100	100	100	100	100
	2 mm (%)	56,79	98,66			97,01	44,18	47,95	98,16	77,25	64,21	87,43	93,56	95,03	82,75	97,04
	80µm (%)	47,39	92,18			84,51	31,65	30,69	89,62	72,49	50,24	78,68	87,18	87,81	75,46	89,91
	2µm (%)	15,63	47,09			52,90	20,58	9,94	38,44	28,64	29,28	35,17	38,48	57,74	46,19	50,79
Limites d'Atterberg	Wl (%)		43.3			40.15			28.81		28.10	63.39	65.64	57,44	60,27	38,84
	Wp(%)		21.05			20.06			18.57		17.48	35.46	35.64	30,63	30,75	19,58
	Ip		22.25			20.09			10.24		10.62	27.39	30.00	26,81	29,52	19,26
	Ic		1.16			1.24			2.31		2.23	2.03	2.00	1,66	1,77	1,56
Equivalent de sable (Piston)	ESP	5.62				2.78	10.10	11.24	1.95	5.98	9.38	2.79	3.46	1,45	3,88	3,73
Valeur de bleu	VBS	0.70					0.58	0.53		1.16						
Proctor modifié	Wopt(%)						8,17	8,93		11.63	9,14	12,98	12,33	10,91	11,11	
	γd max (g/cm3						2,15	2,12		1.99	2,10	1,90	1,88	1,91	2,01	
Essai CBR imbibé 4jours	Indice CBR (10c/c)						7,87	10,93		6.24	8,92	2,40	3,23	0,20	3,60	
	Indice CBR (25c/c)						39,33	43,49		21.02	31,58	15,57	7,66	1,40	5,11	
	Indice CBR (55c/c)						56,27	46,33		23.83	67,68	23,78	25,82	2,22	8,23	
Classe GTR		A1	A2			A2	B5	B5	A1	A1	A1	A3	A3	A3	A3	A2
Etat hydrique			m			s	ts	ts		ts	s	ts	ts	ts	ts	s
Classe UIC		QS1	QS1			Qs1	QS2	QS2			QS1		Qs1	Qs1	Qs1	Qs1

Référence du Puits/sondage		SC-5-1-EXE			
PK		73+560			
Profondeur (m)		2,45-2,70	3,25-3,50	4,35-4,65	9,20-9,45
Teneur en eau	W (%)	19,14	16,44	14.5	17,44
Densité humide	ɣ (g/cm3)	2,01	2,06	2,13	2,12
Densité sèche	ɣd(g/cm3)	1,68	1,76	1,86	1,8
Analyse granulométrique (Tamisât)	50 mm (%)	100	100	100	100
	2 mm (%)	99,97	99,98	99,46	99,94
	80µm (%)	95,76	98,83	87,72	94,01
	2µm (%)	68,42	49,99	53,25	49,16
Limites d'Atterberg	Wl (%)	64,71	43,8	40,53	35,58
	Wp(%)	31,55	21,53	18,9	20,35
	Ip	33,16	22,27	21,63	15,23
	Ic	1,37	1,23	1,20	1,19
Equivalent de sable (Piston)	ESP				
Valeur de bleu	VBS				
Proctor modifié	Wopt (%)				
	ɣd max (g/cm3				
Essai CBR imbibé 4jours	Indice CBR (10c/c)				
	Indice CBR (25c/c)				
	Indice CBR (55c/c)				
Classe GTR		A3	A2	A2	A2
Etat hydrique		ts	s	m	m
Classe UIC		QS1	QS1	QS1	QS1

VI.4.3.1 Interprétation des résultats :

a- Essais d'identification :

- L'analyse granulométrique montre un pourcentage de passants à 80µ compris entre 30.69% et 98.83%. Ces résultats montrent qu'on est en présence d'un terrain à prédominance de **sols fins avec présence des sols sableux et graveleux avec fines.**
- Les résultats des limites d'Atterberg réalisés sur les échantillons ont donné des Indices de plasticité « IP » variables entre 10.24% et 33,16 % et des limites de liquidité entre 28.1 % et 65.64 %, Ces résultats montrent que les sols sont **peu plastiques à plastique.**
- Les valeurs obtenues de bleu de méthylène (VBS) varient entre les 0.53 et 1.16 donc il s'agit de **sols limoneux.**

b- **Essais mécaniques :**

- Les résultats des limites d'essai Proctor sur les échantillons ont donné Les valeurs de densités maximale (γ_{dmax}) varient entre 1,88 t/m3 et 2.15 t/m3 et des teneurs en eaux optimales (W_{OPM}) varient entre 8,17 % et 12,98%, Ces résultats montrent que le matériau analysé, présente une forte densité au compactage,
- Les valeurs de l'indice CBR obtenue à 100% de compacité, sont comprise entre 2.22 % et 56.27%.

VI.5 Réutilisation des sols en corps de remblais :

Selon le code UIC 719R les matériaux de la classe QS1 qui présentent une plasticité élevée (Ip >25%) et des teneurs en eaux naturelle classifient avec état hydrique d'humide a très humide sont éliminé de la réutilisation en remblais.

Dans le tronçon étudie les matériaux excavés présentent des caractéristiques permettent la réutilisation en remblais. C'est le cas des sols QS1 qui présentent une baisse plasticité (IP < 25%). Et des sols QS2 qui présente un pourcentage des fins varie entre 15% à 40% dans les bonnes conditions climatiques

VI.6 Conclusion :

D'après l'étude géologique et géotechnique de la région la classe de sol support est QS1 selon UIC 719R) .

VII. ASSISE FERROVIAIRE

VII.1 Introduction :

La couche d'assise est une composante importante de la voie ferrée. Elle se compose de trois parties principales : la couche de ballast, la sous-couche (sous ballast et la couche de fondation).

Ensemble, la couche de ballast, la sous-couche et la plate-forme travaillent en synergie pour assurer la stabilité, la durabilité et les performances de la voie ferrée en permettant le drainage efficace de l'eau, en répartissant la charge des trains et en fournissant une surface de roulement solide pour les trains circulant sur la voie.

VII.2 Le ballast :

Le ballast est un matériau granulaire utilisé dans la construction des voies ferrées, il est généralement constitué de pierres concassées. L'une des caractéristiques importantes du ballast est que 100% de la surface des grains est entièrement concassée.

Le ballaste forment une couche épaisse qui repend aux exigences suivantes :

- Transmettre des efforts engendrés par le passage des trains au sol, sans que celui-ci ne se déforme par tassement.
- Assure en raison de sa granularité particulière le drainage et l'évacuation des eaux superficielle.
- Jeux le rôle d'un amortisseur de vibration très efficaces grâce à sa propriété rhéologique (dissipation de l'énergie de vibration par attrition contact des éléments).

VII.2.1 Caractéristique de ballast

- Pierre rocheuse dure concassée, résistance à la compression : ≥ 12Kn
- Résistance à la compression : ≥ 12Kn /cm² Maille : 22,4/63 mm
- Limite de maille entre 31,5-50 mm : 50%
- Résistance à l'érosion avec le coefficient Los Angeles : ≤ 15 %
- La granularité du ballast se situe dans la classe 25 à 50 mm (pierre cassée)

VII.3 Sous couche :

La sous-couche permet la transition entre la couche de ballast et la plateforme, La sous-couche peut être mono ou multicouche elle peut comprendre une couche de sous ballast (qui doit être toujours présente) puis une couche de fondation (facultative) et enfin s'il y a lieu, une couche anti contaminant (facultative) complétée par une feuille géotextile

VII.3.1 Rôle de la sous couche :

Elle a des rôles multiples :

- Amélioration de la portance et meilleure répartition des charges transmises.
- Contribution à l'amélioration de propriétés vibratoire.
- Anticontamination entre la plateforme et la couche de ballast.
- Évacuation des eaux de pluies.

VII.4 La plate-forme :

VII.4.1 Définition :

La plate-forme de la voie ferrée est l'élément sur lequel repose la superstructure de la voie, Elle peut être constituée de terres rapportées dans le cas d'un remblai, où du sol en place dans le cas d'un déblai.

La qualité de la plate-forme de la voie est essentielle pour assurer la stabilité, la sécurité et la durabilité de la voie ferrée. Une plate-forme bien conçue et bien construite permet de réduire les mouvements du ballast, d'éviter les tassements différentiels et de minimiser les déformations de la voie sous l'effet des charges ferroviaires. Elle contribue ainsi à assurer un fonctionnement sûr et efficace des trains

VII.4.2 Classification des sols pour la plateforme

La qualité d'un sol dépend des deux paramètres ci-après :

- La nature géotechnique du sol ; à cet égard, on utilise l'identification géotechnique.
- Les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales sont réputées bonnes si :
  - La couche supérieure du sol considéré est hors de toute nappe naturelle (niveau de cette dernière mesuré avant toute opération de rabattement complémentaire et en période climatique défavorable).
  - La plateforme n'est pas le siège de percolations (pénétration par l'eau circulant dans le sol (éventuellement pollué)) naturelles transversales, longitudinales ou verticales.
  - Les eaux de pluie sont évacuées correctement de la plateforme et les dispositifs longitudinaux de drainage sont en bon état de fonctionnement.

On distingue Alors les classes de qualité des sols suivants :

Tableau VII-1 Les classes de qualité de sols

QS0	Sols impropres à la réalisation de la plateforme et nécessitant des mesures comme le remplacement du matériau sur une certaine épaisseur ou le traitement aux liants ou bien l'utilisation d'un géotextile
QS1	Sols médiocres acceptables tels quels, dont on doit toujours se préoccuper du bon drainage. Ces sols peuvent, éventuellement, être transformés en sols de meilleure qualité par un traitement approprié, (traitement aux liants)
QS2	Sols moyens
QS3	Bons sols

La classification du sol **UIC** pour tous les puits de reconnaissance réalisés est résumé dans

le chapitre VI : Etude géotechnique et géologique (**Tableau VII-2**)

VII.4.3 La classe de portance de la plateforme :

On peut distinguer trois classes de plateforme en fonction de leurs portances (Selon le code UIC719R) :

- P1, plate-forme de médiocre qualité.
- P2, plate-forme de moyenne qualité.
- P3, plate-forme de bonne qualité.

Tableau VII-3 La classe la portance de la plate-forme (normes UIC 719R p.34)

Classe de qualité du sol	Classe de portance envisagée pour la plateforme	Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance	
		Qualité	Epaisseur minimale (m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.5
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.5
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

VII.4.4 Plate- forme proposée :

Compte tenu de ce qui précède, notamment la classe des qualités du sol support **QS1**, ainsi que les prescriptions données par les **UIC** nous somme obliger d'opter pour une plateforme de type **P3** (pour supporter la charge importante et le tonnage de la ligne) (Bonne plateforme) dimensionnée préalablement pour un tel type de sol (**QS3**).

Les résultats des travaux du terrain et les résultats montre que si on envisage pour une classe C une bonne plateforme, c'est-à-dire de classe **P3**, on a besoin d'une couche de forme

Concernant le besoin d'obtention d'une plate-forme de qualité de support du type **P3**, Sur les matériaux **QS1** on a adopté une couche de forme dont la qualité de sol est **QS3** et cela sur une épaisseur de **50 cm**.

VII.5 Dimensionnement des couches d'assise :

Conformément à la fiche UIC 719 R relative au dimensionnement des couches d'assise, l'épaisseur de la couche de ballast et des sous couches est calculée suivant la formule ci-dessous :

e = épaisseur ballast + épaisseur sous couche **= E + a + b + c + d + f + g**

- E : facteur dépendant des classes de portance de la plate-forme (P1, P2 ou P3).
- a : facteur dépendant de l'UIC groupes (groupe 1 à 6, UIC 714).
- b : facteur dépendant de type de traverse.
- c : facteur dépendant des conditions de travail (type de dimensionnement).

- d : facteur dépendant de la charge maximale d'essieu des véhicules remorqué.
- f : facteur dépendant de la vitesse.
- g : facteur dépendant de l'installation de géotextile

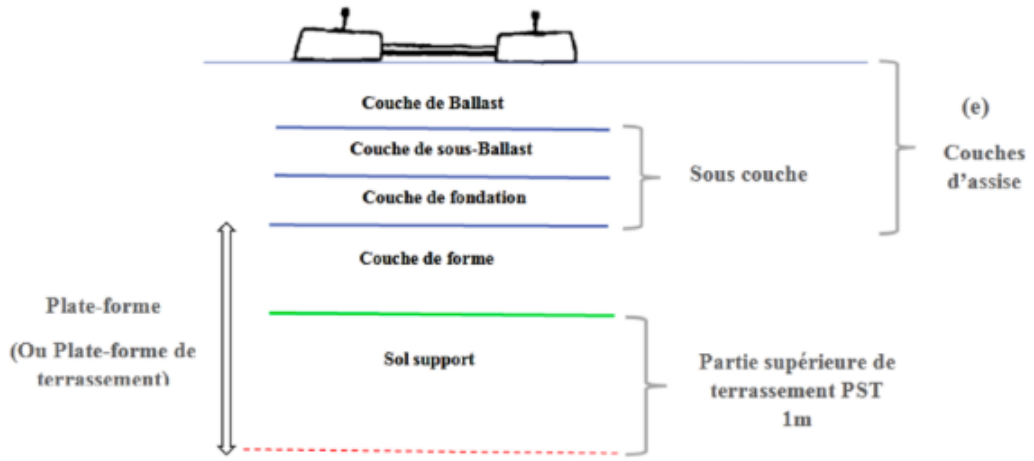


Figure VII-1 Structure d'assise ferroviaire

VII.6 Les paramètres de dimensionnement :

Tableau VII-4 Les valeurs des différents paramètres pour le calcul de l'épaisseur

E	0.70m	Pour les plateformes de classe de portance P1.
	0.55m	Pour les plateformes de classe de portance P2.
	0.45m	Pour les plateformes de classe de portance P3.
a	0 m	Pour les lignes des groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V>160 km/h quel que soit le groupe (UIC).
	-0.05 m	Pour les lignes de groups UIC (3,4).
	-0.10 m	Pour les lignes de groupe UIC (5, 6,7, 8,9) avec voyageurs.
	-0.15 m	Pour les lignes de groupe UIC (7, 8,9) sans voyageurs.
b	0 m	Pour les travers en bois de longueurs L= 2.6 m
	(2.50-L) /2 m	Pour les travers en béton de longueur L. (L et b en mettre si L>2.5, b peut être négatif).
c	0 m	Pour un dimensionnement normal (nouvelle ligne).
	-0.1 m	À titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que ''7, 8 et 9 sans voyageurs''.
d	0 m	Lorsque la charge nominale maximale d'essieu des véhicules remorques est inférieur ou égale a 20 tonne/essieu.
	0.05 m	Lorsque cette charge est de 22 ,5 tonne/essieu.
	0.12 m	Lorsque cette charge est de 25 tonne/essieu.

f	0	Pour toutes les lignes parcourues à V ≤ 160 Km/h et pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse.
	0.05 m	Pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues a grande vitesse.
	0,10 m	Pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues a grande vitesse.
g	0.01m	Géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2.
	0	(Pas de géotextile), lorsque la couche de forme est en sol QS3.

VII.7 Application au projet :

Tableau VII-5 Dimensionnement de la couche d'assise

Paramètre	/	Description
Ballast (m)	0.30	/
Traverses L (m)	2.25	
E (m)	0.45	Pour une plateforme P3
a (m)	0.00	Pour les lignes des groupes UIC 1 et 2 (tonnage important sur la ligne)
b (m)	0.125	Traverses
c (m)	0.00	Pour un dimensionnement normal (nouvelle ligne)
d (m)	0.05	Pour une charge de 22 ,5 tonne/essieu
f (m)	0.00	V=120 ≤ 160 Km/h et plate-forme de portance P3
g (m)	0.00	Géotextile
Epaisseur de e (m)	0.63	/

VII.7.1 Synthèse de la solution

Nous proposons les épaisseurs des couches d'assise pour une portance P3 (après l'amélioration de la portance avec un épaisseur de c.d.f =50cm) comme ci- dessous :

Tableau VII-6 Structure de la voie

Couche	Epaisseur(m)
Ballast	**0.3**
Sous-ballast	**0.15**
Couche de fondation	**0.20**

VII.8 Conclusion :

Les structures d'assise de la voie (couche de forme et sous-couche) sont conçues et dimensionnées en fonction de la classe de portance de la plateforme ferroviaire et des conditions géotechniques de la PST.

VIII. ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

VIII.1 Introduction :

La prise en compte de l'hydraulique est essentielle pour assurer la sécurité et la durabilité des infrastructures ferroviaires.

Dans le cadre de dédoublement et la rectification de la ligne minière entre les villes Oued Kebrit et Djebel El Onk et précisément du PK 62+000 au PK 74+000, Le chapitre suivant examine les différentes étapes de l'étude hydraulique, y compris la détermination des débits de crues tout le long du tracé afin d'éviter les éventuelles inondations de celle-ci, et de prévoir ainsi l'aménagement hydraulique de protection le plus approprié.

VIII.2 Etude hydrologique :

L'étude hydrologique permet de déterminer les caractéristiques des cours d'eau traversés par le tracé ferroviaire.

La région d'étude est située en est - nord de l'Algérie. Le tracé de la ligne minière Annaba-Oued Kebrit – Tébessa a traversé le long de son parcours de nord au sud, les sous bassins hydrographiques :

- Le sous-bassin de côtiers Constantinoise BV 03
- Le sous-bassin de Medjerda BV 12
- Le sous-bassin de Seybouse. BV14

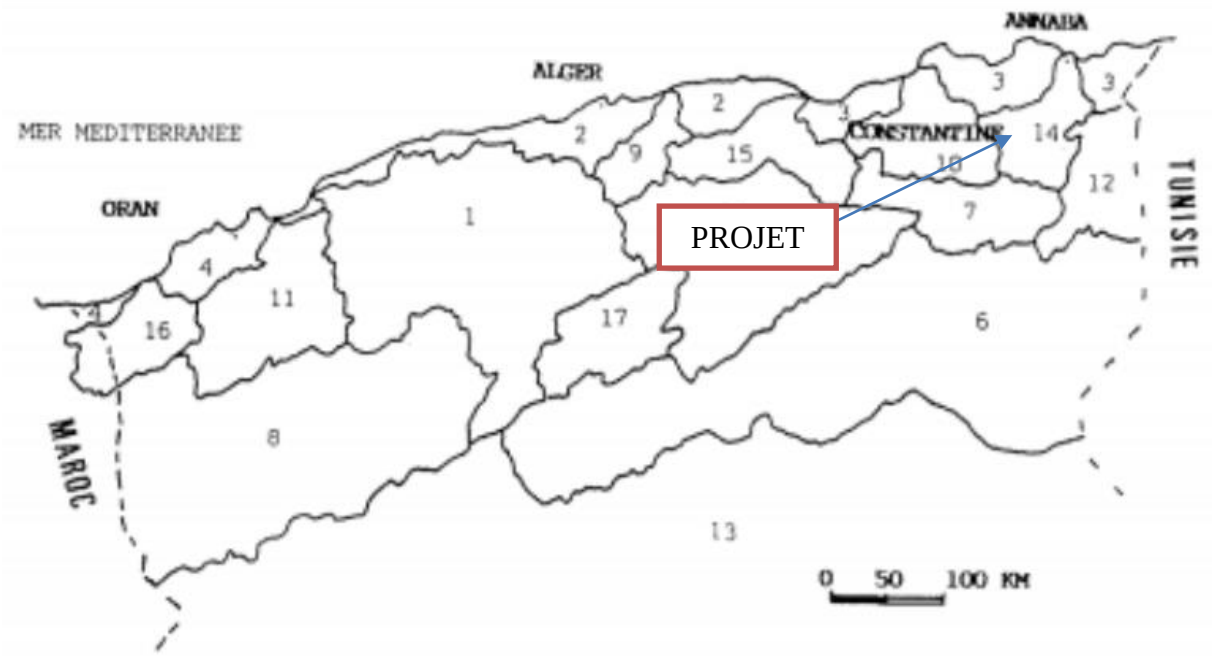


Figure VIII-1 les basins versant en Algérie

Apres avoir élaboré le tracé de la voie ferre, ce dernier a été projeté sur une carte d'état-major contenant les cours d'eaux, en analysants les intersections obtenues et selon le débit de crue provenant du bassin versant on dimensionne les ouvrages tout en respectant les conditions d'auto curages

La délimitation des bassins versant de la zone d'étude sur la carte d'état-major est joint en plans format A3.

VIII.2.1 Caractéristiques morphologiques des bassins versants :

L'évaluation des caractéristiques des bassins versants implique la détermination des facteurs qui sont nécessaires pour estimer les débits de crue. Les paramètres physiques peuvent être calculés avec une précision adéquate et sans trop de difficulté.

- La Délimitation des lignes de partage des eaux est faite sur les cartes d'état-major au 1/25000.
- Les caractéristiques des paramètres de bassins versants des Oueds traversant la voie ferrée sont données par le tableau récapitulatif si dessous :

Avec :

- S (km^2) : Surface.
- P (km) : Périmètre
- L (km) : Longueur du cours d'eau principal
- Kc : Indice de compacité
- TC (h) : Temps de concentration en heures
- Hmax(m) : Altitude max
- Hmin(m) : Altitude min
- Hmoy(m) : Altitude moyenne
- P (%) : pente du talweg principal en %.
- C : coefficient de ruissellement

Figure VIII-2 Caractéristiques morphologiques des bassins versants

BV	PK	S(km^2)	P(Km)	L(km)	KC	Hmax(m)	Hmin(m)	Hmoy(m)	Dh(m)	I(m/m)
1	62+225	0.01	0.45	0.113	1.26	639	637.38	638.19	1.62	0.0143
2	62+339	0.111	1.425	0.501	1.19759895	641	637.71	639.355	3.29	0.0066
3	62+762	20.951	19.148	7.763	1.17132947	751	636.45	693.725	114.55	0.0148
4	63+189	1.099	6.046	2.727	1.61483193	840	631.97	735.985	208.03	0.0763
5	63+764	0.297	2.995	1.099	1.53878036	682	643.09	662.545	38.91	0.0354
6	64+240	0.153	1.887	0.592	1.35077874	675	654.23	664.615	20.77	0.0351
7	64+600	0.152	1.975	0.748	1.41841507	686	653.58	669.79	32.42	0.0433
8	65+000	0.207	2.84	0.809	1.74779784	665	656.29	660.645	8.71	0.0108
9	65+228	0.68	5.162	2.292	1.75275646	940	660.74	800.37	279.26	0.1218
10	65+522	0.145	1.581	0.592	1.16253463	700	656.7	678.35	43.3	0.0731

11	65+910	0.546	3.49	1.461	1.32247398	844	672.89	758.445	171.11	0.1171
12	66+083	0.419	3.49	1.638	1.50965061	985	669.05	827.025	315.95	0.1929
13	66+333	0.488	4.367	2.088	1.75037585	1140	674.3	907.15	465.7	0.2230
14	66+623	0.361	4.295	2.017	2.00155532	1120	675.26	897.63	444.74	0.2205
15	66+940	0.474	4.537	2.074	1.84517533	1020	679.29	849.645	340.71	0.1643
16	67+329	0.375	3.042	1.386	1.39091826	880	680.52	780.26	199.48	0.1439
17	67+500	0.023	0.666	0.316	1.22961271	715	679.81	697.405	35.19	0.1114
18	67+882	0.733	4.747	2.397	1.55247736	1040	678.06	859.03	361.94	0.1510
19	68+191	0.121	1.685	0.483	1.35632964	720	680.57	700.285	39.43	0.0816
20	68+447	0.023	0.858	0.316	1.58409565	715	679.81	697.405	35.19	0.1114
21	68+627	0.129	1.823	0.87	1.42118248	762	680.25	721.125	81.75	0.0940
22	68+673	0.027	0.926	0.409	1.57792783	720	673.56	696.78	46.44	0.1135
23	68+816	0.27	3.085	1.402	1.66238388	900	677.13	788.565	222.87	0.1590
24	69+057	0.162	1.726	0.634	1.20071881	742	677.23	709.615	64.77	0.1022
25	69+099	0.134	1.971	0.671	1.50762127	815	676.06	745.53	138.94	0.2071
26	69+276	0.255	2.395	1.214	1.32798588	900	680.08	790.04	219.92	0.1812
27	69+509	0.023	0.721	0.2	1.3311573	702	680.57	691.285	21.43	0.1072
28	69+606	0.476	4.095	1.829	1.66191367	972	682.86	827.43	289.14	0.1581
29	69+728	0.15	1.725	0.691	1.24710064	730	683.13	706.565	46.87	0.0678
30	70+130	0.474	3.356	1.363	1.36486851	775	682.8	728.9	92.2	0.0676
31	70+603	0.055	1.432	0.612	1.70969918	715	681.43	698.215	33.57	0.0549
32	70+762	0.447	3.818	1.755	1.59896955	820	680.2	750.1	139.8	0.0797
33	71+043	0.16	1.612	0.646	1.1284	712	674.58	693.29	37.42	0.0579
34	71+407	0.632	5.243	2.445	1.84662772	865	672.78	768.89	192.22	0.0786
35	71+508	0.849	5.148	2.295	1.56438169	815	668.7	741.85	146.3	0.0637
36	71+947	0.017	0.529	0.168	1.13602854	680	669.78	674.89	10.22	0.0608
37	72+003	17.89	22.92	8.209	1.51728608	928	668.02	798.01	259.98	0.0317
38	72+491	0.168	1.678	0.575	1.14629223	690	673.74	681.87	16.26	0.0283
39	72+979	2.62	6.7	3.061	1.15899667	745	668.74	706.87	76.26	0.02491343
40	73+907	0.319	2.9	0.499	1.43767489	703	679.22	691.11	23.78	0.04765531

VIII.3 Calcul hydraulique :

VIII.3.1.1 Temps de concentration :

Le temps de concentration est le temps que mettent des gouttes d'eau non évaporées et non infiltrées dans le Sol de descendre du sommet du bassin versant jusqu'à l'exutoire. Quand ce temps de concentration est atteint, ceci signifie que toutes les régions du bassin versant participent au débit. Donc c'est le temps nécessaire à la goute d'eaux pour arriver à un débit maximal.

Des méthodes simplifiées peuvent être utilisées pour estimer le temps de concentration sur des bassins versants :

- **Formule de Ventura : (S < 5 Km²)**

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

- Tc : Temps de concentration en heure.
- S : Surface du bassin versant en km².
- P : Pente moyenne du bassin versant en (m/m).

➢ **Formule de Passini : (5Km²<S<25Km²)**

$$Tc = 0.11\frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt{P}}$$

- Tc : temps de concentration (heures)
- L : longueur du talweg (km).
- P : Pente moyenne du bassin versant en (m/m).
- S : Surface du bassin (km2).

➢ **Formule de Giandotti : (Superficie > 200 Km²)**

$$Tc = 1.25\frac{(1.5L + 4\sqrt{S})}{\sqrt{h}}$$

- L : Longueur du cours d'eau principal en km
- S : Surface du bassin versant en km²
- h =hmoy -h min

VIII.3.1.2 Calcul de l'intensité de pluie :

La relation Intensité - Durée - Fréquence recherchée est la suivante :

$$I = A \times Tc^{b}$$

- I : Intensité de la pluie (mm/h).
- Tc : Temps de concentration.
- A et b : Paramètres climatiques

Pour les données pluviographique de la région d'étude, nous avons pris en considération la station pluviographique de Tébessa qui se rapproche le plus de notre tronçon d'étude entre Aouinet et Sidi Yahia sachant qu'elle est la mieux représentative de cette région.

Tableau VIII-1 Paramètres a et b des Courbes IDF pour la région de l'étude

Période de retour	$I = A \times Tc^{b}$	
	A	b
10	22.4	-0.62
20	25.7	-0.62
50	30	-0.62
100	33.2	-0.62

VIII.3.1.3 Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) :

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

Le calcul des débits de pointe de crue (de période de retour de 10, 20, 50 et 100 ans) est effectué à travers l'utilisation de la méthode rationnelle, se basant sur les données pluviométriques. Cette méthode est utilisée pour les superficie inférieures à 25 km2

- **La méthode rationnelle :**

La méthode rationnelle a comme principe fondamental le fait que la pluie génératrice de crues est celle de durée égale au temps de concentration.

Le débit de pointe d'un bassin versant est calculé par la relation suivante :

$$Q_A = \frac{C \times I \times A}{3.6}$$

Avec :

- Q_A: Débit de crue de fréquence déterminée en m3 /s.
- C : Coefficient de ruissellement.
- I : Intensité de pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration en (mm/h).
- A : Surface du bassin versant en (km^2).

- **Le coefficient de ruissellement :**

Le coefficient de ruissellement C signifie le pourcentage des eaux écoulées sur la terre saturée de pluies par rapport à la quantité totale des eaux courantes, il dépend de :

- La nature du sol.
- L'état de végétalisation sur la terre écoulée.
- La pente P de l'isohypse

Tableau VIII-2 Désignation des coefs de ruissellement par zone

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

Pour notre projet la couverture végétale est de type Pâturage et la plupart des terrains est limoneux donc le coefficient de ruissellement varie entre les valeurs 0.3, 0.36 et 0.42.

VIII.3.1.3.1 Résultats de calcul des débits par la méthode rationnelle :

Les débits de pointes calculés par la méthode rationnelle pour une période de retour centennale, et cela pour les bassins versants dont la superficie est inférieure ou égale à 25Km² sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VIII-3 Résultats de calcul des débits par la méthode rationnelle

BV	S(km2)	C	L(km)	Dh(m)	I(m/m)	Tc(heures)	A	B	I100 [mm/h]	Q100 [mm/s3]
1	0.01	0.3	0.113	1.62	0.0143	0.17	33.2	0.62	99.60	0.08
2	0.111	0.3	0.501	3.29	0.0066	0.52	33.2	0.62	49.67	0.46
3	20.951	0.3	7.763	114.55	0.0148	4.94	33.2	0.62	12.33	21.52
4	1.099	0.36	2.727	208.03	0.0763	0.48	33.2	0.62	52.19	5.74
5	0.297	0.3	1.099	38.91	0.0354	0.37	33.2	0.62	61.72	1.53
6	0.153	0.3	0.592	20.77	0.0351	0.27	33.2	0.62	75.60	0.96
7	0.152	0.3	0.748	32.42	0.0433	0.24	33.2	0.62	80.88	1.02
8	0.207	0.3	0.809	8.71	0.0108	0.56	33.2	0.62	47.73	0.82
9	0.68	0.42	2.292	279.26	0.1218	0.30	33.2	0.62	70.03	5.56
10	0.145	0.36	0.592	43.3	0.0731	0.18	33.2	0.62	96.53	1.40
11	0.546	0.42	1.461	171.11	0.1171	0.27	33.2	0.62	74.05	4.72
12	0.419	0.42	1.638	315.95	0.1929	0.19	33.2	0.62	93.83	4.59
13	0.488	0.42	2.088	465.7	0.2230	0.19	33.2	0.62	93.62	5.33
14	0.361	0.42	2.017	444.74	0.2205	0.17	33.2	0.62	99.60	4.2
15	0.474	0.42	2.074	340.71	0.1643	0.22	33.2	0.62	85.92	4.75
16	0.375	0.42	1.386	199.48	0.1439	0.20	33.2	0.62	88.69	3.88
17	0.023	0.36	0.316	35.19	0.1114	0.17	33.2	0.62	99.60	0.23
18	0.733	0.42	2.397	361.94	0.1510	0.28	33.2	0.62	73.13	6.25
19	0.121	0.36	0.483	39.43	0.0816	0.15	33.2	0.62	105.63	1.28
20	0.023	0.42	0.316	35.19	0.1114	0.17	33.2	0.62	99.60	0.27
21	0.129	0.36	0.87	81.75	0.0940	0.17	33.2	0.62	99.60	1.28
22	0.027	0.42	0.409	46.44	0.1135	0.17	33.2	0.62	99.60	0.31
23	0.27	0.42	1.402	222.87	0.1590	0.17	33.2	0.62	99.60	3.14
24	0.162	0.42	0.634	64.77	0.1022	0.17	33.2	0.62	99.60	1.88
25	0.134	0.42	0.671	138.94	0.2071	0.17	33.2	0.62	99.60	1.56
26	0.255	0.42	1.214	219.92	0.1812	0.17	33.2	0.62	99.60	2.96
27	0.023	0.42	0.2	21.43	0.1072	0.17	33.2	0.62	99.60	0.27
28	0.476	0.42	1.829	289.14	0.1581	0.22	33.2	0.62	84.80	4.71
29	0.15	0.36	0.691	46.87	0.0678	0.19	33.2	0.62	153.33	2.30
30	0.474	0.36	1.363	92.2	0.0676	0.34	33.2	0.62	98.92	4.69
31	0.055	0.36	0.612	33.57	0.0549	0.17	33.2	0.62	166.09	0.91
32	0.447	0.36	1.755	139.8	0.0797	0.30	33.2	0.62	107.63	4.81
33	0.16	0.36	0.646	37.42	0.0579	0.21	33.2	0.62	140.90	2.25
34	0.632	0.36	2.445	192.22	0.0786	0.36	33.2	0.62	93.89	5.93
35	0.849	0.36	2.295	146.3	0.0637	0.46	33.2	0.62	77.50	6.58
36	0.017	0.36	0.168	10.22	0.0608	0.17	33.2	0.62	166.09	0.28
37	17.89	0.3	8.209	259.98	0.0317	3.26	33.2	0.62	17.59	26.23
38	0.168	0.3	0.575	16.26	0.0283	0.31	33.2	0.62	105.32	1.47
39	2.62	0.3	3.061	76.26	0.025	1.30	33.2	0.62	35.341	7.716
40	0.319	0.3	0.499	23.78	0.048	0.33	33.2	0.62	100.655	2.676

VIII.3.2 Etude d'Assainissement :

Le dimensionnement des ouvrages hydrauliques doit prendre en compte plusieurs critères, notamment le débit d'eau à évacuer lors d'un événement pluvieux centennal, les vitesses d'écoulement de l'eau à l'intérieur des ouvrages, ainsi que le débit maximal à pleine section. La méthode de Manning-Strickler est une méthode courante pour déterminer le débit maximal à pleine section des ouvrages hydrauliques.

Méthode de MANNING STRICKLER pour le dimensionnement des dalots :

La méthode de Manning-Strickler est une méthode couramment utilisée pour la conception de systèmes de conduites en raison de sa simplicité et de sa précision suffisante pour la plupart des applications.

Le principe général du dimensionnement des ouvrages hydrauliques est de s'assurer que le débit d'eau à évacuer lors d'un événement pluvieux centennal ne dépasse pas le débit maximal que l'ouvrage peut supporter sans subir de dommages.

Le dimensionnement des ouvrages hydrauliques doit également garantir que les vitesses d'écoulement de l'eau à l'intérieur de ces ouvrages restent inférieures à 4 m/s dans les canalisations en béton pour éviter l'érosion du matériau et l'usure prématurée des ouvrages.

Le calcul de débit de saturation est déterminé par la formule de MANNING-STRICKLER :

$$Q_s = K_s S_m R_h{}^{2/3} I^{1/2}$$

- I : Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).
- R_h : Rayon hydraulique = $\frac{\text{Séction mouillé}}{\text{Périmètre mouillé}}$.
- S_m : Section mouillée de l'ouvrage b x H_u (m^2).
- B : Largeur de l'ouvrage (m).
- H_u : Hauteur utile (m).
- H_t : Hauteur totale (m).
- Ks : Coefficient de rugosité.

VIII.3.2.1 Application au projet :

- Vérification d'un dalot existant au PK 65+228 :

- Notre dalot représente les caractéristiques suivantes :

- B (largeur nette du cadre) =4 m

- H (hauteur nette) = 4 m

- H_r = 0.75 H :la hauteur de remplissage (m)

- Ks = 70 et I=0.002%

- Le rayon hydraulique : $R_h = \frac{0.75Ht \times b}{1.5\ Ht+b}$.

- **Vérification de la condition pour assurer un écoulement fluvial :**

$H_{cr} = \sqrt[3]{\frac{Qs}{g \times b^2}} = \sqrt[3]{\frac{42.42}{9.8 \times 4^2}}$ =0.65 m < 1.2m → la condition est vérifiée.

- **Vérification de la condition d'auto curage :**
- $Vps = \frac{Qps}{Sps} = \frac{42.42}{12} = 3.54\ m/s < 4\ m/s$
- Pour $\frac{Qa}{Qps} = 0.1$ on a $\frac{V}{Vps} = 0.638 \rightarrow V = Vps \times 0.638 = 3.54 \times 0.638 = 2.26\ \frac{m}{s} > 0.6\ m/s$
- Pour $\frac{Qa}{Qps} = 0.01$ on a $\frac{V}{Vps} = 0.315 \rightarrow V = Vps \times 0.315 = 3.54 \times 0.315 = 1.11\ \frac{m}{s} > 0.3\ m/s$

Tableau VIII-4 Liste globale des ouvrages à projeter

Exutoire au PK	Ouvrage	Largeur	Hauteur ou Diamètre	Sm (m^2)	Pm (m)	Rh (m)	I (m/m)	Q projet (100) m3 /s	Qs m3 /s	Vps (m/s)	Si Q=0.1Qp alors V > 0.6m/s	Si Q=0.01Qps Alors V > 0.3 m/s
62+225	Dalot 2x1.5	2	1.5	2.25	4.25	0.53	0.002	0.08	4.61	2.05	1.31	0.65
62+339	Dalot 2x1.5	2	1.5	2.25	4.25	0.53	0.002	0.46	4.61	2.05	1.31	0.65
62+762	Dalot 4*(3x2)	3	2	12	10	1.20	0.002	21.52	46.52	3.54	2.26	1.12
63+189	Dalot 3x2	3	2	12	10	1.20	0.002	5.74	11.63	2.58	1.65	0.81
63+764	Dalot 1.5x1.5	1.5	1.5	1.69	3.75	0.45	0.002	1.53	3.10	1.84	1.17	0.58
64+240	Dalot 1.5x1.5	1.5	1.5	1.69	3.75	0.45	0.002	0.96	3.10	1.84	1.17	0.58
64+600	Dalot 2x1.5	2	1.5	2.25	4.25	0.53	0.002	1.02	4.61	2.05	1.31	0.65
65+000	Dalot 2x1.5	2	1.5	2.25	4.25	0.53	0.002	0.82	4.61	2.05	1.31	0.65
65+228	Dalot 4x4	4	4	12	10	1.2	0.002	5.56	42.42	3.54	2.26	1.12
65+522	Dalot 2x1.5	2	1.5	2.25	4.25	0.53	0.002	1.40	4.61	2.05	1.31	0.65
65+910	Dalot 3x1.5	3	1.5	3.38	5.25	0.64	0.002	4.72	7.87	2.33	1.49	0.73
66+083	Dalot 2x1.5	2	1.5	2.25	4.25	0.53	0.002	4.59	4.61	2.05	1.31	0.65
66+333	Dalot 3x1.5	3	1.5	3.38	5.25	0.64	0.002	5.33	7.87	2.33	1.49	0.73
66+623	Dalot 3x1.5	3	1.5	3.38	5.25	0.64	0.002	4.2	7.87	2.33	1.49	0.73

66+940	Dalot 3x1.5	3	1.5	3.38	5.25	0.64	0.002	4.75	7.87	2.33	1.49	0.73
67+329	Dalot 3x1.5	3	1.5	3.38	5.25	0.64	0.002	3.88	7.87	2.33	1.49	0.73
67+500	Dalot 3x3	3	3	6.75	7.5	0.9	0.002	0.23	19.70	2.92	1.86	0.92
67+882	Dalot 3x1.5	3	1.5	3.38	5.25	0.64	0.002	6.25	7.87	2.33	1.49	0.73
68+191	Dalot 2x1.5	2	1.5	2.25	4.25	0.53	0.002	1.28	4.61	2.05	1.31	0.65
68+447	Dalot 2x1.5	2	1.5	2.25	4.25	0.53	0.002	0.27	4.61	2.05	1.31	0.65
68+627	Dalot 6x6	6	6	27	15	1.8	0.002	1.28	125.07	3.47	2.96	1.09
68+673	Dalot 3x3	3	3	6.75	7.5	0.9	0.002	0.31	19.70	2.92	1.86	0.92
68+816	Dalot 6x6	6	6	27	15	1.80	0.002	3.14	125.07	3.47	2.96	1.09
69+057	Dalot 2x1.5	2	1.5	2.25	4.25	0.53	0.002	1.88	4.61	2.05	1.31	0.65
69+099	Dalot 3x1.5	3	1.5	3.38	5.25	0.64	0.002	1.56	7.87	2.33	1.49	0.73
69+276	Dalot 3x1.5	3	1.5	3.38	5.25	0.64	0.002	2.96	7.87	2.33	1.49	0.73
69+509	Dalot 1.5x1.5	1.5	1.5	1.69	3.75	0.45	0.002	0.27	3.10	1.84	1.17	0.58
69+606	Dalot 3x2	3	2	12	10	1.20	3	4.71	11.63	2.58	1.65	0.81
69+728	Dalot 1.5x1.5	1.5	1.5	1.69	3.75	0.45	0.002	2.30	3.10	1.84	1.17	0.58
70+130	Dalot 2X2	2	2	3	5	0.60	0.002	4.69	6.68	2.23	1.42	0.70
70+603	Dalot 2x1.5	2	1.5	2.25	4.25	0.53	0.002	0.91	4.61	2.05	1.31	0.65
70+762	Dalot 4x4	4	4	12	10	1.2	0.002	4.81	42.42	3.54	2.26	1.12
71+043	Dalot 4x4	4	4	12	10	1.2	0.002	2.25	42.42	3.54	2.26	1.12
71+407	Dalot 4x4	4	4	12	10	1.2	0.002	5.93	42.42	3.54	2.26	1.12
71+508	Dalot 3x3	3	3	6.75	7.5	0.9	0.002	6.58	19.70	2.92	1.86	0.92

71+947	Dalot 4x4	4	4	12	10	1.2	0.002	0.28	42.42	3.54	2.26	1.12
72+003	Dalot 4x4	4	4	12	10	1.2	0.002	26.23	42.42	3.54	2.26	1.12
72+491	Dalot 2x1.5	2	1.5	2.25	4.25	0.53	0.002	1.47	4.61	2.05	1.31	0.65
72+979	Dalot 3x2	3	2	12	10	1.20	0.002	7.716	11.63	2.58	1.65	0.81
73+907	Dalot 2x1.5	2	1.5	2.25	4.25	0.53	0.002	2.676	4.61	2.05	1.31	0.65

VIII.3.3 Ouvrages d'assainissement longitudinaux :

Les dispositifs de drainage longitudinaux sont des éléments ou des installations utilisés le long des routes, des voies ferrées ou d'autres infrastructures pour assurer un drainage efficace des eaux de surface, et les infiltrations d'eau qui pourraient affecter la stabilité et la durabilité de la voie.

Pour déterminer les surfaces à drainer on a analysé les profils en travers et les caractéristiques du terrain naturel dans lequel le projet est implanté.

VIII.3.3.1 Dimensionnement des fossés :

Un fossé est une tranchée linéaire parallèle à l'axe de la voie ferré et creusée dans le sol pour collecter et transporter les eaux de surface caractérisée par sa section courante et sa pente.

Pour le calcul hydraulique de fossés a été utilisée la formule de Manning-Strickler :

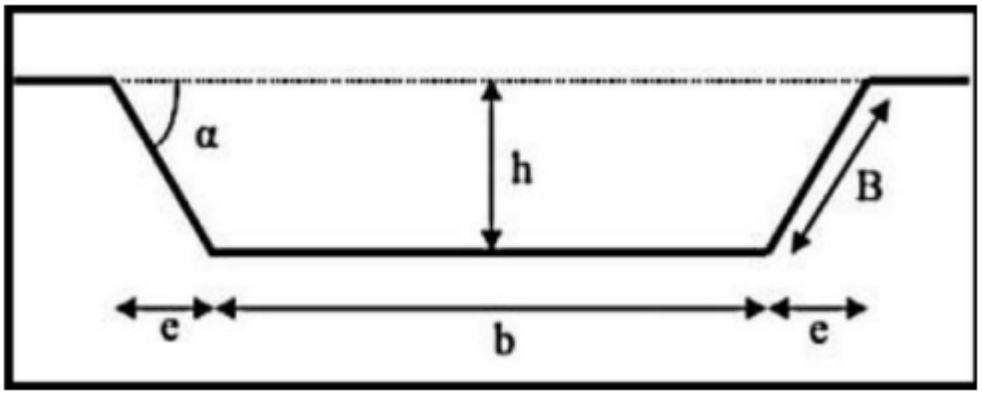
$$Q_s = K_s S_m R_h^{2/3} I^{1/2}$$

Avec :

- I : Pente (La déclivité longitudinale des fossés en zone de déblai est identique au gradient du profil en long de la voie).
- R_h : Rayon hydraulique = $\frac{\text{Séction mouillé}}{\text{Périmètre mouillé}}$.
- S_m : La surface mouillée : Sm= (b+ z×h) ×h (avec z la pente des berges z = e/h = 1/tanα)
- Pm : Le périmètre mouillé : $Pm = b + 2h \times \sqrt{1 + z^2}$

Figure VIII-3. Fossé de forme trapézoïdale.

- Ks : Coefficient de rugosité ($KS = 1/n$, n est le nombre de Strickler tel que n=0,013 pour fossé revêtu (en béton) et n=0,025 pour tranchée sans revêtement).



Réseau de pied de talus de Déblai :

Les fonctions principales d'un fossé au pied d'un talus de déblais sont les suivantes :

- Drainage des eaux de ruissellement : Le fossé permet de collecter et de diriger les eaux de pluie ou de ruissellement qui descendent le long du talus.
- Stabilisation du talus : Le fossé agit comme une mesure de stabilisation en permettant à l'eau de s'écouler librement. Cela réduit les risques d'affaissement ou d'effondrement du talus causés par la saturation du sol ou par une pression hydrostatique excessive.
- Prévention de l'érosion.

Le dimensionnement se fait dans le cas le plus défavorable (hauteur importance de déblai)

Du **PK 70+226** au **PK 70+489** ou on a un déblai de **4.33 m** avec une linéaire de **262.74m** et de pente de **P= 0.5%**

- **Calcul de débit d'apport :**

En appliquant la méthode rationnelle tel que :

$$\mathbf{Q_a = Q_{plateforme} + Q_{Talus} + Q_{Berme}}$$

Tel que :

- $\mathbf{Q_{plateforme}} = 0.278 \times C_{plateforme} \times I \times A_{plateforme}$
- $\mathbf{Q_{Talus}} = 0.278 \times C_{Talus} \times I \times A_{Talus}$
- $\mathbf{Q_{Berme}} = 0.278 \times C_{Berme} \times I \times A_{Berme}$

- **Récapitulatif des surfaces :**

Tableau VIII-5 Surface de plateforme, talus, berme

Sous Bassins	Largeur ou Hauteur	Surface en m^2
Plateforme	13.6	3573.264

Talus	4.33	2049.372
Berme	0.3	78.822

- **Coefficient de ruissellement :**

Le tableau suivant résume les valeurs adoptées du coefficient de ruissellement de la plateforme, talus et berme :

Tableau VIII-6 Coefficient de ruissellement choisi

Sous Bassins	Coefficient de ruissellement
Plateforme	0.7
Talus	0.5
Berme	0.5

- **Résultat de calcul :**

Le système de drainage longitudinal a été dimensionné pour une période de retour de 20 ans (a=25.7, b=--0.62).

Tableau VIII-7 Débit total d'apport

Sous Bassins	Surface en Km^2	Coefficient de ruissellement	Tc (heures)	I (mm/h)	Q_{20ans} (m^3/s)
Plateforme	3573.264×10^{-6}	0.7	0.038	195.194	0.136
Talus	2049.372×10^{-6}	0.5	0.007	557.150	0.159
Berme	78.822×10^{-6}	0.5	0.0056	639.818	0.007
Le débit total en (m^3/s)					0.30

Remarque : Le temps de concentration a été calculé avec la formule des petits bassins (Formule de Ventura).

Le choix de type du fossé est en fonction du débit à évacuer qui est rapporté par la plateforme, les bermes et les talus $Q_a = Q_{plateforme} + Q_{Talus} + Q_{Berme}$.

On procède par calcul itératif, on pose b=0.5, et z = 3/2 (trois dans le sens horizontal pour deux dans le sens vertical), en égalisant le débit d'apport et débit de saturation.

Tableau VIII-8 dimensions de fossé proposé

Largueur (m)	Profondeur (m)
0.5	0.5

Tableau VIII-9 Calcul des débits de saturation des fossés

B	H	Z	Sm	Pm	Rh	Ks	I (%)	Qs (m^3/s)
0.5	0.5	2/3	0.41	1.70	0.24	75	0.5	0.84

VIII.4 Conclusion :

Afin de sécuriser la zone sur le plan de l'assainissement, nous avons dû dimensionner plusieurs ouvrages hydrauliques en tenant compte de la topographie particulièrement complexe du tracé. De plus, nous devons prendre en compte la présence de l'Oued Chebro qui longe intégralement notre tracé, ce qui augmente considérablement le nombre de bassins versants. Il est également nécessaire de vérifier les ouvrages déjà existants.

.

IX. PROFIL EN TRAVERS

IX. PROFIL EN TRAVERS

IX.1 Introduction :

Le profil en travers est une représentation graphique de la section transversale d'une infrastructure linéaire telle qu'une route, une voie ferrée. Il montre comment la surface de l'infrastructure est configurée dans une direction perpendiculaire à son alignement longitudinal.

Dans le cas spécifique d'une voie ferrée, le profil en travers décrit la configuration de la voie dans une coupe transversale. Il comprend généralement les éléments suivants :

- Rails
- Traverse
- Ballast
- Talus
- Drainage

Il peut se schématiser sous deux formes :

IX.1.1 Profil en travers type :

Le profil en travers type est une représentation graphique préétablie de la section transversale de la voie ferrée. Il est généralement utilisé comme référence pour la conception de la voie contenant et détaillant d'une manière précise toutes les dimensions et tous les détails constructifs.

IX.1.2 Profil en travers courant :

Le profil en travers courant se réfère à la représentation graphique de la section transversale réelle d'une voie ferrée à un PK spécifique. Il reprend et mentionne la totalité des caractéristiques de la section transversal du PK en question comme : cote terrain naturel (TN), cote de projet. Devers de la plate-forme et qui servent à calculer les cubatures.

IX.2 Les profils en travers affectés au projet :

- La nouvelle ligne ferroviaire repose sur une plateforme à double voie de 13.60 m en zone de rectification du tracé, et une demi section de 6.80 m en zone de dédoublement, avec redans d'accrochage plateforme existante-plateforme projetée de dimensions minimales de 0.6mx0.6m, avec élargissement de la plateforme existante sur 1m pour permettre l'implantation des poteaux caténaires.
- L'entraxe des voies est fixé à 5,00 m.
- Le gabarit vertical des ponts routes (hauteur libre) à dégager est de 6.35m par rapport à la côte du rail la plus élevée.
- La superstructure est formée par des rails UIC-60 espacé de 1435 mm et des traverses bibloc, sur ballast dont l'épaisseur minimal est de 0,30 m
- La plateforme retenue est un profil en toit, avec des inclinaisons transversales de 4%.
- Les épaisseurs des couches sous-ballast et de couche de forme sont définies dans le chapitre ASSISE FERROVIAIRE.

- Dans les zones de déblais les talus ont été définis avec l'inclinaison de 2/3 (V/H), avec la construction de fosses longitudinaux au pied de talus.
- Dans les zones de remblai les talus ont été définis avec l'inclinaison de 2/3 (V/H).

Remarque : en cas de raccordement (en pleine courbe), les épaisseurs de toutes les couches sauf le ballast seront fixes, c'est l'épaisseur de ballast qui va être augmenté pour créer le Dévers exigé.

- Les profils en travers types sont joints en plans format A3.

X. TERRASSEMENT ET OUVRAGES D’ART

X.1 Les terrassements :

Ils consistent en une série d'opérations qui préparent le sol en vue de la pose des voies et des infrastructures associées. Les principaux objectifs des terrassements sont d'assurer la stabilité du sol, de créer une surface plane et durable pour les voies et de faciliter le drainage des eaux de pluie.

Cette modification du sol est réalisée par l'exécution de déblais et de remblais avec parfois de grande hauteur.

- **Le remblai :** Il s'agit du processus de remplissage d'une zone avec du matériau, afin de relever ce niveau.
- **Le déblai :** consiste à abaisser le niveau du terrain par enlèvement des terres.

Le calage du profil en long est essentiellement lié à l'optimisation du mouvement de terres, compte tenu des diverses contraintes imposées, c'est à partir des éléments apportés par la géologie et la géotechnique qu'il faut déterminer un profil projet tel que le coût global des terrassements soit minimal.

X.1.1 Pente de talus :

Les pentes de talus principalement utilisées (selon SNTF CHAPITRE 7.2.2 ouvrages en terre pour plateformes ferroviaires), et exprimées en fraction base sur hauteur, sont :

- En déblai subvertical, 1/2, 2/3, 1/1, 3/2, 2/1, 2,5/1, 3/1.
- En remblai 3/2, 2/1.

Elles doivent être déterminées de façon à assurer la stabilité générale de l'ouvrage, en fonction de :

- Caractéristiques géotechniques des terrains recoupés en déblais, ou du sol support et des matériaux mis en œuvre pour les remblais.
- La hauteur de l'ouvrage. - La topographie de site et des risques naturelles.

X.1.2 Application au projet :

X.1.2.1 Déblais :

Tout au long du tracé de la ligne ferroviaire, il est inévitable de faire face à des contraintes topographiques et géotechniques qui exigent la réalisation de terrassements de petite à moyenne ampleur, en particulier dans les zones présentant des reliefs variés.

Le tableau ci-dessous montre Les principales zones de déblais le long du tracé.

Tableau X-1 Les caractéristiques de chaque déblai.

PK Début	PK Fin	PK ou le déblai est le plus haut	Hauteur max (m)	Talus (H/V)
62+366	62+644	62+450	3.61	2/3
63+467	63+821	63+500	2.06	2/3
66+963	67+450	67+025	2.50	2/3
67+761	67+913	67+875	1.59	2/3
70+226	70+489	70+350	4.33	2/3

X.1.2.2 Remblais :

Le tableau ci-dessous montre Les principales zones de remblais le long du tracé.

Tableau X-2 Les caractéristiques de chaque remblai.

PK Début	PK Fin	PK ou le remblai est le plus haut	Hauteur max (m)
62+303	62+366	62+350	1.85
62+644	62+814	62+725	2.24
62+820	63+283	63+175	1.57
63+821	64+251	63+975	1.00
64+350	64+825	64+600	2.04
64+970	65+641	65+200	3.55
65+618	66+750	66+475	4.61
70+555	72+125	71+975	2.71
72+921	73+214	73+000	3.37

X.1.3 Epaisseur de la terre végétale :

Le décapage de la terre végétale est une pratique consistant à retirer la couche supérieure du sol riche en matière organique, souvent appelée terre végétale. Le décapage de la terre végétale est donc obligatoire afin de préparer le terrain et réalisé selon des épaisseurs variables déterminées par des études géotechniques, pour le tronçon étudié l'épaisseur de décapage est de 20cm.

Tableau X-3 Volume de décapage

Volume totale (m^3)	49307.13

X.1.4 Récapitulatifs des quantités de matériaux utilisées :

X.1.4.1 Cubature :

Dans le domaine du terrassement, la cubature fait référence au calcul du volume de terre ou de matériau excavé ou ajouté lors de travaux de nivellement, d'excavation ou de remblayage d'un terrain. C'est une étape essentielle dans la planification et l'estimation des travaux de terrassement.

Pour notre projet en étude, le calcul des cubatures de terrassement a été fait à l'aide du logiciel « CIVIL 3D », les tableaux ci-après résument les résultats obtenus :

Tableau X-4 Récapitulatif des volumes de terrassement.

Déblais (m^3)	Remblais (m^3)
317484	143157.17

Tableau X-5.Les différents volumes de notre projet

Les couches d'assise	Volume (m^3)
Ballast	63864
Sous-ballast	32674
Couche de fondation	22128
Couche de forme (en matériau QS3)	90944

X.2 Ouvrages d'art :

Les ouvrages d'art jouent un rôle essentiel dans un tracé ferroviaire en assurant le passage sécurisé et efficace des trains et le franchissement des différentes infrastructures existantes et aussi les cours d'eau. Il faut donc doter notre tracé d'une série d'ouvrage déjà existant qui se composent de :

- **Passage supérieur :**
- 01 Ponts routiers (PK 64+925)
- **Les ouvrages hydrauliques :**
- Dalots (ces derniers seront détaillés dans le chapitre hydraulique et assainissement)

X.2.1 Les croisements avec les routes :

Rétablissements routiers :

Notre projet de dédoublement et de rectification de la liaison ferroviaire entre Oued Kebrit et Djebel El Onk ne considère pas l'existence des passages à niveau et donc pour notre tracé on a obligé de construire quatre passages supérieurs ,une trémie , pour permettre le rétablissement des pistes à supprimer et voies intersectées.

Tableau X-6 Liste des ouvrages d'art pour notre projet

Rétablissements routiers	Localisation	Ouvrage d'art
Rétablissement Piste	63+313	Passage supérieur
Rétablissement Piste	64+065	Une trémie
Rétablissement Piste	64+365	Passage supérieur
Rétablissement Piste	65+797	Passage supérieur
Route RN 88	67+955	Passage supérieur

X.2.1.1 Franchissement d'écoulement d'eau :

- **Les ouvrages hydrauliques :**

Pour franchir l'écoulement d'eau en tout sécurité on envisage la construction des ouvrages, (buse, Dalot) suivant l'importance du cours d'eau franchi. Entre le 62+225 et PK 73+907 il a été nécessaire de considérer 40 ouvrages hydrauliques, tel que détaillé dans l'étude hydraulique en ce qui concerne les dalots.

X.3 Conclusion

Dans notre projet, nous pouvons conclure que les ouvrages d'art les plus fréquemment utilisés sont des passages supérieurs (rétablissement routier).

Les dalots sont les ouvrages hydrauliques utilisés dans la totalité de notre tronçon d’étude.

XI. CONCEPTION ET AMENAGEMENT DE LA GARE AOUINET

XI. CONCEPTION ET AMENAGEMENT DE LA GARE AOUINE

XI.1 Introduction :

Les gares ferroviaires jouent un rôle essentiel dans notre système de transport moderne. Elles sont des points de convergence où les passagers, les trains et les infrastructures se rencontrent, créant ainsi un réseau de mobilité dynamique.

Ce chapitre présentera les composantes et l'organisation d'une gare et prendra pour exemple la gare El Aouinet situé au PK 66+522 de notre projet.

XI.2 Types de gares :

Il existe différents types de gares, cela dépend de leurs nécessités, il y a :

- Gare voyageurs.
- Gare marchandises.
- Gare mixte.
- Gare de croisements.

XI.3 Plan de masse d'une gare :

La conception de la gare s'effectue en tenant compte des fonctions de toutes les installations de base qui la constituent. On distingue (03) éléments qui sont nécessaires pour l'étude du plan de masse :

- **Catégories de la voie ferrée :** Le plan de masse indique la position et le mode de fonctionnement des voies ferrées
- **Le trafic :** il permet de prendre en compte plusieurs aspects importants liés à l'exploitation et à la fréquentation de la gare
- **Son emplacement :** c'est une décision stratégique qui a un impact significatif sur son efficacité, son accessibilité et son intégration dans le réseau de transport.

XI.4 Aménagement de la gare Aouinet :

XI.4.1 Installations d'une gare à voyageur :

La conception de notre Gare tient compte des infrastructures suivantes :

- Le bâtiment de voyageurs : c'est un espace réservé aux voyageurs dans lequel on peut trouver une salle d'attente, guichet de billet, poste de sécurité
- Les bâtiments à usages divers (B.U.D) : c'est un espace de service réservé aux agents de chemins de fer.
- Quais : c'est une bande parallèle à la voie ferrée qui permet l'accès aux trains.
- Abris de quais : c'est une installation sur le quai qui a pour but de protéger les voyageurs des intempéries.
- Les passages sous terrain et les passerelles.

XI.4.2 Tracé en plan et profil en long :

La nouvelle gare AOUINET est considérée comme une gare des voyageurs, elle se situe entre le PK 66+522 et le PK 67+487, elle s'étend sur un alignement de 965 m avec une pente nulle afin d'éviter tous déplacement possible des trains. On aura 3 voies au niveau de notre gare 2 voies principales et 1 voie de service

XI.4.3 Garage franc :

Le "garage franc" marque la limite de la partie de la voie qui peut être occupée par les véhicules garés. Son emplacement est déterminé en fonction de l'appareil de voie, avec une distance de 3,57 mètres par rapport à son cœur.

Son rôle principal est d'assurer qu'il n'y aura pas de collision entre le train dévié et le train circulant sur la voie principale.

En raison de sécurité, le garage franc sera installé à 1.0 m de distance di garage franc théorique :

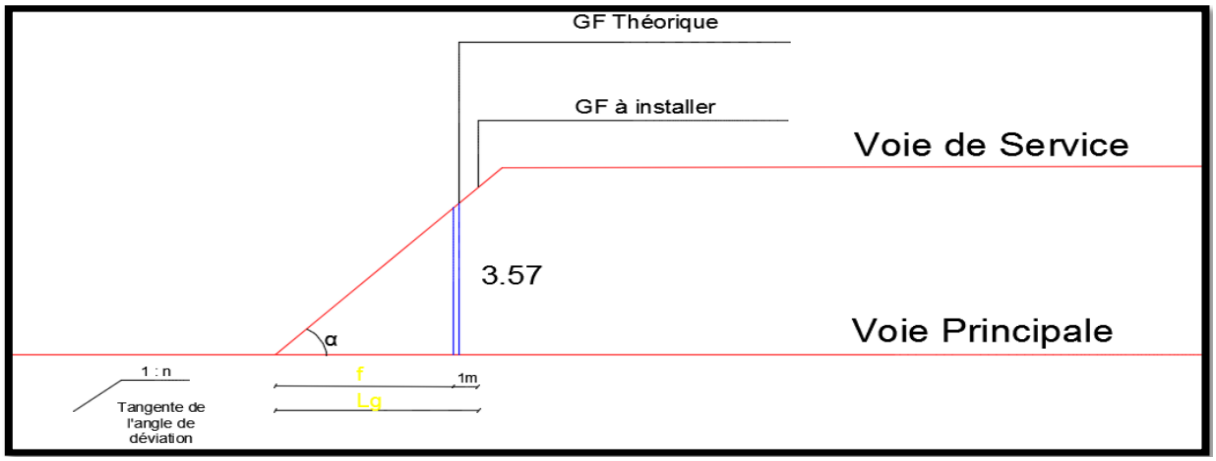


Figure XI-1 Le garage franc

$$\mathbf{GF} = 3.57 \times (\tan \alpha) + 1$$

Pour notre projet : on prend

- Les appareils encadrant la gare avec une vitesse de franchissement de 70 km\h :
  8 Appareils de voie UIC 60 : 500 : 1/12
- Les appareils à la proche des quais ou la vitesse est de 50 km\h :
  2 Appareils de voie UIC 60 : 300 : 1 / 9

Tableau XI-1Les garages francs

Appareil de voie	Garage franc (m)
UIC 60 : 500 : 1/12	43.84
UIC 60 : 300 : 1 / 9	33.13

XI.5 La longueur utile d'une voie de stationnement :

En gare ferroviaire, la longueur utile d'une voie de stationnement fait référence la distance disponible sur la voie pour accueillir un train en stationnement, permettant ainsi son chargement ou son déchargement de passagers et de marchandises.

La longueur utile est la distance séparant deux garages francs. Les valeurs minimales sont définies selon **SNTF** pour voie de quais trains voyageurs comme suit :

- **Grandes lignes normales** : 526m
- **Ligne intérieure** : 426m
- **Banlieue** : 301 m (ce qui est notre cas).

Pour notre projet on a :

Tableau XI-2 Les longueurs utiles

Voie	Numéro de voie	Longueur utile
Principale	1	779.33
	2	516.01
Service	3	402.29

XI.5.1 Les quais :

Le quai dans une gare ferroviaire est une plateforme surélevée située le long des voies où les passagers montent et descendent des trains. Pour notre gare on a trois quais.

1- **Longueur des quais : (**Selon SNTF)

- Grande ligne 450 m.
- Service régional 350 m.
- Banlieue 225 m.

La longueur adoptée pour les deux quais est de **225m**

2- **La largeur des quais :**

La SNTF recommande pour une telle gare.

- Quai intermédiaire B ≥ 8 m.
- Quai extérieur B ≥ 6m.

3- **Hauteur des quais :**

La hauteur nominale des bordures des quais au-dessus du plan de roulement est fixée à **550mm**.

4- **La distance à l'axe de la voie : (Selon la norme UIC 741).**

Pour les bordures de quai implantées à la hauteur nominale de 550 mm, la distance nominale
à l'axe de la voie est fixée à : L (mm)=1650+S.

La valeur de S est donnée par la formule :

$$S\ (mm)= \frac{3750}{R} + \frac{I-1435}{2}.$$

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

Pour notre projet la gare est dans un alignement droit donc : **L= 1650 mm**

5- L'entre axe des quais :

- $e_{normal} > 11.3$ m.
- $e_{minimal} > 9.3$ m

XI.5.2 Passerelle supérieure :

Selon la SNTF (aménagement et gare tracé des voies)

- La largeur est : B ≥ 2.4 on prend B= 2.5m
- La hauteur est : H > 6.2 m on prend H =6.5 m

XI.5.3 Appareils de Voie :

1. **Choix des appareils de voie :**

Pour notre gare tous les appareils de voie sont de géométrie :

- UIC60, tangente 1/12 – rayon 500m pour une vitesse de franchissement en voie dévié de 70 km/h
- UIC 60 tangente 1/9 - rayon300m pour une vitesse réduite à 50 km/h

2. **Implantation des appareils de voie : (**Selon référentiel technique de SNTF chapitre 06)

➢ **Règles générales :**

- Les appareils de voie seront implantés en déclivité constante
- Les appareils de voie seront implantés en alignement mais pourront exceptionnellement être posés en courbe dans les zones particulièrement difficiles notamment dans les raccordements.

➢ **En tracé en plan :**

L'implantation des appareils de voie s'effectuera conformément aux longueurs minimales du tracé retenues ci-dessous :

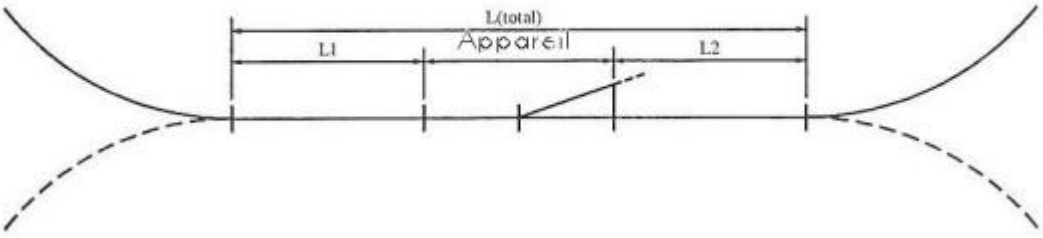


Figure XI-2 Longueurs minimales

Dans le cas de deux appareils disposés pointe à pointe, la valeur minimale pour « L » doit tenir compte :

- Des contraintes du tracé : « L » ≥Vd/2 (Vd étant la vitesse en voie déviée de l'appareil le moins performant),
- Des contraintes de signalisation et de caténaire, qui sont fonction des éléments et systèmes définis pour ces domaines.

Tableau XI-3 Caractéristiques des appareils de voie

Appareil de voie	Type d'appareil	Déviation	Vitesse de franchissement (km/h)
1	UIC60 1 \12 : 500	A gauche	70
2	UIC60 1 \12 : 500	A droite	70
3	UIC60 1 \12 : 500	A gauche	70
4	UIC60 1 \12 : 500	A droite	70
5	UIC60 1 \12 : 500	A gauche	70
6	UIC60 1 \12 : 500	A droite	70
7	UIC60 1 \12 : 500	A gauche	70
8	UIC60 1 \12 : 500	A droite	70
9	UIC60 1 \9 : 300	A droite	50
10	UIC60 1 \9 : 300	A droite	50

XI.5.3.1 Données d'implantation des appareils de voies :

Coordonnées des ADV : repérés suivant le schéma suivant :

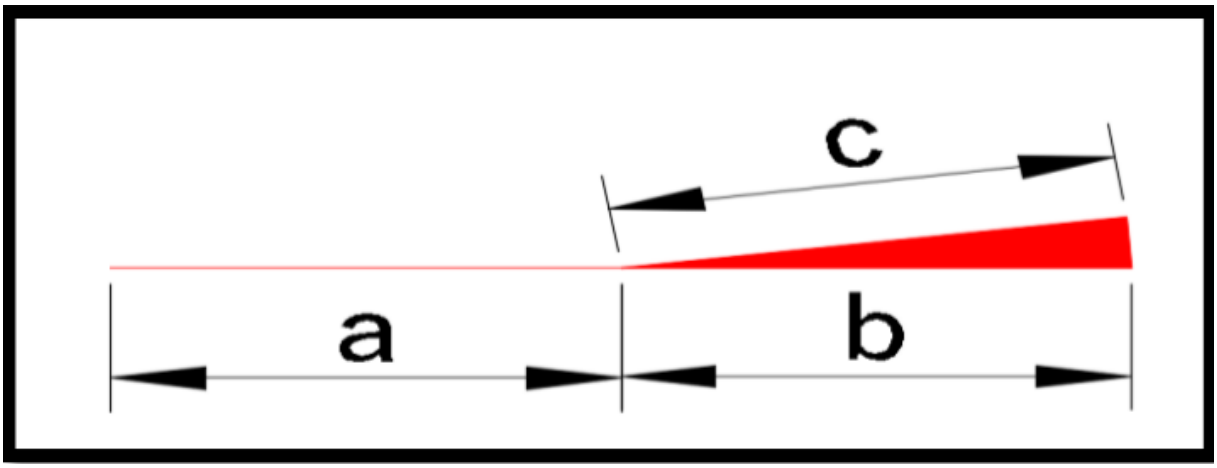


Figure XI-3 Schéma de l'appareil de voie.

Tableau XI-4 Coordonnées d'implantation des appareils de voies

Appareil de voie	Partie	Coordonnées début		Coordonnées fin	
		X	Y	X	Y
1	a	398288.4240	3967647.7133	398276.2034	3967630.8852
	b	398276.2034	3967630.8852	398263.9829	3967614.0571
	c	398276.2034	3967630.8852	398262.6276	3967615.1301
2	a	398224.6426	3967568.3932	398236.8631	3967585.2213
	b	398236.8631	3967585.2213	398249.0836	3967602.0494

	c	398236.8631	3967585.2213	398250.4389	3967600.9764
3	a	398207.0145	3967544.1186	398194.7940	3967527.2905
	b	398194.7940	3967527.2905	398182.5735	3967510.4624
	c	398194.7940	3967527.2905	398184.0132	3967509.5057
4	a	398151.3247	3967458.9224	398163.5452	3967475.7506
	b	398163.5452	3967475.7506	398175.7657	3967492.5787
	c	398163.5452	3967475.7506	398174.3260	3967493.5354
5	a	397893.7435	3967104.2234	397881.5229	3967087.3953
	b	397881.5229	3967087.3953	397869.3025	3967070.5671
	c	397881.5229	3967087.3953	397867.9471	3967071.6401
6	a	397829.9621	3967024.9032	397842.1826	3967041.7313
	b	397842.1826	3967041.7313	397854.4031	3967058.5595
	c	397842.1826	3967041.7313	397855.7584	3967057.4865
7	a	397812.334	3967000.6287	397800.1135	3966983.8006
	b	397800.1135	3966983.8006	397787.8930	3966966.9724
	c	397800.1135	3966983.8006	397789.3327	3966966.0157
8	a	397756.6442	3966915.4325	397765.8647	3966932.2606
	b	397765.8647	3966932.2606	397781.0852	3966949.0887
	c	397765.8647	3966932.2606	397779.6455	3966950.0455
9	a	398164.9606	3967486.2089	398155.1973	3967472.7644
	b	398155.1973	3967472.7644	398145.4340	3967459.3199
	c	398155.1973	3967472.7644	398144.0090	3967460.4803
10	a	397871.9705	3967082.7504	397881.7338	3967096.1949
	b	397881.7338	3967096.1949	397891.4972	3967109.6393
	c	397881.7338	3967096.1949	397889.9528	3967110.6353

XI.6 Assainissement de la gare :

Assainissement transversale :

Pour assurer un bon drainage des eaux pluviales dans la gare, les quais doivent avoir une pente de 2% en toit, avec inclinaison transversale des plates-formes de 4%.

Assainissement transversale :

Le système de drainage adopté consiste en la mise en place de conduites perforées (drain), circulaires et enterrées. Des collecteurs fermés assureront l'évacuation des eaux de pluie vers l'exutoire naturel, Une épaisseur minimale de 0,95 m est à conserver entre l'extrados des collecteurs en PVC et la plate- forme finie, afin de laisser une hauteur suffisante disponible pour l'implantation des poteaux de signalisation et électrification. Les entre-voies sont drainées par un drain collecteur enfoui dans une tranchée drainante placée au centre de l'entre-voie. Des regards espacés de 50m le long de la tranchée drainante permettent l'inspection et l'entretien du collecteur.

La pente minimale des drains collecteurs est de 0,002 m/m .

XII. SIGNALISATION FERROVIAIRE

XII. SIGNALISATION FERROVIAIRE

XII.1 Introduction :

La signalisation ferroviaire est un système de signaux conventionnels utilisés pour assurer la sécurité des usagers du rail, en particulier les trains et les voyageurs

XII.2 Rôle de l'installation de signalisation

Les installations de signalisation permettent de résoudre les grands problèmes suivants :

- La protection des circulations dans les établissements (convergence, cisaillement...)
- Les risques de déraillement (limitation de vitesse dans les courbes, les zones d'aiguillage et de travaux
- Le franchissement des voies ferrées par des routes sur un même niveau (passages à niveau)
- Le « nez à nez », quand deux trains se retrouvent face à face sur la même voie.
- Le « rattrapage », quand le train suiveur rattrape celui qui le précède.
- La « prise en écharpe », quand un train arrive sur un aiguillage déjà occupé par un train venant d'une autre direction.

XII.3 Implantation des signaux en Algérie :

Les signaux ferroviaires se partage en deux catégories sont les feux et les panneaux, ces derniers sont implantés généralement à gauche de la voie car les trains circulent à gauche sauf dans le cas où le positionnement n'est pas possible.

XII.4 Principe de signalisation ferroviaire :

Les signaux ont appelé à remplir les rôles et les fonctions suivantes :

- Signalisation d'arrêt.
- Signalisation de limitation de vitesse.
- Signalisation de direction.

Chacune de ces signalisations comprend habituellement une signalisation d'annonce et une signalisation de rappel ou d'exécution

XII.5 Les différents types de blocks :

Les différents systèmes utilisés pour gérer les signaux sont appelés block, selon la catégorie de la ligne sont ci -dessous :

-Le block manuel (B.M) : est utilisé sur des lignes peu fréquentées, L'entrée sur une voie en BM est réglementée par un signal de block ouvert manuellement par un agent-circulation.

-Le block automatique à permissivité restreinte (B.A.P.R) : est utilisé sur les lignes à moyenne fréquentation. C'est un système d'espacement par signaux en partie ou totalement automatiques.

-Le block automatique lumineux (B.A.L) : il est utilisé sur les lignes principales, c'est un système d'espacement par signaux automatiques permissifs, c'est-à-dire pouvant être passés à l'état fermé, sous certaines conditions. Les lignes à voie multiple sont habituellement divisées

en plusieurs secteur que l'on appelle des cantons, ce qui permet d'envoyer plusieurs trains sur le même block. Chaque canton est précédé d'un signal de cantonnement, entièrement automatique, commandant l'entrée sur le canton suivant et assurer l'espacement des trains circulant dans le même sens sur une même voie.

XII.6 Système de contrôle et de protection ERTMS

Le système ERTMS (Européen Rail Traffic Management System) est un système de signalisation et de contrôle des trains développé par l'Union européenne pour harmoniser les normes de sécurité ferroviaire et faciliter le transport transfrontalier des trains à grande vitesse.

Fonctionnement d'ERTMS :

ERTMS assure les fonctions suivantes :

- Contrôler l'aspect de la signalisation latérale par la balise standard qui communique avec un autre système à bord de train.
- Donner l'autorité de déplacement jusqu'au prochain système de signalisation latérale en basant sur le principe de blocage fixé.
- Transformer les informations de signalisation latérale à travers l'Unité de contrôle latéral (LEU) afin de transmettre par la balise jusqu'au train.
- Permet au train de transmettre via une antenne sa position et sa vitesse de façon continue à n'importe quel moment.
- Protection des trains : Communication discontinue voie-train via les balises.

XII.7 Application au projet :

Le dédoublement de la ligne ferroviaire avec l'utilisation combinée du système de signalisation BAL (Block Automatique Lumineux) et de l'ERTMS (European Rail Traffic Management System) offre de nombreux avantages pour améliorer la sécurité et l'efficacité du réseau ferroviaire.

Le BAL peut servir de système de signalisation local, fournissant des indications visuelles aux conducteurs de train, tandis que l'ERTMS assure une surveillance et un contrôle globaux du réseau ferroviaire. L'ERTMS peut compléter le BAL en fournissant des informations supplémentaires aux conducteurs et en permettant une gestion plus précise et centralisée du trafic ferroviaire..

XIII. ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XIII. ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XIII.1 Introduction :

L'environnement est devenu une préoccupation globale, en effet à cause du délaissement des êtres humains et de la non prise au sérieux des enjeux écologiques, la dégradation de notre planète terre en est arrivé à un point de non-retour ou les atteintes à nos écosystèmes sont devenues irréversibles.

L'étude d'impact sur l'environnement est donc devenue une étape inéluctable dans la conception de n'importe quel type d'infrastructure et il est de notre devoir de s'assurer que l'implantation de celle-ci ait le moins de conséquences possible.

Il en va de soi que la construction et l'exploitation de l'infrastructure, en l'occurrence la ligne ferroviaire, génère le moins de nuisances possible.

XIII.2 Les éléments environnementaux pris en compte :

XIII.2.1 Les ressource en eaux :

Intersection avec les cours d'eau : Afin d'éviter l'empiètement de la plateforme sur les cours d'eau et la perturbation de régime d'écoulement, Afin de minimiser les perturbations sur l'Oued Chebro : on a suivi les cours d'eau en parallèle ou les éviter en utilisant les ouvrages hydrauliques.

XIII.2.2 Les zones urbanisées :

Les secteurs urbanisés posent de véritables défis. Dans la ville d'Aouinet, de nombreuses zones seront impactées par le tracé de la voie, ce qui entraînera des conséquences significatives. Parmi ces conséquences, on peut mentionner, la fragmentation de l'espace urbain, le risque pour les populations les plus jeunes, ainsi que le déplacement de plusieurs familles voire de quartiers entiers.



Figure XIII-1 Photo satellitaire prise par google earth de la zone urbain traversée par le chemin de fer

XIII.2.3 Les zones agricoles :

L'activité agricole est quasiment inexistante en raison des conditions climatiques semi-arides et des terrains difficiles de la région.

XIII.2.4 Environnements biologiques :

- **Végétation Et Flore** :

La région de Tébessa, où se trouve Aouinet, est principalement caractérisée par un climat semi-aride à aride. Cela a une incidence sur la végétation qui s'adapte aux conditions de sécheresse et de chaleur. La végétation n'est représentée que par des restes de plantes d'Alpha.

- **La Faune :**

La zone d'étude abrite une diversité de faune adaptée aux conditions semi-arides de la région. Voici quelques exemples de la faune que l'on peut trouver à Tébessa : Oiseaux, Reptiles (lézards, de serpents et de tortues), Mammifères (les renards, les chacals, les hérissons.).

XIII.3 Identification et description des impacts :

Les impacts positifs du projet :

- Amélioration des transports
- Réduction des temps de trajet
- Développement régional
- Des emplois seront créés de façon temporaire pendant les travaux de construction et durablement après leur achèvement.
- Amélioration de la sécurité.

Les impacts négatifs du projet :

- Effets sur les ressources naturelles et sur les écosystèmes :

1- L'air :

- Pollution atmosphérique
- Émissions de poussière
- Effets sur la santé.

2- L'eau :

La diminution des apports pluviométriques et des modifications des régimes d'écoulement des sols et des oueds. Cela peut entraîner des risques d'érosion et une pollution chronique du milieu naturel, y compris des risques de pollution accidentelle avec des déversements de produits toxique.

3- La faune et la flore :

Lors de la construction d'infrastructures ferroviaires, la faune sauvage peut être affectée, notamment en perturbant les chemins naturels utilisés par les animaux pour se déplacer, se nourrir et se reproduire. Les animaux peuvent chercher à traverser les voies, ce qui peut entraîner des accidents.

4- Sur l'activité humaine :

- Pendant la phase de construction, l'activité économique locale peut être perturbée en raison des travaux.
- Changements dans les déplacements
- Dans certains cas, la construction de la ligne ferroviaire peut nécessiter l'acquisition de terrains ou l'expropriation de propriétés.
- Une coupure des réseaux de drainage et d'irrigation.

XIII.4 Les mesures prises pour réduire ou compenser les impacts :

- Arrosage des zones de terrassement pour réduire la dispersion des poussières.
- Surveiller les conditions météorologiques et ajuster les activités de terrassement en fonction de la vitesse et de la direction du vent pour réduire la dispersion des poussières.
- Couverture des matériaux en vrac afin de minimiser la libération de particules.
- Pour ne pas perturber les écoulements d'eau naturelle (oueds), il faut essayer de diminuer les risques lors de la coupure des cours d'eau.
- Mettre en place un programme de suivi régulier de la qualité des eaux, comprenant des échantillonnages et des analyses pour détecter toute contamination éventuelle.
- Drainage et collecte des eaux de ruissellement issues des terrassements dans des bassins de décantation avant rejet dans le cours d'eau.
- Compenser les pertes de végétation en créant de nouveaux espaces verts ou en contribuant à des programmes de reboisement.
- Impliquer les communautés locales, les parties prenantes et les acteurs concernés dans le processus de planification et de mise en œuvre du projet.
- Limiter la circulation des véhicules aux chemins d'accès et/ou aux aires désignées aux travaux.
- Utiliser une signalisation adéquate, s'assurer d'une vitesse maximale appropriée pour la circulation de la machinerie et des véhicules lourds.
- Clôture dans les zones urbanisées

XIII.5 Conclusion :

La réduction des impacts environnementaux du dédoublement de la ligne ferroviaire nécessite une approche holistique, impliquant une planification minutieuse, des actions préventives et correctives, et un suivi régulier pour s'assurer que les mesures mises en place sont efficaces.

XIV. DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

XIV. DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

Article	DESIGNATIONS	UNITE	QUANTITÉ	PRIX UNITAIRE (DZD)	MONTANT (DZD)
1- INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER					
1.1	Amenée du matériel et installation général du chantier	F	1	270 841 801.91	270 841 801.91
1.2	Repli du matériel et des installations du chantier	F	1	32 437 737.94	32 437 737.94
1.3	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1	30 000 000 .00	30 000 000 .00
TOTAL INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER					333 279 539.85
2- ETUDES D'EXECUTION					
2.1	Étude d'exécution des terrassement	F	1	95 360 064.08	95 360 064.08
2.2	Etude géotechnique complémentaire	F	1	114 432 07.80	114 432 076.80
2.3	Étude d'exécution de drainage et assainissement	F	1	10 378 745.00	10 378 745.00
2.4	Études d'exécution des Bâtiments voyageurs et aménagement extérieur	F	1	5 108 362.74	5 108 362.74
TOTAL ETUDES D'EXECUTION					225 279 248.62
3- DEGAGEMENT DES EMPRISES					
3.1	Dépose de la voie existante.	ML	8 350	2 220.00	18 537 000.00
3.2	Dépose d'appareils de voie existants.	U	6	33 074.00	198 444.00
3.3	Démolition de quai voyageurs existant.	M2	1350	4 880.00	6 588 000.00
3.4	Abattage d'arbres singuliers diamètre de 20 à 40 cm	U	8	3 755.00	30 040.00
3.5	Démolition d'ouvrage massifs	M3	510	10 155.00	5 179 050.00
3.6	Déplacement des lignes électriques	F	1	5 000 000.00	5 000 000.00
TOTAL DEGAGEMENT DES EMPRISES					35 532 534.00
4- TERRASSEMENTS GENERAUX					

4.1	Décapage de terre végétale sur une épaisseur de 0,20 m	M3	49 307,13	500.00	24 653 565.00
4.3	Déblais mis en dépôt	M3	317 484	540.00	172 076 328
4.4	Traitement des surfaces d'assise des remblais	M2	40 800,00	250.00	10 200 000.00
4.5	Mise en remblai des matériaux issus des déblais	M3	143 157,17	350.00	50 105 009.50
4.6	Evacuation des terres en excès à la décharge publique sur 5 km.	M3	223 633,96	345.00	77 153 716.20
4.7	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme	M3	90 944,1	885.00	80 485 528.5
4.8	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation	M3	32 673.94	3 200.00	70 810 528.00
4.9	Fourniture et mise en œuvre de la couche de s/ballast	M3	22 128,29	3 200.00	104 556 608.00
TOTAL TERRASSEMENTS GENERAUX					580 861 283.2
5- DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT					
5.1	Fourniture et mise en œuvre de fosse revêtu de 0,50 m de profondeur en béton armé	ML	18 250	6 200.00	113 150 000.00
5.2	Fourniture et mise en œuvre de tranchée drainant avec buse perforée Ø 300 mm	ML	746,67	19 500.00	14 560 065.00
5.3	F/P des regards	U	12	40 000.00	480 000.00
5.4	DALOT (1.5X1,5)	M3	182.4	44 500.00	8 116 800
5.5	DALOT (2X1,5)	M3	526.32	44 500.00	23 421 240
5.6	DALOT (2X2)	M3	57.6	44 500.00	2 563 200
5.7	DALOT (3X2)	M3	454,72	44 500.00	20 235 040
5.8	DALOT (3X1,5)	M3	415.52	44 500.00	18 490 640
5.9	DALOT (4X4)	M3	802.56	44 500.00	35 713 920
5.10	DALOT (6X6)	M3	163.84	44 500.00	7 290 880
5.11	DALOT (3X3)	M3	168.64	44 500.00	7 504 480
TOTAL DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT					251 526 265

XIV. DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

6- TRAVAUX DE VOIE					
6.1	Fourniture et pose de ballast	M3	63 864,21	6 305.00	402 663 844.05
6.2	Fourniture des traverses bi-bloc VAX U 31	U	20659	8 245.00	170 328 508.00
6.3	Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60,34 kg/m)	Tonne	1496,432	121 250.00	181 442 380.00
6.4	Fourniture des attachés NABLA	U	82636	523.80	43 284 736.80
6.5	Pose de la voie	ML	19750	5 626.00	111 113 500.00
6.6	Fourniture d'un appareil de voie simple UIC 60-500 1 :12	U	8	15 900 000.00	127 200 000.00
6.7	Pose d'un appareil de voie simple UIC 60-500 1 :12	U	8	553 627.00	4 429 016.00
6.8	Fourniture d'un appareil de voie simple UIC 60-300 1 :9	U	2	9 500 000.00	19 000 000.00
6.9	Pose d'un appareil de voie simple UIC 60-300 1 :9	U	2	442 902.00	885 804.00
6.10	Traverses de Garage Franc	U	10	40 891.56	408 915.60
6.11	Libération de rail	ML	19750	800.00	15 800 000.00
TOTAL TRAVAUX DE VOIE					1 076 556 704.45
7- BATIMENTS GARES ET AMENAGEMENT EXTERIEUR					
7.1	Réalisation du bâtiment Voyageurs de la gare de AOUINET	M2	300	92 000.00	27 600 000.00
7.2	Réalisation des travaux d'aménagement extérieur de la gare	M2	2 830	40 000.00	113 200 000.00
TOTAL BATIMENTS GARES ET AMENAGEMENT EXTERIEUR					140 800 000.00
TOTAL GENERAL (DA) HT					2 643 835 575.00

Montant total en DA HT : Deux milliards six cent quarante-trois millions huit cent trente-cinq mille cinq cent soixante-quinze dinars.

XV. PLANIFICATION DE PROJET

XV. PLANIFICATION DE PROJET

XV.1 Introduction :

La planification des travaux sur les chantiers est une étape essentielle pour assurer l'efficacité, la sécurité et la rentabilité d'un projet de construction. Elle implique l'élaboration d'un plan détaillé qui définit l'ordre des tâches, les délais, les ressources nécessaires et les contraintes à prendre en compte.

XV.2 La planification

La planification est le processus de préparation d'un plan détaillé pour atteindre un objectif spécifique dans un certain laps de temps.

Les objectifs de la planification sont multiples et varient en fonction du domaine d'application. Voici quelques-uns des objectifs courants de la planification :

- Respecter les délais
- Optimiser l'utilisation des ressources
- Assurer la sécurité
- Garantir la qualité.

XV.3 Diagramme de Gantt :

Le diagramme de Gantt se présente sous la forme d'un graphique à barres horizontales, où chaque barre représente une tâche spécifique. L'axe horizontal représente la période de temps du projet, généralement en jours, semaines ou mois, tandis que l'axe vertical répertorie les différentes tâches.

Pour construire un diagramme de Gantt pour un projet de construction de ligne ferroviaire, voici les étapes générales :

1- Identifier les tâches
2- Identifiez les dépendances entre les différentes tâches
3- Estimer les durées
4- Organiser les tâches
5- Créer le diagramme de Gantt : À l'aide d'un logiciel de gestion de projet ou d'un tableur,
6- Le diagramme de Gantt doit être régulièrement mis à jour pour refléter l'avancement réel du projet

Dans le cadre de ce projet, divers outils de gestion de projet ont été utilisés pour faciliter la planification et le suivi des activités. Le logiciel Primavera a été choisi comme outil principal pour la planification détaillée et l'ordonnancement des tâches.

Le schéma explicatif de programme proposé est présenté en format A3 :

XVI. MODELISTION DE LA LIGNE EN BIM

XVI. MODELISTION DE LA LIGNE EN BIM

XVI.1 Introduction :

Dans le domaine du transport ferroviaire, la présentation 3D de la voie est devenue une méthode incontournable pour visualiser, analyser et communiquer les caractéristiques d'un réseau ferroviaire. Grâce aux avancées technologiques et aux outils de modélisation 3D, il est possible de créer des représentations visuelles réalistes et immersives de la voie ferrée, offrant ainsi une meilleure compréhension de son tracé, de ses éléments constitutifs et de son environnement.

La collaboration entre Civil 3D et InfraWorks est une approche puissante pour la modélisation et la conception intégrées des infrastructures, y compris les réseaux ferroviaires. Ces deux logiciels d'Autodesk offrent des fonctionnalités complémentaires qui permettent aux professionnels du domaine ferroviaire de travailler de manière plus efficace et précise.

XVI.2 Principe de la méthode utilisée :

La méthode de collaboration entre Civil 3D et InfraWorks repose sur plusieurs principes clés :

1- **Intégration des données** : La méthode implique l'intégration des données entre Civil 3D et InfraWorks. Les données du modèle de conception détaillée de la voie ferrée sont exportées depuis Civil 3D vers InfraWorks, permettant ainsi de conserver les informations géométriques et les paramètres de conception.
2- **Contexte global du projet :** InfraWorks fournit un environnement 3D global où la voie ferrée peut être visualisée dans le contexte des autres éléments de l'infrastructure, tels que les routes, les bâtiments, les cours d'eau, etc. Cela permet de mieux comprendre l'impact de la voie ferrée sur son environnement et facilite la prise de décision holistique.
3- **Analyse et simulation :** InfraWorks offre des fonctionnalités d'analyse et de simulation avancées qui permettent d'évaluer les performances de la voie ferrée.
4- **Retour d'informations et modifications** : Les résultats de l'analyse et de la simulation effectuées dans InfraWorks peuvent être utilisés pour apporter des modifications et des améliorations au modèle de la voie ferrée.
5- **Mise à jour et synchronisation des modèles** : Une fois que les modifications sont apportées dans Civil 3D, le modèle mis à jour peut être exporté à nouveau vers InfraWorks pour refléter les changements.
6- **Collaboration et communication** : La méthode favorise la collaboration et la communication entre les différentes parties prenantes impliquées dans le projet ferroviaire. Les modèles 3D créés dans InfraWorks peuvent être partagés et visualisés par les concepteurs, les ingénieurs, les décideurs et le grand public, facilitant ainsi la compréhension et la prise de décision collective.

XVI.3 Modélisation de la voie :

Après l'utilisation de c3d pour créer le modèle détaillé de de la voie ferré, en définissant les alignements, les profils en long et en travers, les coupes transversales, les pentes, les dévers, les aiguillages, et. On a exporté le modèle vers Infraworks pour travailler directement sur

notre terrain naturel exact, respectant les dimensions tout en corrigeant la conception si on la voit non compatible avec la largeur du terrain, le résultat est représenté ci-dessous :

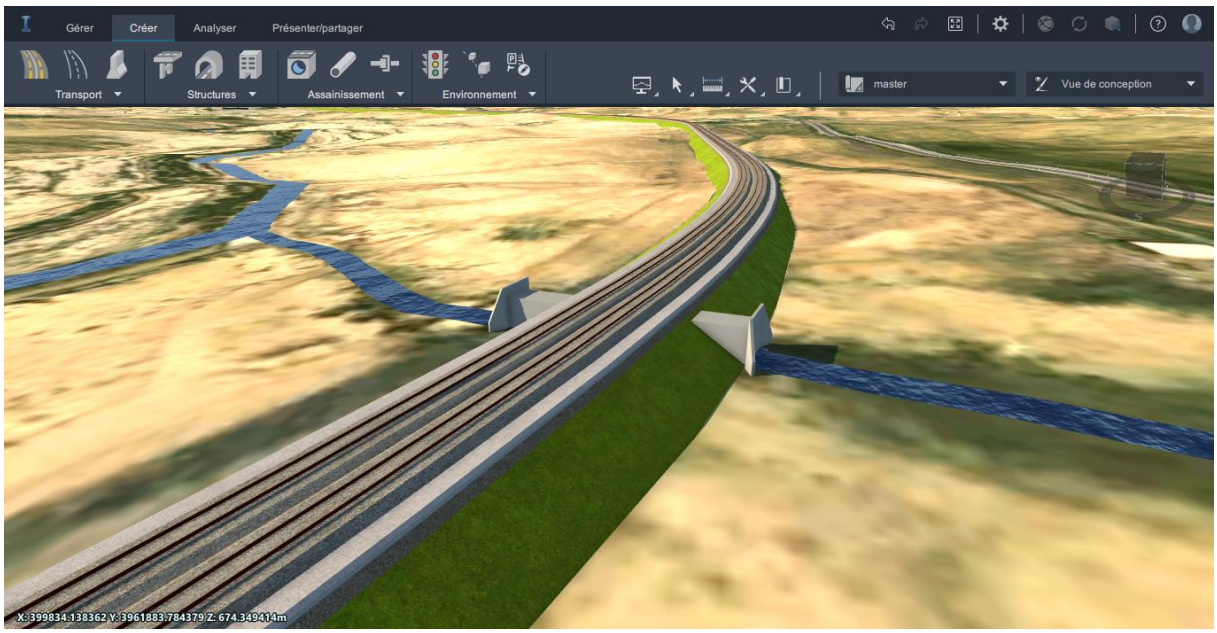


Figure XVI-1 Modélisation d 'un ouvrage hydraulique dalot 3x3

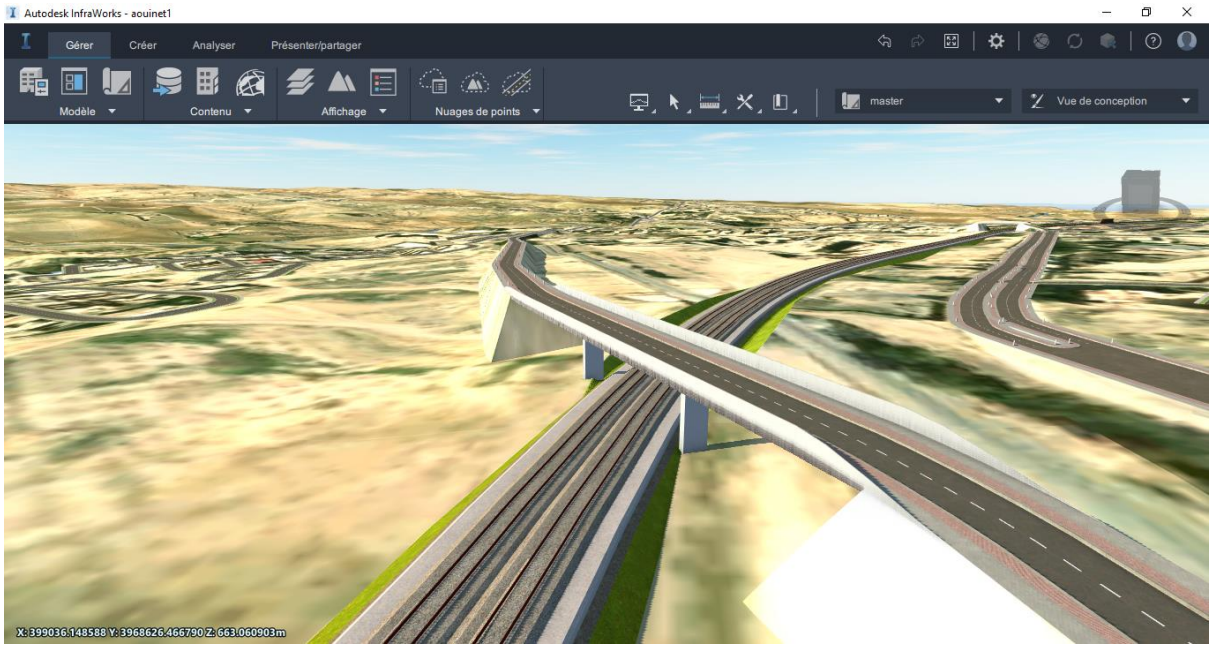


Figure XVI-2 Rétablissement routière passage supérieur

XVI. MODELISTION DE LA LIGNE EN BIM

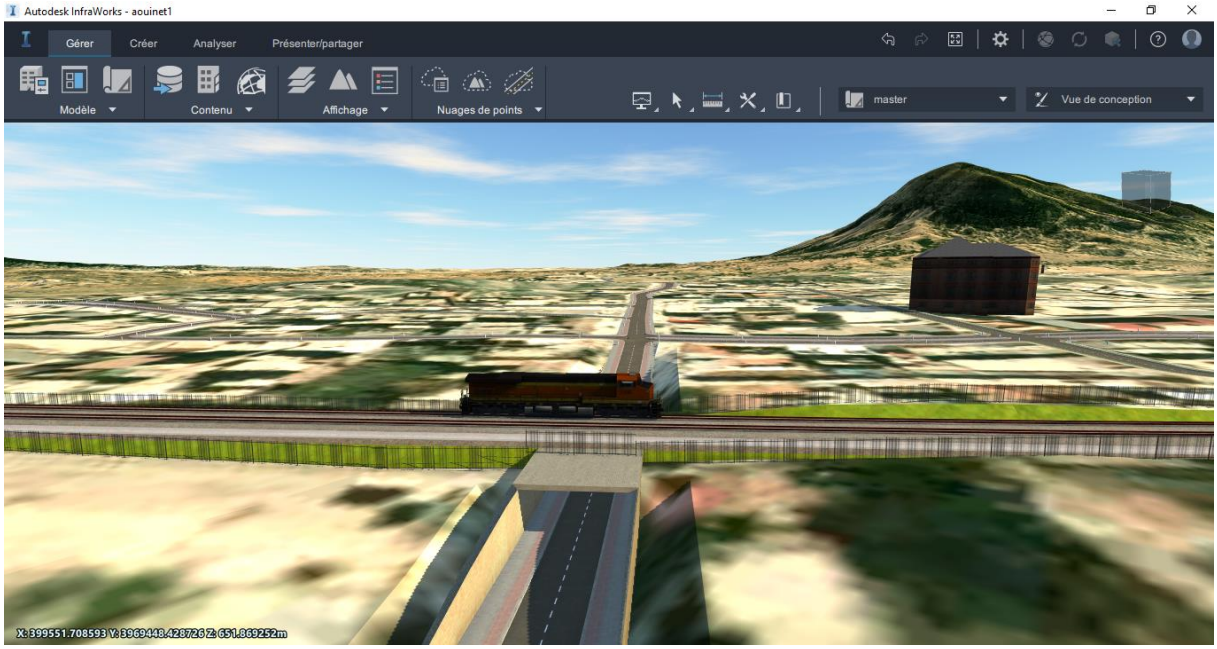


Figure XVI-3 Rétablissement routière trémie



Figure XVI-4 Entrée du parking de la gare Aouinet et sa liaison avec la voie routière

XVI. MODELISTION DE LA LIGNE EN BIM

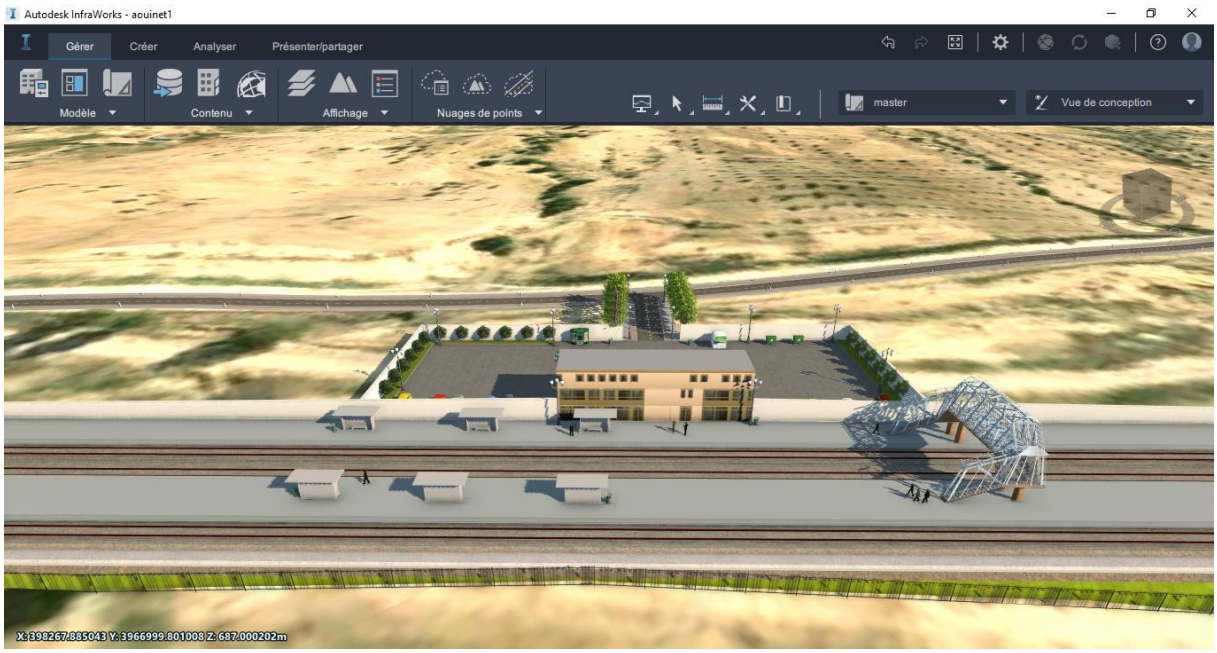


Figure XVI-5 Modélisation de la gare Aouinet en respectant le plan (quais, bâtiment, parking, Passage supérieur)

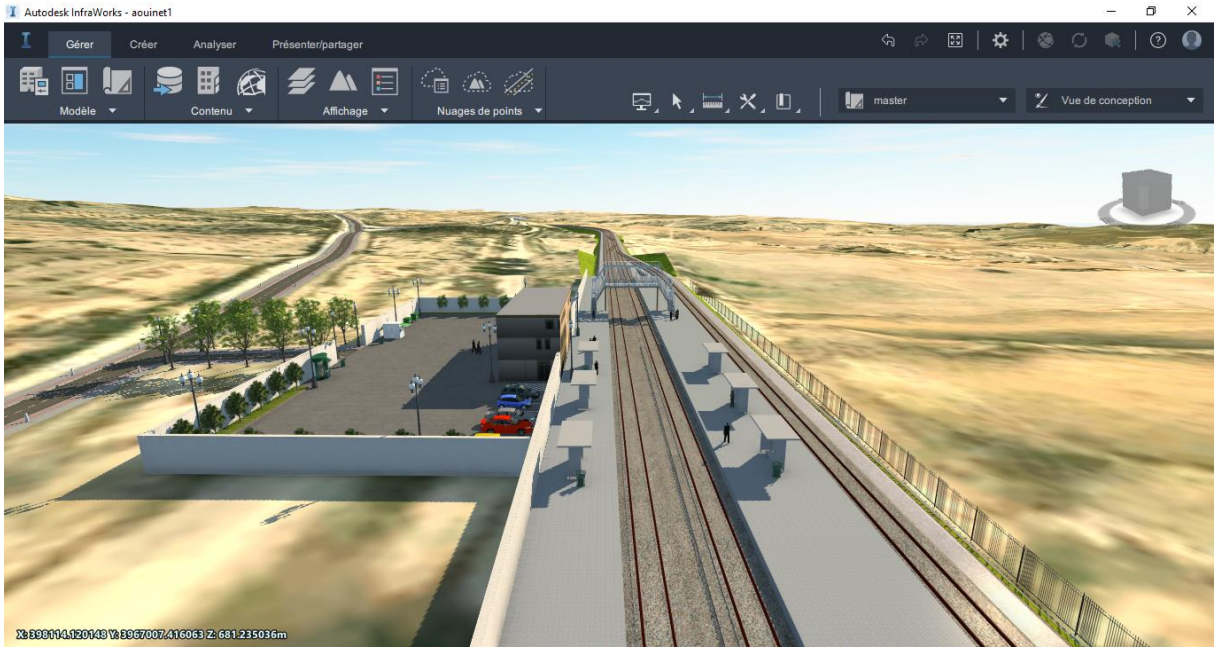


Figure XVI-6 Vue transversal d la gare Aouinet

XVI.4 Conclusion :

En utilisant cette approche de collaboration entre Civil 3D et InfraWorks, les professionnels du domaine ferroviaire peuvent bénéficier des capacités avancées de conception détaillée de Civil 3D et des fonctionnalités d'analyse et de visualisation étendues d'InfraWorks. Cela permet une meilleure intégration du modèle de la voie ferrée dans le contexte global du projet et facilite la communication et la prise de décision entre les différentes parties prenantes.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

La réalisation de ce mémoire de fin d'étude sur le projet de dédoublement et de rectification de tracé pour augmenter la capacité de la ligne ferroviaire minière Est a été une expérience enrichissante et valorisante. Au cours de cette étude approfondie, nous avons pu acquérir de nouvelles compétences techniques et développer une compréhension approfondie des différents aspects liés à la conception et à la réalisation d'un projet d'infrastructure ferroviaire.

En travaillant sur ce projet, nous avons également pu développer notre capacité à mener des recherches approfondies, à analyser des données techniques et à prendre des décisions éclairées. Nous avons étudié les normes existantes, telles que celles de l'Union Internationale des Chemins de Fer (UIC), de la Société Nationale de Transport Ferroviaire (SNTF) et de la Société Nationale des Chemins de Fer (SNCF), et nous les avons respectées tout au long de notre étude. Cela garantit la conformité aux exigences techniques et assure la qualité du projet.

Enfin, nous avons également accordé une attention particulière à l'aspect économique et environnemental du projet. Nous avons cherché à optimiser les coûts tout en garantissant la durabilité environnementale. Cela inclut la minimisation des impacts sur l'environnement naturel et la mise en place de mesures d'atténuation appropriées pour préserver les ressources naturelles et réduire les émissions.

Dans l'ensemble, ce projet de fin d'étude nous a permis de mettre en pratique nos connaissances théoriques, de développer de nouvelles compétences techniques et informatiques, et de comprendre l'importance de prendre en compte toutes les normes, le confort, la sécurité, l'économie et l'environnement dans la réalisation d'un projet d'infrastructure ferroviaire. Nous sommes convaincus que cette expérience nous sera bénéfique dans notre future carrière professionnelle et contribuera à l'amélioration continue du secteur ferroviaire.

Annexe A

Listing de la géométrie de l'axe en plan

Client: ENSTP **Prepared by: BENDRIHEM/BELHAMRA**
Client Preparer
Client Company Your Company Name
Address 1 123 Main Street
Date: 08/06/2023 18:39:23

Axe en plan: PFE Aouinet
Description:
Plage d'abscisse : Début: 62+000.00, Fin: 74+021.41

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			62+000.00	400781.8078	3971059.1802
ARC1	XC=401443.1693				
	YC=3970829.8311				
	R=700.000	199.201			
			62+199.20	400744.0175	3970864.2806
CLO2	A=250.998				
	R=700.000	90.000			
			62+289.20	400743.4438	3970774.2989
DR3	ANG=199.0417 (g)	76.808			
			62+366.01	400744.5999	3970697.5000
CLO4	A=256.905				
	R=600.000	110.000			
			62+476.01	400742.8955	3970587.5543
ARC5	XC=400144.6556				
	YC=3970633.4779				
	R=600.000	747.471			
			63+223.48	400292.1663	3970051.8934
CLO6	A=256.905				
	R=600.000	110.000			
			63+333.48	400184.1302	3970031.4200
DR7	ANG=290.0222 (g)	104.353			
			63+437.83	400081.0565	3970015.1315
CLO8	A=256.905				
	R=600.000	110.000			

Annexe A

			63+547.83	399973.0204	3969994.6581
ARC9	XC=400120.5311				
	YC=3969413.0736				
	R=600.000	136.534			
			63+684.37	399845.6190	3969946.3871
CLO10	A=256.905				
	R=600.000	110.000			
			63+794.37	399751.1409	3969890.1300
DR11	ANG=263.8641 (g)	271.197			
			64+065.56	399522.4723	3969744.3270
CLO12	A=256.905				
	R=600.000	110.000			
			64+175.56	399431.6061	3969682.4053
ARC13	XC=399799.1385				
	YC=3969208.1481				
	R=600.000	136.069			
			64+311.63	399334.3835	3969587.6251
CLO14	A=244.949				
	R=600.000	110.000			
			64+421.63	399275.5543	3969506.7984
DR15	ANG=238.2859 (g)	310.755			
			64+722.39	399099.7313	3969250.5658
CLO16	A=254.951				
	R=650.000	100.000			
			64+822.39	399045.2988	3969166.7097
ARC17	XC=399607.9317				
	YC=3968841.2189				
	R=650.000	192.842			
			65+015.23	398974.7228	3968988.0060
CLO18	A=254.951				
	R=650.000	100.000			
			65+115.23	398957.1681	3968889.5856
DR19	ANG=209.6046 (g)	196.939			
			65+312.17	398927.5689	3968694.8836
CLO20	A=254.951				
	R=650.000	100.000			
			65+412.17	398910.0142	3968596.4632
ARC21	XC=398276.8053				

Annexe A

	YC=3968743.2503				
	R=650.000	210.196			
			65+622.36	398830.5487	3968402.8561
CLO22	A=254.951				
	R=650.000	100.000			
			65+722.36	398773.8972	3968320.4829
DR23	ANG=239.9856 (g)	1765.563			
			67+487.93	397736.4489	3966891.8774
CLO24	A=256.905				
	R=600.000	110.000			
			67+597.93	397674.5850	3966800.9719
ARC25	XC=398190.3096				
	YC=3966494.3318				
	R=600.000	425.877			
			68+023.80	397599.3041	3966390.8307
CLO26	A=256.905				
	R=600.000	110.000			
			68+133.80	397624.8519	3966283.8808
DR27	ANG=183.1273 (g)	221.403			
			68+355.21	397682.8470	3966070.2086
CLO28	A=256.125				
	R=820.000	80.000			
			68+435.21	397705.0527	3965993.3610
ARC29	XC=398485.0059				
	YC=3966246.4874				
	R=820.000	178.022			
			68+613.23	397777.8841	3965831.3022
CLO30	A=256.125				
	R=820.000	80.000			
			68+693.23	397820.6072	3965763.6754
DR31	ANG=163.0954 (g)	318.598			
			69+011.83	397995.1256	3965497.1271
CLO32	A=254.951				
	R=650.000	100.000			
			69+111.83	398047.7259	3965412.1098
ARC33	XC=397478.1637				
	YC=3965098.9024				
	R=650.000	160.521			

Annexe A

			69+272.35	398107.0105	3965263.3764
CLO34	A=254.951				
	R=650.000	100.000			
			69+372.35	398127.3163	3965165.4866
DR35	ANG=188.6112 (g)	195.241			
			69+567.59	398162.0580	3964973.3613
CLO36	A=293.939				
	R=1440.000	60.000			
			69+627.59	398173.1441	3964914.3955
ARC37	XC=399584.5176				
	YC=3965200.0961				
	R=1440.000	106.758			
			69+734.35	398198.1826	3964810.6408
CLO38	A=293.939				
	R=1440.000	60.000			
			69+794.35	398215.2103	3964753.1089
DR39	ANG=181.2389 (g)	337.806			
			70+132.15	398313.3267	3964429.8658
CLO40	A=254.951				
	R=650.000	100.000			
			70+232.15	398344.8072	3964334.9779
ARC41	XC=398950.4379				
	YC=3964571.0106				
	R=650.000	310.459			
			70+542.61	398521.0837	3964082.9994
CLO42	A=254.951				
	R=650.000	100.000			
			70+642.61	398599.4290	3964020.8967
DR43	ANG=141.0379 (g)	1037.029			
			71+679.64	399428.3547	3963397.7502
CLO44	A=244.949				
	R=750.000	80.000			
			71+759.64	399491.4283	3963348.5556
ARC45	XC=399009.4393				
	YC=3962773.9370				
	R=750.000	560.765			
			72+320.40	399753.5730	3962867.5586
CLO46	A=244.949				

Annexe A

	R=750.000	80.000			
			72+400.40	399760.7304	3962787.8896
DR47	ANG=195.4277 (g)	305.009			
			72+705.41	399782.6180	3962483.6666
CLO48	A=254.951				
	R=650.000	100.000			
			72+805.41	399787.2334	3962383.7995
ARC49	XC=399137.2418				
	YC=3962387.1152				
	R=650.000	153.568			
			72+958.98	399768.4009	3962231.7503
CLO50	A=254.951				
	R=650.000	100.000			
			73+058.98	399739.5601	3962136.0270
DR51	ANG=220.2625 (g)	64.893			
			73+123.88	399719.2526	3962074.3929
CLO52	A=254.951				
	R=650.000	100.000			
			73+223.88	399690.4118	3961978.6696
ARC53	XC=400321.5709				
	YC=3961823.3047				
	R=650.000	69.609			
			73+293.48	399677.4212	3961910.3176
CLO54	A=254.951				
	R=650.000	100.000			
			73+393.48	399669.1344	3961810.6879
DR55	ANG=203.6508 (g)	627.929			
			74+021.41	399633.1449	3961183.7914

ANNEXE B

Profil en long : Abscisse Sommets et Raccordements

Client: ENSTP **Prepared by: BENDRIHEM/BELHAMRA**

Client Preparer

Client Company Your Company Name

Address 1 123 Main Street

Date: 08/06/2023 18:41:02

Profil en long : line rouge Aouinet
Description:
Plage d'abscisse : Début: 62+000.00, Fin: 74+021.41
LONGUEUR DE L'AXE : 12021.410m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			62+000.00	639.761
D1	PENTE= -0.04%	663.500		
			62+663.50	639.489
ARC1	S= 62+732.75 Z= 639.461 Point bas= 639.489m (62+667.59)			
	R= -10000.000	138.498		
			62+802.00	640.392
D2	PENTE= 1.34%	1056.238		
			63+858.24	654.590
ARC2	S= 63+902.94 Z= 655.190 Point élevé= 655.131m (63+938.88)			
	R= -6000.000	89.410		
			63+947.65	655.125
D3	PENTE= -0.15%	258.342		
			64+205.99	654.748
ARC3	S= 64+238.38 Z= 654.700 Point bas= 654.742m (64+213.44)			
	R= -5100.000	64.779		
			64+270.77	655.064
D4	PENTE= 1.12%	1506.727		
			65+777.49	672.002
ARC4	S= 65+808.83 Z= 672.354 Point bas= 672.002m (65+777.49)			

ANNEXE B

	R= -30000.000	62.661		
			65+840.16	672.772
D5	PENTE= 1.33%	613.554		
			66+453.71	680.951
ARC5	S= 66+487.70 Z= 681.404 Point élevé= 681.404m (66+521.69)			
	R= -5100.000	67.980		
			66+521.69	681.404
D6	PENTE= 0.00%	1688.923		
			68+210.61	681.404
ARC6	S= 68+254.81 Z= 681.404 Point bas= 681.404m (68+210.61)			
	R= -30000.000	88.401		
			68+299.01	681.534
D7	PENTE= 0.29%	1633.632		
			69+932.65	686.348
ARC7	S= 69+972.38 Z= 686.465 Point élevé= 686.391m (69+962.11)			
	R= -10000.000	79.466		
			70+012.11	686.266
D8	PENTE= -0.50%	1870.553		
			71+882.66	676.914
ARC8	S= 71+922.66 Z= 676.714 Point bas= 676.674m (71+962.66)			
	R= -20000.000	79.999		
			71+962.66	676.674
D9	PENTE= -0.10%	876.229		
			72+838.89	675.797
ARC9	S= 72+873.89 Z= 675.762 Point bas= 675.792m (72+848.89)			
	R= -10000.000	69.999		
			72+908.89	675.972
D10	PENTE= 0.60%	1112.521		
			74+021.41	682.648

ANNEXE C

Tableau 1 INVESTIGATION GEOTECHNIQUE LOT OUVRAGE

Localisation	Type d'ouvrage	Essais géotechniques		
		Essai in situ	Prof	Essai au laboratoire
62+225	Dalot 2x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
62+339	Dalot 2x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
62+762	Dalot 4*(3x2)	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
63+189	Dalot 3x2	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
63+764	Dalot 1.5x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
64+240	Dalot 1.5x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
64+600	Dalot 2x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons	10 m	-Essais d'identification - CBR

ANNEXE C

		intact. - Essai au pénétromètre statique SPT		- Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
65+000	Dalot 2x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
65+228	Dalot 4x4	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
65+522	Dalot 2x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
65+910	Dalot 3x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
66+083	Dalot 2x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
66+333	Dalot 3x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.

ANNEXE C

66+623	Dalot 3x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
66+940	Dalot 3x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
67+329	Dalot 3x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
67+500	Dalot 3x3	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
67+882	Dalot 3x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
68+191	Dalot 2x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
68+447	Dalot 2x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques

ANNEXE C

		statique SPT		- essais cisaillement Rectiligne.
68+627	Dalot 6x6	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
68+673	Dalot 3x3	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
68+816	Dalot 6x6	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
69+057	Dalot 2x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
69+099	Dalot 3x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
69+276	Dalot 3x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
69+509	Dalot 1.5x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais

ANNEXE C

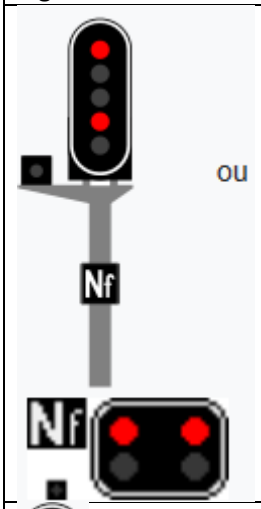
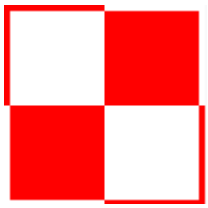
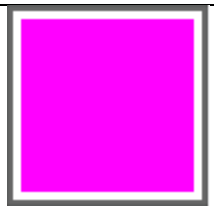
		pénétromètre statique SPT		œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
69+606	Dalot 3x2	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
69+728	Dalot 1.5x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT		-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
70+130	Dalot 2X2	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
70+603	Dalot 2x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
70+762	Dalot 4x4	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
71+043	Dalot 4x4	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
71+407	Dalot 4x4	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact.	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques

ANNEXE C

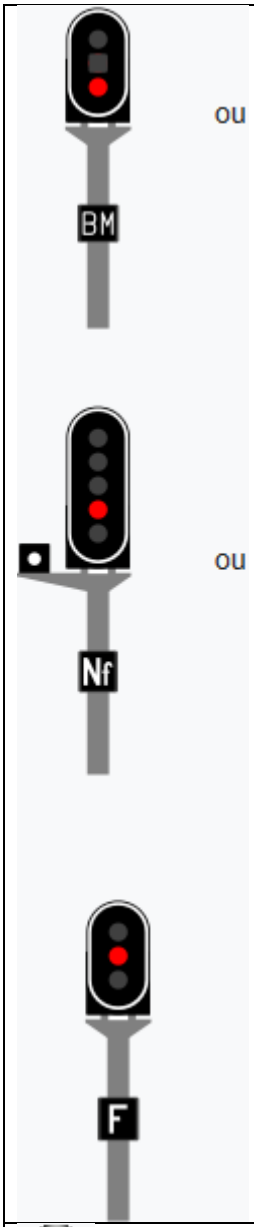
		- Essai au pénétromètre statique SPT		- Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
71+508	Dalot 3x3	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
71+947	Dalot 4x4	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
72+003	Dalot 4x4	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
72+491	Dalot 2x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
72+979	Dalot 3x2	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.
73+907	Dalot 2x1.5	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT	10 m	-Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne.

ANNEXE D

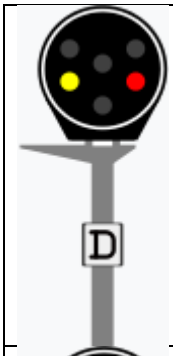
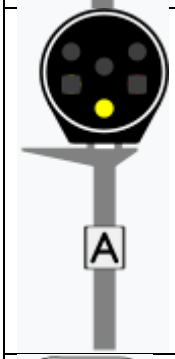
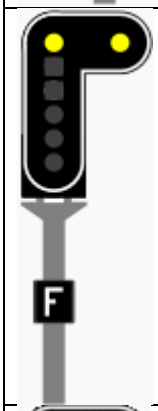
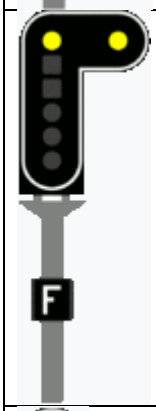
Les principaux signaux ferroviaires et leur indication

Signal lumineux	Signal mécanique	Description
		**Carré** Le carré commande l'arrêt et ne doit en aucun cas être franchi. C'est un signal de protection utilisé pour protéger des appareils de voie ou des parties de voie (aiguilles, traversées, zones de stationnement, ou pour l'arrêt des trains en ligne dans le cas de la surveillance des trains en marche) et donc à éviter le nez à nez ou la prise en écharpe.
		**Carré violet** Équivalent au carré, il est installé sur les voies de service, son ouverture seule, n'autorise pas le départ en ligne.
		**Guidon d'arrêt** Le guidon d'arrêt est utilisé pour protéger des appareils de voie isolés ou des passages à niveau, à la place d'un signal d'arrêt à main. Ce signal commande l'arrêt.

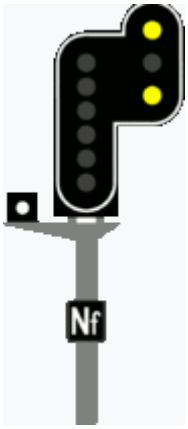
ANNEXE D

		**Sémaphore** Le sémaphore commande l'arrêt, et peut être franchi en marche à vue après l'arrêt complet dans certains cas. C'est un signal de cantonnement, il sert à espacer les trains et donc à éviter le rattrapage. Si le feu rouge du sémaphore est affiché sur un panneau pouvant présenter l'indication "carré" avec plaque "Nf", un petit feu blanc (nommé « œilleton ») doit aussi être allumé pour confirmer que ce qui est affiché est bien un sémaphore, et non un carré dont l'un des feux rouges serait grillé.
	Inexistant	**Feu rouge clignotant** Le feu rouge clignotant est une variante du sémaphore qui autorise la marche à vue sans arrêt préalable, à condition de ne pas dépasser les 15 km/h au franchissement du signal.

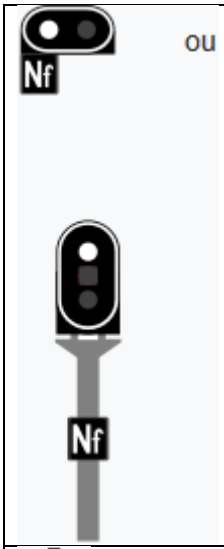
ANNEXE D

		**Disque** Le disque commande l'arrêt différé, c'est-à-dire marche à vue le plus tôt possible, suivi d'un arrêt obligatoire (même si les signaux rencontrés ensuite indiquent la voie libre) avant le premier quai ou appareil de voie rencontrés. La marche peut ensuite continuer après une autorisation verbale
		**Avertissement** L'avertissement commande au conducteur d'être en mesure de s'arrêter avant le prochain signal. L'avertissement peut annoncer un signal affichant le carré/carré violet/feu rouge clignotant, un signal accidentellement éteint ou un heurtoir.
		**Ralentissement 30** Le ralentissement 30 annonce une aiguille ou une succession d'aiguilles à passer à une vitesse maximale de 30 km/h. Sauf cas particulier de succession de signaux, il précède le rappel 30.
	Inexistant	**Ralentissement 60** Le ralentissement 60 annonce une aiguille ou une succession d'aiguilles à passer à une vitesse maximale de 60 km/h. Sauf cas particulier de succession de signaux, il précède le rappel 60.
	Inexistant	**Feu jaune clignotant** Le feu jaune clignotant sert à annoncer un avertissement qui est à distance réduite du signal d'arrêt, c'est-à-dire à une distance inférieure à la distance normale de freinage.

ANNEXE D

	Inexistant	**Feu vert clignotant** Equivalent au feu vert fixe pour les trains dont la vitesse limite ne dépasse pas 160 km/h, le feu vert clignotant commande au conducteur d'un train dont la vitesse limite est plus élevée de ramener sa vitesse le plus rapidement à 160 km/h et ce, avant le franchissement du signal suivant.
		**Rappel 30** Le rappel 30 précède une aiguille ou une succession d'aiguille à passer à une vitesse maximale de 30 km/h. Dans une gare de voie unique ou dans une gare d'une section de ligne à une voie banalisée, cette limitation de vitesse concerne également l'aiguille de sortie. Dans certains cas particuliers, le ralentissement et le rappel peuvent être présentés alors même que l'aiguille n'est pas prise en déviation. Ce signal est toujours groupé et combiné avec le carré qui précède (et protège) l'aiguille. Si cela est nécessaire, l'emplacement de l'aiguille ou de la première aiguille est repéré par une pancarte chevron pointe en bas.
	Inexistant	**Rappel 60** Le rappel 60 précède une aiguille ou une succession d'aiguille à passer à une vitesse maximale de 60 km/h. Dans une gare de voie unique ou dans une gare d'une section de ligne à une voie banalisée, cette limitation de vitesse concerne également l'aiguille de sortie. Dans certains cas particuliers, le ralentissement et le rappel peuvent être présentés alors même que l'aiguille n'est pas prise en déviation. Ce signal est toujours groupé et combiné avec le carré qui précédé (et protège) l'aiguille. Si cela est nécessaire, l'emplacement de l'aiguille ou de la première aiguille est repéré par une pancarte chevron pointe en bas.
	Signal ouvert (parallèle à la voie sauf le sémaphore et le guidon d'arrêt)	**Feu vert** Le feu vert indique au conducteur que la circulation en marche normale est autorisée (« voie libre »), si rien ne s'y oppose.

ANNEXE D

	Signal ouvert (parallèle à la voie)	**Feu blanc** Le feu blanc commande ou confirme la marche en manœuvre (ou la marche à vue lorsqu'il donne accès à une voie principale). Le conducteur ne doit pas dépasser la vitesse de 30 km/h sur les appareils de voie.
	Inexistant	**Feu blanc clignotant** Le feu blanc clignotant commande la marche en manœuvre sur un parcours de faible longueur. Il interdit dans tous les cas le départ en ligne d'un train.

Plaque d'identification	Indication
Nf	Un signal carré
F	Un sémaphore de B.A.L ou d'un feu rouge clignotant
PR	Un sémaphore de B.A.P.R
BM	Un sémaphore commandant l'entrée d'un canton de B.M
D	Un disque
A	Un avertissement