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

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de base

Thème

Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Rélizane / Tiaret / Tissemsilt sur 185km : Tronçon Tiaret / Tissemsilt sur 63.5 km du PK170+000 au PK 182+600.
Avec l'aménagement de la gare de MAHDIA

Présenté par :

- SAHNOUNE Yassine
- EL-KEBIR Mohamed Islam

Encadré par :

- Mebarki Rabah
- BERRICHE Yassine

Soutenu publiquement le 22 JUIN 2025 devant le jury composé de :

FEDGHOUCHE Ferhat	ENSTP	Président
RAMDANE Ismail	GENIRAIL	Examinateur
MAHIAOUI Mahdia Yasmine	ENSTP	Membre
BOUZIANE Messaoud	BET	Membre

Promotion 2024 / 2025

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

Remerciement :

Avant tout, nous remercions Dieu pour le courage et la volonté qu'il nous adonné pour terminer ce travail.

Nous remercions tout particulièrement Mr. MEBARKI Rabah, notre encadrant, pour son encadrement exceptionnel, ses conseils avisés et son soutien constant tout aulong de ce projet. Son expertise et sa disponibilité ont été essentielles pour mener à bien ce travail.

Nous souhaitons également remercier Mr. MORSLI et Mr. RAHMANI pour la qualité de leur enseignement et leurs précieux conseils, qui ont grandement enrichi nos connaissances et compétences.

Nous sommes également reconnaissants à EPE INFRAFER pour nous avoir offert l'opportunité de réaliser ce projet au sein de leur structure. Un merci particulier à Mr. SAADAOUI Houcine, ZATRI Mohamed, LEMAISSI Kahina et ALLOUTI Chaima pour leur accompagnement, leurs conseils pratiques et leur soutien durant cette période.

Nous tenons également à remercier tous les professionnels rencontrés au cours de ce projet pour leurs précieux échanges et leur collaboration, spécialement LAHLOUH Asma, EL BRAZZI Djilali et OURANDER Moncef Ziad. Vos contributions ont été déterminantes pour la réussite de ce travail.

Nous souhaitons exprimer notre gratitude au service de scolarité DIB, en particulier à la chef de département Mme MAHIAOUI Mahdia Yasmine, Mme MAKOUDI Imane, Mme BOUREBIA Mehdia, Mme. LOUNAS Sabrina, et Mme. KOBTANE Nassima.

Et au service de scolarité DMS, en particulier le chef de département Mr. HEMAIDI ZOURGUI Nadjib, Mme. BOUREBIA Amina et à tout le personnel de l'ENSTP.

Nous tenons à remercier les membres du jury, pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

Dedication:

First and foremost, all praise and gratitude go to Allah, the Most Merciful and the Most Generous. Without His guidance, I'd still be staring at a blank Word document wondering how to start this thesis.

To my parents, thank you for being the roots of my life, the foundation of everything I am and hope to be.

My amazing mom, thank you for your warm hugs, endless prayers, and for feeding me even when I said I wasn't hungry (but always ended up eating anyway). Your gentle strength carried me through the toughest days.

My dad, my silent supporter, thank you for always being there, for your quiet encouragement, and for believing in me even when I doubted myself. You both are my heroes.

To my family,

My brothers, Mohamed, Abdelhak and Ayoub, thank you for always having my back, whether it was with advice, moral support, or the occasional "emergency bank transfer". You guys were the safety net under my tightrope walk through the dorm life. I never walked alone.

My big sister Hadjer, thank you for your endless care, for the sweets and l'ftir you lovingly made for me over the years, and for those heavenly weekend dishes made for me after a rough week away from home. Your presence always felt like a warm, delicious hug.

Meriem and Tarek, my younger siblings, my nephews Younes and Mohamed, and my niece Israa thank you for being the perfect combo of annoying and adorable. Somehow, your constant chaos always managed to brighten my days.

To my friends,

Kamel, Houdheyfa, B. Abdelbasset, D. Mohamed Islam and T. Abdelbasset for the five messy and chaotic years we spent together… it was so good, we had to extend it for one more year! xD

BENNACER Amine Rami, for the wild ride in and out of ENSTP. Fun, chaos, and everything in between.

Asma, for always being there, helping me through every academic crisis over the past three years, and for all the memories, you are a real one.

Nassim, Oussama, Lokmane, Mounsif, and Youcef, for every late-night ride/walk, D2 hangout, and the 3AM crème w mini croissants ta3 RCK.

Let's not forget Salah, Issam, Toufik and Yanis, Mohamed YS, thank you for all the time we spent and for all the memories we shared.

And last but not least… to my partner in this journey, my brother, my friend, my roommate, Mohamed Islem EL KEBIR, eight years, and what a ride it has been. From high school, through the chaos of BAC, the randomness of the dorm, the grind of prépa, the suspense of le concours, and now this final chapter, this thesis. You were never just a friend or a teammate. You were the reason I didn't completely lose my mind (well, not entirely). Thank you for the endless laughter, the philosophical 2 AM conversations, and even the shared silence. Working on this project with you was an honor. Here's to the late nights, the mental breakdowns, the inside jokes, and to still making it through, mostly intact.

We made it, brother. Without completely losing it. (Maybe just a little).

Yassine

Dedication :

First and foremost, I thank Allah, the Most Merciful and Most Gracious, for granting me the strength, clarity, and endurance to bring this journey to completion.

To my incredible parents,

To the most loving mom — your unconditional love, your whispered prayers in the stillness of night, and your quiet strength have been my greatest foundation.

To the person I look up to the most, my father — your calm wisdom, your sacrifices, and your belief in me even when I doubted myself have been the light through every difficult moment.

You both are my true heroes, and the kindness you've shown me is impossible to capture in words.

To my siblings,

Imen, Loubna, Aya, Abdellah — thank you for your laughter, your encouragement, and for simply being there. You've reminded me time and again that family is Allah's most precious gift.

And to the little troublemaker, my nephew Oubay, your innocent joy and boundless energy have brightened this journey in ways words can't capture.

And to Amira, my sister whose time with us was short but whose memory lives on in our hearts — this is for you too.

To my grandparents,

Thank you for being the roots of our family — the silent strength behind our values, our traditions, and our resilience.

To Mani, whose courage and grace in the face of illness inspire us every day — I carry you in my heart through every step. May Allah grant you healing and peace.

To Mima, may Allah envelop your soul in infinite mercy and grant you the highest place in Jannah.

To my friends,

Fouzi, Kader, Mohamed Islam, Nasro, Amine, Abdelbasset, Abdou, Kamel, Doumi, Walid, Abdellatif, Toufik, Issam — thank you for every coffee-fueled brainstorm, every voice note, every silent gesture of support. You made this not only bearable, but also joyful. I carry your kindness with me.

To my classmates and teammates,

Mohamed, Oussama, Amine, Siradj, Djaballah, and everyone else — thank you for the shared struggles, the inside jokes, and the camaraderie that carried us through long nights and early deadlines.

To my partner on this academic adventure, Yassine Sahnoune,

Not only a partner, but a brother, a great friend — and a terrible roommate. What a ride it's been. Thank you for your patience, your humor, and for never letting me sink when I was tired. This journey would not have been the same without you.

And to every single person who cheered for me in quiet ways — this is for you.

Mohamed Islam.

ملخص:

هذا المشروع يتمثل أساسا في دراسة التصميم التفصيلي من مقطع من خط السكة الحديدية الجديد احادي الممر بين ولايات غليزان، تيارت وتيسمسيلت وهذا بين النقطة الكيلومترية 170+000 والنقطة الكيلومترية 180+600 بطول 12.6 كم بالإضافة الى تصميم وتهيئة محطة مهدية، صمم هذا المشروع بناء على معايير وتوصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكة الحديدية والإتحاد الدولي للسكك الحديدية وتم تنفيذ النمذجة الهندسية للمشروع باستخدام برامجCIVIL3D ، AutoCAD وCOVADIS.

Résumé :

Le présent projet consiste essentiellement à l'étude d'avant-projet détaillé (A.P.D) de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Rélizane – Tiaret – Tissemsilt, Du pk 170+000 au Pk 182+600, pour un linéaire de 12.6 Km, notre projet s'étale aussi à la conception et l'aménagement de la gare de MAHDIA. L'identification des caractéristiques techniques les plus appropriées de la ligne ferroviaire projetée sera basée sur les normes de l'Union Internationale des Chemins de Fer (UIC), ainsi que les recommandations spécifiques de la Société Nationale des Transports Ferroviaires algérienne (SNTF). La modélisation géométrique du projet a été exécutée à l'aide des logiciels CIVIL3D, AutoCAD et COVADIS.

Summary:

The present project consists essentially of the detailed design study of the new section railway line connecting Relizane – Tiaret – Tissemsilt, section from kilometric point 170+000 to the kp 182+600, for a linear of 12.6 km, our project also extends to the design of MAHDIA station. The identification of the most appropriate technical characteristics of the proposed railway line will be based on the standards of the International Union of Railways (UIC), as well as specific recommendations from the Algerian National Railway Company (SNTF). The geometric modelling of the project was executed using CIVIL 3D, AutoCAD and COVADIS software.

Symboles et Abréviations :

ANESRIF : Agence Nationale d'Etude et Suivi des Investissements Ferroviaires

SNTF : Société Nationale des Transports Ferroviaires.

SETIRAIL : Sociétéd'Etudes Techniques et de l'Ingénierie du Rail.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

UIC : Union International des Chemins de Fer.

EN : Normes Européennes.

NF : Normes Française.

RPOA : Règlement Parasismiques des Ouvrages d'Art.

APD : Avant-Projet Détaillé.

PK : Point Kilométrique.

ADV : Appareil de Voie.

LRS : Longs Rails Soudés.

BV : Bassin Versant.

QPS : Débit Pleine Section.

VPS : Vitesse Pleine Section.

FSR : Fil Supérieur des Rails

GPS: Global Positioning System

LIDAR: Light Detection and Ranging

CBR: Californian Bearing Ratio.

VBS : Valeur de Bleu de Méthylène.

PU : Puit de Reconnaissance.

PDL : Pénétromètre Dynamique.

IP : Indice de Plasticité

OPN : Optimum Proctor Normal.

DRG : Plus Grosse Roche.

LA : Los Angelos.

MDE : Micro Deval.

Vbg : Valeur de Propreté.

PST : Partie Supérieure de Terrassement.

CAO : Conception Assistée par Ordinateur.

GTR : Guide de Terrassement Routier.

ATR : Arrêt Train Régional

ETRMS : Européen Railways Traffic Management System.

BV : Bâtiment Voyageur

PCG : Point de Croisement et de Garage

MTPA : Million Tonnes par Ans

Table des matières

Introduction Générale.....1
I Chapitre I : Généralités.....3
I.1 INTRODUCTION :.....3
I.2 INFRASTRUCTURE FERROVIAIRE :.....3
I.3 AVANTAGES DES TRANSPORTS FERROVIAIRES :.....3
I.4 DEFIS LIES A LA VOIE FERREE :.....4
I.5 LES TYPES DE LA VOIE FERREE :.....4
I.6 LES COMPOSANTS PRINCIPAUX DE LA VOIE FERREE :.....4
I.6.1 La Plateforme :.....4
I.6.2 Le Ballast :.....4
I.6.3 Les Traverses :.....4
I.6.4 Le Rail :.....5
I.6.5 Les Attaches :.....5
I.7 LES NORMES ET LES CARACTERESTIQUES TECHNIQUES :.....5
I.7.1 Ecartement de Rail :.....5
I.7.2 Rayon de Courbure :.....6
I.7.3 Dévers et Pentes :.....6
I.8 CONCLUSION :.....6
II Chapitre II : Présentation du Projet.....9
II.1 INTRODUCTION :.....9
II.2 PRÉSENTATION DU PROJET :.....9
II.3 LES OBJECTIFS DE PROJET :.....10
II.4 RELIEF :.....10
II.5 CLIMAT :.....10
II.6 SISMICITÉ :.....10
II.7 PRÉSENTATION DU PROJET ÉTUDIÉ :.....11
II.7.1 LES CARACTÉRISTIQUES DU PROJET :.....11
II.8 LES CARACTÉRISTIQUES DE LA VOIE :.....11
II.9 LES CARACTÉRISTIQUES DE LA SUPERSTRUCTURE :.....12

II.9.1 LES RAILS : 12
II.9.2 TRAVERSES : 13
II.9.3 SYSTEME D'ATTACHE : 13
II.9.4 SEMELLE : 13
II.9.5 APPAREIL DE VOIE : 13
II.9.6 BALLAST : 14
II.10 CONCLUSION : 14
III Chapitre III : Etude Géométrique 15
III.1 INTRODUCTION : 15
III.2 TRACE EN PLAN : 15
III.2.1 CONDITIONS ET RÈGLES A RESPECTER DANS LE TRACÉ EN PLAN : 15
III.2.2 LES ÉLÉMENTS DU TRACÉ EN PLAN : 16
III.2.3 APPLICATIONS SUR LE PROJET : 17
III.3 PROFIL EN LONG : 19
III.3.1 LES ÉLÉMENTS DU PROFIL EN LONG : 20
III.3.2 APPLICATION SUR LE PROJET : 21
III.4 CONCLUSION : 22
IV Chapitre IV : Étude Hydrologique et Hydraulique 23
IV.1 INTRODUCTION : 23
IV.2 ÉTUDE HYDROLOGIQUE : 23
IV.2.1 CLIMATOLOGIE : 23
IV.2.2 LES BASSINS VERSANTS : 26
IV.3 ÉTUDE HYDRAULIQUE : 32
IV.3.1 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES TRANSVERSAUX : 32
IV.3.2 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES LONGITIDINAUX : 37
IV.4 CONCLUSION : 40
V Chapitre V : Étude Géologique et Géotechnique 40
V.1 INTRODUCTION : 40
V.2 ÉTUDE GÉOLOGIQUE : 40
V.2.1 CADRE GEOLOGIQUE DE LA REGION : 40

V.2.2 GEOLOGIE LOCALE : 41
V.3 ÉTUDE GÉOTECHNIQUE : 43
V.3.1 PROGRAMME D'INVESTIGATION GÉOTECHNIQUE : 43
V.3.2 Synthèse de résultats de laboratoire : 53
V.3.3 Classification du sol selon uic719r et la norme nfp 11-300 : 56
V.3.4 résultat de la classification : 57
V.4 CONCLUSION : 57
VI Chapitre VI : l'Assise Ferroviaire 58
VI.1 INTRODUCTION : 58
VI.2 COMPOSITION DE LA STRUCTURE D'ASSISE : 58
VI.2.1 LA SOUS-COUCHE : 59
VI.3 LA PLATEFORME FERROVIAIRE : 60
VI.3.1 QualitÉ des sols et classification des plateformes (UIC 719R) : 61
VI.3.2 CLASSES DE PLATEFORME SELON LEUR PORTANCE : 61
VI.3.3 CLASSIFICATION DES SOLS SELON UIC (UIC 719R) : 62
VI.3.4 ÉPAISSEUR DE LA COUCHE D'ASSISE : 62
VI.4 CHOIX DE LA COUCHE DE FORME : 64
VI.5 CALCULS DE L'ÉPAISSEUR DE LA COUCHE D'ASSISE : 64
VI.5.1 CALCUL DE L'ÉPAISSEUR DU BALLAST : 65
VI.6 RÉSUMÉ : 65
VI.7 CONCLUSION : 66
VII Chapitre VII : Terrassement et Ouvrages d'Art 67
VII.1 INTRODUCTION : 67
VII.2 TERRASSEMENT : 67
VII.2.1 LES OUVRAGES EN TERRE : 68
VII.2.2 STABILITÉ DES TALUS : 69
VII.2.3 tassement : 70
VII.2.4 PENTES ET TALUS : 70
VII.2.5 COMPACTAGE : 70
VII.3 LES OUVRAGES : 70

VII.3.1 Influence sur le choix du type d'ouvrage : 71
VII.3.2 LES OUVRAGES DE NOTRE PROJET : 71
VII.4 CONCLUSION : 72
VIII Chapitre VIII : Profils en Travers Type 73
VIII.1 INTRODUCTION : 73
VIII.2 LES ÉLEMÉNTS DE PROFIL EN TRAVERS : 73
VIII.2.1 la superstructure : 73
VIII.2.2 L'infrastructure : 74
VIII.2.3 Talus : 74
VIII.2.4 Assainissement : 74
VIII.3 PROFIL EN TRAVERS DU PROJET ÉTUDEIÉ : 74
VIII.4 CALCUL DES CUBATURES : 75
VIII.5 CONCLUSION : 75
IX Chapitre IX : Conception et Aménagement de La Gare de Mahdia 76
IX.1 INTRODUCTION : 76
IX.2 TYPES DE GARE : 76
IX.3 OBJET D'UNE GARE FERROVIAIRE : 76
IX.4 ÉTUDE DU PLAN DE MASSE DE LA GARE : 76
IX.5 INSTALLATION D'UNE GARE À VOYAGEURS : 77
IX.6 GARAGE FRANC : 77
IX.7 LA LONGUEUR UTILE D'UNE VOIE DE STATIONNEMENT : 78
IX.8 HEURTOIR : 78
IX.9 LES QUAIS : 79
IX.9.1 lA HAUTEUR DE QUAIS : 79
IX.9.2 Distance par rapport à l'axe de la voie : 79
IX.9.3 LA LONGUEUR DE QUAI : 79
IX.9.4 LA LARGEUR DES QUAIS : 79
IX.9.5 L'ENTRAXE DES QUAIS : 80
IX.10 APPAREILS DE VOIE : 80
IX.11 APPLICATION AU NOTRE PROJET (gare de MAHDIA) : 80

IX.11.1 Les quais : 80
IX.11.2 les appareils de voie : 81
IX.11.3 longueurs du garage franc : 81
IX.11.4 La longueur utile d'une voie de stationnement : 81
IX.12 PASSAE SOUTERRAINS (PS) : 81
IX.13 ASSINAISSEMENT DE LA GARE : 81
IX.13.1 Assainissement transversale : 81
IX.13.2 Assainissement longitudinale : 82
IX.14 CONCLUSION : 82
X Chapitre X : Signalisation Ferroviaire 83
X.1 INTRODUCTION : 83
X.2 OBJECTIF DE LA SIGNALISATION FERROVIAIRE : 83
X.3 LES SIGNAUX : 83
X.4 LE CONTONNEMENT ET SON APPLICATION AU PROJET : 84
X.5 TYPES DES BLOCS : 85
X.5.1 bloc manuel (bm) : 85
X.5.2 Bloc Automatique à Permissivité Restreinte (BAPR) : 85
X.5.3 bloc automatique lumineux (bal) : 85
X.6 ASPECTS DES SIGNAUX : 86
X.7 système DE SIGNALISATION (ETRMS) : 88
X.7.1 fonctionnement GÉNÉRAL : 88
X.7.2 avantages pour notre projet : 88
X.8 CONCLUSION : 88
XI Chapitre XI : Étude de l'Impact Sur l'Environnement 89
XI.1 INTRODUCTION : 89
XI.2 OBJECTIF DE L'ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT 89
XI.3 Description du milieu : 89
XI.3.1 Milieu physique : 89
XI.3.2 Milieu biologique 90
XI.3.3 ENVIRONNEMENT SOCIOCULTUREL : 91

XI.4 ÉVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX....91
XI.4.1 Impacts négatifs....91
XI.4.2 MESURES D'ATTENUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX : 92
XI.4.3 l'impact du tracé ferroviaire sur les zones agricoles :....93
XI.4.4 LES MESURES A PRENDRE : 93
XI.4.5 IMPACTS POSITIFS : 94
XI.5 CONCLUSION : 94
XII Chapitre XII : Devis Quantitatif et Estimatif....95
XIII Conclusion Générale....97

Liste des figures

Figure I-1: Composants de la section transversale du rail. (Rail Vignole) 5
Figure II-1: Plan de localisation du projet 9
Figure II-2 : Zonage sismique de l'Algérie. 11
Figure II-3 : Dimensions du rail UIC 60 E1 (en mm) 12
Figure II-4 : Appareil de voie UIC 60 E1 300 1/9 13
Figure II-5 : Appareil de voie UIC 60 E1 500 1/12 13
Figure II-6 : Ballast 14
Figure III-1: Éléments de tracé en plan 16
Figure III-2 : Les éléments de profil en long 21
Figure IV-1 : Schéma d'un ouvrage hydraulique rectangulaire (dalot) 34
Figure IV-2 : Schéma d'un ouvrage hydraulique rectangulaire (dalot) 2 35
Figure IV-3: Schémas des différents types des fossés 37
Figure V-1 : Carte géologique de l'Algérie 41
Figure V-2 : Un exemple d'un sondage carotté 51
Figure VI-1 : Schéma de profil en travers de l'assise ferroviaire 58
Figure VI-2 : Les composants de la structure d'assise 65
Figure IX-1 : Schéma illustratif du garage franc 78
Figure IX-2 : Schéma illustrative de la longueur utile 78
Figure IX-3 : Heurtoir 79
Figure IX-4 : La hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie 79
Figure IX-5 : L'emplacement de la gare de MAHDIA 80
Figure X-1 : Schéma illustratif du canton 84

Liste des tableaux

Tableau III-1 : Vitesses maximales des trains 16
Tableau III-2 : Caractéristiques géométrique du tracé en plan selon SNTF 17
Tableau III-3 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé 19
Tableau III-4 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé 20
Tableau III-5 : Rayon vertical 21
Tableau III-6 : Paramètres géométriques de profil en long (SNTF). 21
Tableau IV-1: Températures mesurées à Tiaret entre 24
Tableau IV-2 : Températures mesurées à Tissemsilt 24
Tableau IV-3: Pluviométrie mensuelle moyenne de la wilaya de Tiaret 25
Tableau IV-4 Pluviométrie mensuelle moyenne de la wilaya de Tissemsilt 25
Tableau IV-5 : Les caractéristiques morphologiques des bassins versants 27
Tableau IV-6: Coefficient de ruissellement C1 28
Tableau IV-7: Coefficient de ruissellement C2 28
Tableau IV-8: Coefficient de ruissellement C3 28
Tableau IV-9 : Les valeurs des paramètres de Montana 29
Tableau IV-10 : Les pluies maximales journalières 29
Tableau IV-11 : Résultats de calcul des temps de concentration 30
Tableau IV-12 : Les débits de crue retenus des Oueds pour une période de 100 ans 31
Tableau IV-13 : Condition d'auto-curage de l'ouvrage busé de BV n°2 33
Tableau IV-14 : Liste globale des ouvrages busés à projeter 34
Tableau IV-15 : Condition d'auto-curage de l'ouvrage dalot (BV n°01) 35
Tableau IV-16 : Tableau récapitulatif des dimensions des dalots avec les vérifications des conditions 36
Tableau IV-17 : Liste globale des ouvrages projetés. 36
Tableau IV-18: Caractéristiques des différents types des fossés 38
Tableau IV-19 : Calcul des débits à évacuer 39
Tableau V-1 : Objectifs des principaux essais géotechniques in situ 43
Tableau V-2 : Répartition des investigations géotechniques selon les lots du projet 44
Tableau V-3 : Types d'essais réalisés 45
Tableau V-4 : Localisation des puits de reconnaissance et profondeurs 46
Tableau V-5 : Localisation des sondages dans les remblais importants 46
Tableau V-6 : Localisation des sondages dans les déblais importants 47
Tableau V-7 : Investigations géotechniques pour les ouvrages d'art 48
Tableau V-8 : Localisation de gîtes et carrières pour notre projet 49
Tableau V-9 : Les puits de reconnaissance et description lithologique 50
Tableau V-10 : Les résultats de sondage carotté et la description lithologique 52

Tableau V-11 : Résultats de l'essai physique au laboratoire 54
Tableau V-12 : Résultats de l'essai Granulométrie par tamisage 54
Tableau V-13 : Résultats des essais de limites d'Atterberg 54
Tableau V-14 : résultats de l'essai de compressibilité à l'œdomètre 55
Tableau V-15 : Résultats de l'essais de cisaillement 55
Tableau V-16 : Interprétation des résultats de puis de reconnaissance 56
Tableau VI-1 : Epaisseur de la CDF selon la qualité du sol support et la classe de portance. 61
Tableau VI-2 Les différentes qualités du sol selon (UIC 719R). 62
Tableau VI-3 : Les paramètres de dimensionnement E, a, b, c, d, f et g 63
Tableau VI-4 : L'épaisseur des différentes couches 65
Tableau VII-1 : Liste des ouvrages projetés 72
Tableau VIII-1 : Section du profil en travers 74
Tableau VIII-2 : Cubatures de terrassement 75
Tableau VIII-3 : Cubatures de la couche d'assise 75
Tableau IX-1 : Les longueurs utiles 81
Tableau X-1 : Les principaux signaux ferroviaires et leur indication 86
Tableau XII-1 : Devis quantitatif et estimatif du projet 95

Introduction Générale :

Le réseau ferroviaire en Algérie constitue l'un des piliers majeurs de l'infrastructure de transport du pays. Il joue un rôle stratégique dans le développement économique et social, en facilitant la mobilité des citoyens et le transport des marchandises. l'Algérie s'est engagée dans un vaste programme d'extension de son réseau ferroviaire de 4722 km qui est exploités par la SNTF (Société National des Transports Ferroviaires), visant à porter cette longueur à 15000 km à l'horizon 2030. Ce plan ambitieux comprend notamment 4737 km de nouvelles lignes en construction et 5650 km supplémentaires à l'étude. Ces projets s'inscrivent dans une stratégie visant à désengorger les routes, réduire les coûts logistiques et soutenir les zones économiques clés, notamment à travers des lignes électrifiées et des trains à grande vitesse.

Dans le cadre d'extension de ce réseau, le projet de la nouvelle ligne à voie unique Rélizane-Tiaret-Tissemsilt sur 185 km s'inscrit comme un maillon important pour vise principalement à désenclaver les régions du centre-ouest, améliorer la mobilité des personnes et des marchandises, et stimuler le développement économique local. Ce projet s'inscrit dans la stratégie nationale d'extension du réseau ferré à 15 000 km d'ici 2030, avec pour objectifs spécifiques de réduire la pression sur le réseau routier, faciliter le transport des produits agricoles, créer des emplois et promouvoir un mode de transport plus durable. L'étude de ce tronçon participe ainsi à la modernisation des infrastructures ferroviaires algériennes tout en répondant aux besoins spécifiques des territoires traversés.

Notre étude se concentre plus particulièrement sur le tronçon de 12 km entre Tiaret et Tissemsilt (du PK 170+000 au PK 182+000) et sur l'aménagement de la gare de Mahdia, dans le cadre d'un Avant-Projet Détaillé (APD) qui doit concilier les exigences techniques, économiques et environnementales tout en répondant aux normes ferroviaires nationales et internationales. Cette démarche s'aligne pleinement avec les objectifs nationaux de modernisation et d'extension du réseau ferroviaire algérien.

Il est à souligner que l'Agence Nationale d'Étude et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (ANESRIF) est chargé de garantir la supervision de la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire Rélizane-Tiaret-Tissemsilt

Introduction Générale

Notre étude porte sur un Avant-Projet Détaillé (APD) du tronçon Tiaret-Tissemsilt (PK 170+000 au PK 182+600), et se structure autour des axes suivants :

- Généralités sur les voies ferrées et revue bibliographique des vibrations induites par le trafic ferroviaire ;
- Présentation détaillée du projet, incluant son contexte et ses spécificités ;
- Études techniques approfondies :
  - Analyse géométrique du tracé
  - Étude hydrologique et hydraulique
  - Investigation géologique et géotechnique
- Dimensionnement de la couche d'assise basé sur les résultats géotechniques ;
- Conception des terrassements :
  - Définition du profil en travers type
  - Gestion des déblais/remblais
  - Assurance de la stabilité de la voie
- Aménagement de la gare de Mahdia :
  - Intégration de la signalisation ferroviaire
- Évaluation environnementale des impacts du projet ;
- Estimation des coûts et plan de coordination des travaux.

Cette étude nous permettra d'acquérir une expérience concrète en ingénierie ferroviaire tout en contribuant au développement des infrastructures de notre pays. Les compétences techniques développées constitueront un atout précieux pour notre parcours professionnel dans le domaine des travaux publics ferroviaires.

Chapitre I : Généralités

I Chapitre I : Généralités

I.1 INTRODUCTION :

Le transport joue un rôle clé dans le développement économique de l'Algérie. En facilitant les échanges de biens et la mobilité des personnes, il contribue à l'intégration des régions, à la réduction des coûts logistiques et à l'amélioration de la compétitivité. Le développement d'infrastructures de transport modernes, notamment ferroviaires, permet de soutenir la croissance, de créer des emplois et d'ouvrir de nouvelles perspectives économiques à l'échelle nationale.

I.2 INFRASTRUCTURE FERROVIAIRE :

L'infrastructure ferroviaire, désigne l'ensemble des voies équipées de rails sur lesquelles circulent des trains tractés par des locomotives. Il peut être considéré comme un service public conçu pour répondre aux besoins des citoyens et du secteur industriel. Ce mode de transport collectif permet de déplacer efficacement les personnes et les marchandises. Il représente une alternative fiable à la voiture et aux camions, en contribuant à désengorger les grandes agglomérations. Aujourd'hui encore, il demeure l'un des principaux moyens de transport terrestre dans de nombreux pays. Le réseau ferroviaire comprend notamment le métro, le tramway et les voies ferrées classiques.

I.3 AVANTAGES DES TRANSPORTS FERROVIAIRES :

- Capacité élevée : un seul train peut remplacer plus de dix camions, ce qui en fait une solution idéale pour le transport en grande quantité.
- Mode de transport collectif : adapté au fret à grande échelle, aussi bien sur le territoire national qu'à l'international.
- Rentabilité :
  - Environ dix fois moins coûteux que le transport par avion.
  - Bien que plus onéreux que le transport maritime, il reste plus rapide.
- Faible impact environnemental : les émissions de CO_2 sont nettement réduites par rapport aux autres moyens de transport.
- Efficacité : permet de parcourir de longues distances plus rapidement que la route ou la mer, seul l'avion est plus rapide.
- Adaptabilité : les trains peuvent être configurés en fonction des besoins grâce à l'ajout ou le retrait de wagons.
- Fiabilité : le transport ferroviaire présente un très faible taux d'accidents, ce qui en fait l'un des moyens les plus sûrs.

I.4 DEFIS LIES A LA VOIE FERREE :

- Coût d'infrastructure élevé : La construction et l'entretien des voies ferrées nécessitent des investissements importants.
- Complexité géotechnique : Les voies doivent souvent être adaptées à des terrains variés, ce qui peut inclure la construction de tunnels, de ponts ou de viaducs.
- Maintenance régulière : Pour garantir la sécurité et la fiabilité, des opérations de maintenance fréquentes sont indispensables.

I.5 LES TYPES DE LA VOIE FERREE :

- Voies conventionnelles : Utilisées pour des trains circulant à des vitesses modérées (jusqu'à 160 km/h).
- Voies à grande vitesse : Conçues pour des vitesses supérieures à 250 km/h, elles nécessitent des matériaux de haute qualité et une infrastructure soignée.
- Voies mixtes : Accommodent à la fois les trains de passagers et de marchandises.
- Voies industrielles ou spécialisées : Utilisées dans les zones minières ou industrielles pour le transport de matériaux spécifiques.

I.6 LES COMPOSANTS PRINCIPAUX DE LA VOIE FERREE :

I.6.1 LA PLATEFORME :

La plateforme ferroviaire est la base sur laquelle repose toute la superstructure de la voie (ballast, traverses, rails). Elle sert à répartir les charges des trains sur le sol naturel, à garantir la stabilité de la voie et à assurer un bon drainage des eaux. Elle est composée d'un corps de plateforme, d'accotements et de fossés latéraux. Sa largeur varie selon le type de voie (environ 6 à 7 m pour une voie unique, et jusqu'à 14 m pour une double voie). Sa conception dépend du sol, du type de ligne et des conditions géotechniques.

I.6.2 LE BALLAST :

Le ballast est constitué de pierres concassées placées sous et autour des traverses de la voie ferrée. Il joue un rôle essentiel dans la stabilité de la voie en maintenant les traverses en position et en assurant un bon écoulement des eaux. Il contribue également à atténuer les vibrations générées par le passage des trains, ce qui permet de préserver la durée de vie des éléments de la superstructure, notamment les rails et les traverses. Pour garantir une bonne performance et une longue durabilité, le ballast est généralement composé de matériaux rocheux durs et résistants comme le granit ou le basalte.

I.6.3 LES TRAVERSES :

Les traverses sont des éléments transversaux essentiels dans la structure de la voie ferrée. Elles ont pour fonction principale de maintenir l'écartement constant entre les rails, garantissant ainsi la sécurité et le bon guidage des trains. En plus de cette fonction de maintien, elles permettent de répartir

les charges exercées par le passage des trains vers le ballast et la plateforme. Les traverses peuvent être fabriquées en bois, souvent utilisé pour sa souplesse et sa facilité de pose, en béton, apprécié pour sa durabilité et sa résistance, ou en acier, utilisé dans certains cas spécifiques pour sa robustesse et sa longévité. Le choix du matériau dépend du type de ligne, du trafic, et des conditions environnementales.

I.6.4 LE RAIL :

Les rails sont des barres d'acier profilées disposées parallèlement et fixées sur des traverses, assurant ainsi un écartement constant de la voie, généralement de 1435 mm (écartement standard). Ils jouent un double rôle : guider les roues des trains et supporter les charges dynamiques qu'ils génèrent. Inclinés à un angle de 1/20 pour favoriser le recentrage des roues. Un rail est composé de plusieurs parties : le champignon (zone de roulement), l'âme (partie verticale), le patin (base d'appui) et la table de roulement. Fabriqués en longueurs standards de 18 à 36 mètres, les rails sont assemblés soit par éclisses, soit par soudure (électrique ou aluminothermique), afin de garantir la continuité, la solidité et la sécurité de la voie ferrée.

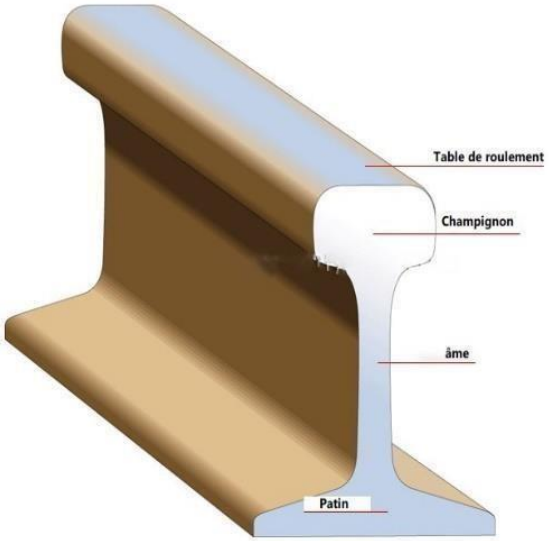


Figure I-1: Composants de la section transversale du rail. (Rail Vignole)

I.6.5 LES ATTACHES :

Les attaches jouent un rôle fondamental dans la stabilité de la voie ferrée. Elles assurent la liaison entre les rails et les traverses, maintenant les rails solidement en place malgré les efforts engendrés par le passage des trains. Ces dispositifs empêchent le déplacement latéral ou longitudinal des rails et contribuent ainsi à conserver l'écartement et l'alignement de la voie.

I.7 LES NORMES ET LES CARACTERESTIQUES TECHNIQUES :

I.7.1 ECARTEMENT DE RAIL :

L'écartement des rails correspond à la distance mesurée entre les faces internes des deux rails. La norme la plus répandue à l'échelle mondiale est l'écartement standard de 1435 mm. Cet écartement

garantit la compatibilité du matériel roulant, la stabilité des trains, ainsi que la sécurité de la circulation.

I.7.2 RAYON DE COURBURE :

Le rayon de courbure désigne la courbure horizontale des voies dans les zones en virage. Pour les lignes à grande vitesse, il est nécessaire d'adopter de grands rayons (plusieurs kilomètres) afin d'assurer une circulation fluide, stable et confortable. Plus la vitesse est élevée, plus le rayon doit être important pour éviter les effets de renversement ou de déraillement.

I.7.3 DEVERS ET PENTES :

Le dévers est l'inclinaison transversale de la voie dans les courbes, où le rail extérieur est surélevé par rapport au rail intérieur. Il permet de compenser la force centrifuge exercée par le train en virage. La pente quant à elle, représente l'inclinaison longitudinale de la voie. Pour des raisons de traction et de freinage.

I.8 CONCLUSION :

En résumé, le transport ferroviaire repose sur une infrastructure complexe et soigneusement conçue, où chaque composant joue un rôle précis pour garantir la sécurité, la performance et la durabilité de l'ensemble du réseau. Des éléments comme la plateforme, le ballast, les traverses, les rails et les attaches, jusqu'aux normes techniques comme l'écartement, les rayons de courbure ou le dévers, tout est pensé pour répondre aux exigences du transport moderne. Bien que la construction et l'entretien des voies ferrées représentent un défi technique et financier, les avantages qu'offre ce mode de transport en matière de capacité, de fiabilité et de respect de l'environnement en font une solution incontournable pour le développement durable et la mobilité des personnes et des marchandise

Chapitre II : Présentation du Projet

II Chapitre II : Présentation du Projet

II.1 INTRODUCTION :

Le projet de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Relizane–Tiaret–Tissemsilt revêt une importance stratégique pour le développement économique et territorial de l'Algérie. En reliant plusieurs wilayas de l'intérieur du pays sur un tracé d'environ de 185 kilomètres, cette infrastructure vise à faciliter la mobilité des personnes et des marchandises, tout en désenclavant des zones à fort potentiel agricole et industriel. Elle s'inscrit dans une logique de maillage du réseau ferroviaire national, contribuant à une meilleure intégration régionale et à la valorisation des pôles économiques locaux. Par son raccordement à d'autres lignes existantes, cette voie unique ouvre également des perspectives logistiques renforcées vers les ports et les grandes zones de consommation.

II.2 PRÉSENTATION DU PROJET :

Le projet s'étend sur 185 km, réparti en deux (2) tronçons, le premier de 120 km et le deuxième est de 65 km chacun et couvre neuf (9) communes et trois (3) wilayas :

- La wilaya de Rélizane (communes de : Rélizane, Zemmoura, Mendes, Rahouia, Mechraa Sfa)
- La wilaya de Tiaret (commune de : Tiaret, Dahmouni, Mehdia)
- La wilaya de Tissemsilt (communes de Tissemsilt)

Ces wilayas sont situées dans la région nord-ouest et les Hauts Plateaux de l'Algérie, avec des superficies totales respectives de 4 870 km² pour Relizane, 20 673 km² pour Tiaret, et 3 152 km² pour Tissemsilt. La wilaya de Relizane est composée de 13 daïras et 38 communes, celle de Tiaret compte 14 daïras et 42 communes, tandis que la wilaya de Tissemsilt est formée de 8 daïras et 22 communes. Le tracé du projet passe par les trois wilayas de Rélizane, Tiaret et Tissemsilt, et il est limité au nord par les wilayas de Ain Defla, Chlef et Mostaghanem, à l'ouest par les wilayas de Mascara et Saida, à l'est par les wilayas de Djelfa et Médéa, et au sud par les wilayas d'El Bayadh et Laghouat. Notre projet se situe dans le deuxième tronçon (PK120+000 au PK183+500), avec la zone d'étude spécifiquement située entre les wilayas de Tiaret et Tissemsilt (PK170+000 au PK182+600).



Figure II-1: Plan de localisation du projet

II.3 LES OBJECTIFS DE PROJET :

- Assurer la liaison entre les zones isolées et les grands centres urbains, en améliorant l'accessibilité et la mobilité des populations locales.
- Réduire les temps de déplacement et renforcer la sécurité des usagers, en offrant une alternative moderne et fiable au transport routier.
- Intégrer le tronçon dans le réseau ferroviaire national, et plus particulièrement dans la ligne stratégique des Hauts Plateaux, contribuant ainsi à la structuration et à la densification du maillage ferroviaire algérien.

II.4 RELIEF :

Le tracé de la ligne ferroviaire traverse un relief caractéristique des Hauts Plateaux de l'Ouest algérien, avec une topographie variée composée de zones montagneuses, de collines et de plaines. Le premier tronçon, entre Rélizane et Tiaret, présente un terrain relativement accidenté, nécessitant la mise en place de plusieurs ouvrages d'art tels que des ponts, viaducs et tranchées. En revanche, le deuxième tronçon, situé entre Tiaret et Tissemsilt (qui constitue également le tronçon étudié dans le cadre de ce projet) se distingue par un relief plus doux et globalement plat, ce qui facilite l'implantation de la voie ferrée, l'aménagement de la plateforme et la réalisation des gares.

II.5 CLIMAT :

La région traversée par la ligne ferroviaire présente un climat semi-aride à méditerranéen, caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers froids et modérément pluvieux. Les zones comme Tissemsilt et Tiaret, situées en altitude, peuvent connaître des variations thermiques importantes et des chutes de neige en hiver, ce qui peut influencer les conditions de chantier et l'entretien de la voie. En allant vers Rélizane, le climat devient progressivement plus doux et sec.

II.6 SISMICITÉ :

Selon le Règlement Parasismique Algérien (RPA 2024), la zone traversée par notre projet ferroviaire est classée entre les zones sismiques II, III, IV, V et VI, correspondant à une sismicité modérée à moyenne, avec des accélérations de référence allant de 0,10g à 0,30g selon la nature du sol et les conditions locales.

Il convient de préciser que cette classification concerne uniquement les surfaces directement traversées par le tracé du projet, et non la totalité des wilayas de Tissemsilt, Tiaret et Relizane. Cette répartition impose l'application de normes parasismiques strictes, notamment pour la conception des ouvrages d'art (selon le RPOA), des fondations, et des bâtiments ferroviaires, afin d'assurer la sécurité, la résilience et la durabilité des infrastructures face aux sollicitations sismiques potentielles.

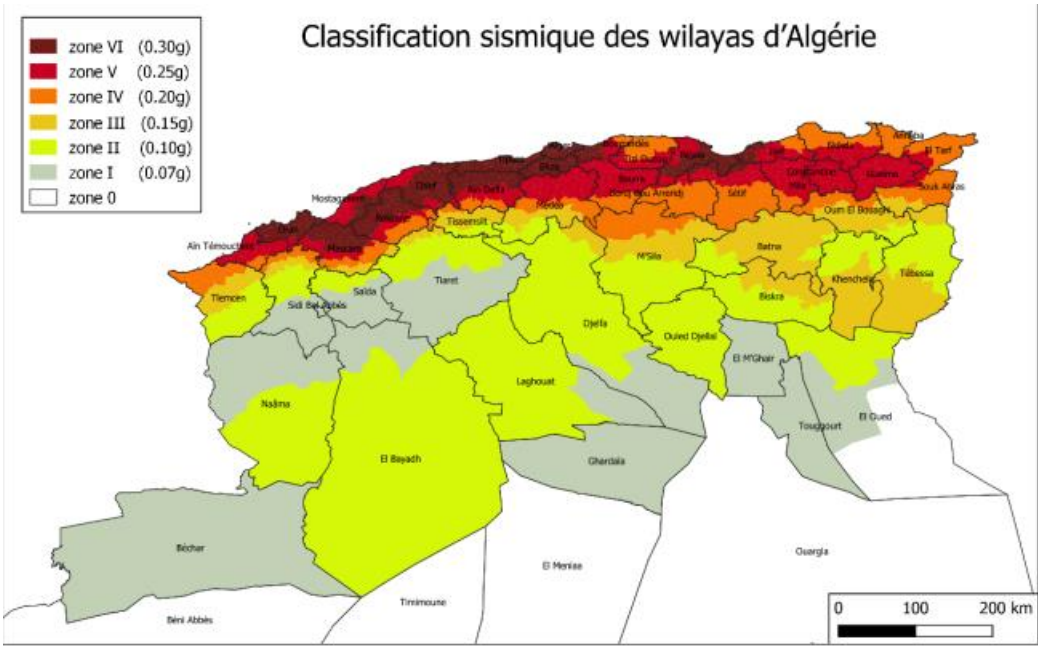


Figure II-2 : Zonage sismique de l'Algérie.

II.7 PRÉSENTATION DU PROJET ÉTUDIÉ :

Le présent projet porte sur l'étude de l'Avant-Projet Détaillé (APD) d'un tronçon de la ligne ferroviaire reliant Tissemsilt à Tiaret, s'étendant du point kilométrique PK 170+000 au PK 182+000, soit une longueur totale de 12 km.

Ce projet s'inscrit dans le cadre du développement du réseau ferroviaire des Hauts Plateaux, avec pour principal objectif de renforcer la connectivité régionale, faciliter la mobilité des personnes et des marchandises, et stimuler le développement économique local, notamment à travers la modernisation des infrastructures ferroviaires.

En plus de l'aménagement de la voie ferrée, le projet comprend également l'aménagement de la gare de Mahdia, qui jouera un rôle clé dans la gestion du trafic local, ainsi que dans l'exploitation efficace de la ligne. Cette gare assurera des fonctions logistiques essentielles pour le transport mixte, avec une prédominance du trafic voyageurs, tout en intégrant les besoins futurs du transport de fret.

II.7.1 LES CARACTÉRISTIQUES DU PROJET :

- Caractéristiques de base :
  - Longueur 20 Km.
- Caractéristiques géométriques selon les recommandations de la SNTF et lesstandards UIC.
  - Trafic mixte voyageurs et marchandises (Prédominance minière)
  - Mode de traction : électrique

II.8 LES CARACTÉRISTIQUES DE LA VOIE :

III.5.1 Écartement :

- e= 1435 mm en alignement.

III.5.2 Charges à l'essieu :

- 20 tonnes.

III.5.3 Vitesses :

- Vitesse maximale 160 km/h.
- Vitesse marchandises : 100 km/h.

III.5.4 Plate-forme de voie :

- La largeur de la plate-forme est fixée à 8m.
- La pente latérale de la plate-forme est de 4.0%.

III.5.5 Gabarit :

- Le gabarit à respecter est celui des lignes à vitesse normale, autrement dit le gabarit GC de l'UIC.

II.9 LES CARACTÉRISTIQUES DE LA SUPERSTRUCTURE :

II.9.1 LES RAILS :

La superstructure de la voie est équipée de rails de type UIC 60 E1, utilisés aussi bien en pleine voie qu'en gare. Ce type de rail est conforme aux standards internationaux pour les lignes à trafic élevé, offrant une grande résistance à l'usure et une bonne stabilité.

II.9.1.1 Dimensions du rail UIC 60 E1 (en mm) :

- Hauteur du rail : 172 mm
- Largeur du patin : 150 mm
- Épaisseur de l'âme : 16.5 mm
- Largeur de la table de roulement : 72 mm
- Poids : 60 kg/mètre linéaire.

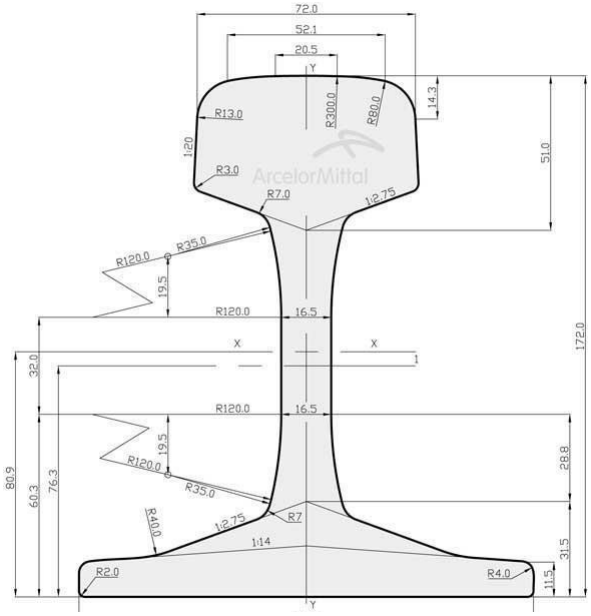


Figure II-3 : Dimensions du rail UIC 60 E1 (en mm)

II.9.2 TRAVERSES :

En pleine voie, la ligne est équipée de traverses bi-bloc en béton armé.

II.9.3 SYSTEME D'ATTACHE :

Les rails sont fixés aux traverses à l'aide d'attaches élastiques de type Nabla. Ce système est conçu pour :

- Maintenir efficacement le rail en position,
- Absorber les chocs et vibrations,
- Limiter les contraintes sur les traverses et les rails,
- Réduire les opérations de maintenance.

II.9.4 SEMELLE :

La voie est équipée de semelles en élastomère d'une épaisseur de 9 mm, placées entre la table de la traverse et le rail.

Ces semelles assurent plusieurs fonctions essentielles :

- Amortissement des vibrations et des chocs dus au passage des trains,
- Réduction des contraintes mécaniques sur les traverses en béton,
- Amélioration de la stabilité dynamique de la voie,
- Prolongement de la durée de vie de la superstructure.

II.9.5 APPAREIL DE VOIE :

Les appareils de voie utilisés dans ce projet sont choisis dans la gamme compatible avec le rail UIC 60 E1, conformément aux standards UIC et aux exigences d'exploitation de la ligne.

Les modèles retenus pour les voies déviées sont les suivants :

- Aiguille UIC 60 E1 – 500 1/12, permettant une vitesse de déviation jusqu'à 65 km/h
- Aiguille UIC 60 E1 – 300 1/9, permettant une vitesse de déviation jusqu'à 50 km/h

Ces appareils assurent une bifurcation fluide et sécurisée, tant pour les trains de voyageurs que pour les trains de marchandises, et s'intègrent parfaitement dans les configurations de gare et de voies d'évitement prévues sur la ligne.

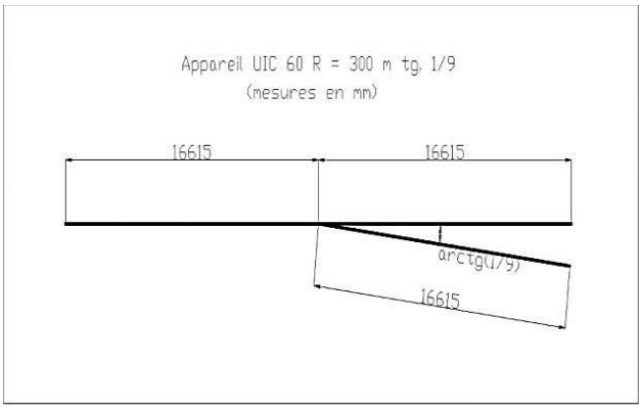


Figure II-4 : Appareil de voie UIC 60 E1 300 1/9

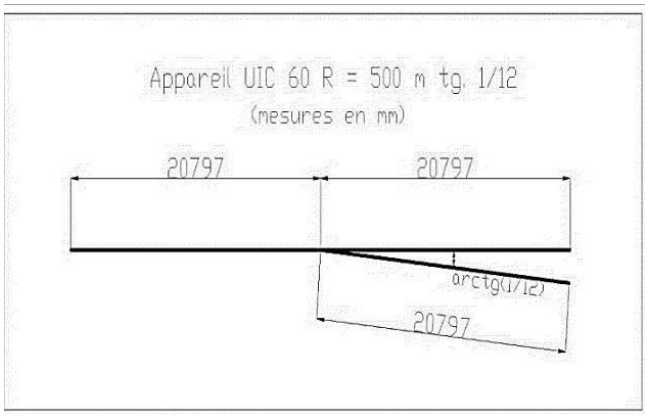


Figure II-5 : Appareil de voie UIC 60 E1 500 1/12

II.9.6 BALLAST :

Le ballast joue plusieurs rôles essentiels dans la stabilité et la durabilité de la voie ferrée :

- Transmission des efforts verticaux générés par le passage des trains vers la plateforme, tout en empêchant les déformations par tassement,
- Drainage efficace des eaux de pluie, grâce à une granulométrie optimisée,
- Amortissement des vibrations, en dissipant l'énergie mécanique par frottement entre les grains, limitant ainsi les sollicitations transmises aux couches inférieures.

Les caractéristiques techniques du ballast, conformes au référentiel SNTF et à la norme NF P53-695, sont les suivantes :

- Matériau : pierre rocheuse dure concassée
- Résistance à la compression : ≥ 12 kN/cm²
- Granulométrie nominale : 22,4/63 mm
- Taille intermédiaire (31,5–50 mm) : ≥ 50 %
- Résistance à l'érosion (test Los Angeles) : ≤ 15 %
- Classe granulométrique courante **:** 25 à 50 mm

Ce ballast assure ainsi une stabilité mécanique optimale, une longévité accrue de la voie et un confort de roulement amélioré pour les trains.



Figure II-6 : Ballast

II.10 CONCLUSION :

Le projet de la ligne ferroviaire Tissemsilt – Tiaret – Relizane, long de 185 km, constitue un axe stratégique pour le développement du transport ferroviaire dans l'ouest algérien. Il vise à désenclaver les régions de l'intérieur, à renforcer la liaison entre les wilayas, et à soutenir la dynamique économique locale.

L'étude du tronçon de 12 km entre Tissemsilt et Tiaret représente une première étape vers la réalisation de cette ligne, en assurant une infrastructure moderne et conforme aux normes nationales et internationales**.**

Ce projet s'inscrit dans une vision globale de développement durable, visant à améliorer la mobilité, à favoriser l'investissement, et à intégrer pleinement ces régions au réseau ferroviaire national.

Chapitre III : Etude Géométrique

III Chapitre III : Etude Géométrique

III.1 INTRODUCTION :

L'étude géométrique du tracé ferroviaire est une démarche scientifique et technique visant à optimiser la configuration des voies pour assurer un fonctionnement optimal des trains. Elle prend en compte plusieurs éléments clés comme les alignements droits, qui assurent une bonne stabilité et une circulation fluide sur les portions rectilignes. Les courbes permettent de changer de direction en douceur, mais doivent être soigneusement dimensionnées pour éviter des contraintes excessives sur les trains. Le dévers, quant à lui, est utilisé dans les courbes pour contrebalancer la force centrifuge et maintenir le confort et la sécurité des passagers. Enfin, les déclivités influencent directement l'effort nécessaire à la traction et au freinage, et doivent donc être conçus avec attention. Tous ces éléments doivent être bien équilibrés pour garantir une voie sûre, performante et durable.

III.2 TRACE EN PLAN :

Le tracé en plan d'une voie ferrée correspond à la projection horizontale de l'axe de la voie sur un plan. Il représente la trajectoire vue du dessus et se compose généralement d'une alternance d'alignements droits, de courbes circulaires et de courbes de transition progressives comme les clothoïdes. Conçu en tenant compte de deux vitesses de référence :

- V_v : vitesse maximale pour les trains rapides (voyageurs).
- V_m : vitesse minimale pour les trains lents (marchandises).

le tracé en plan vise à assurer la stabilité, le confort et la sécurité de circulation tout au long du parcours ferroviaire.

III.2.1 CONDITIONS ET RÈGLES A RESPECTER DANS LE TRACÉ EN PLAN :

Conformément aux recommandations de la fiche UIC 703R, plusieurs exigences doivent être prises en compte pour garantir un tracé ferroviaire efficace, économique et respectueux de l'environnement :

- Adaptation au relief : Le tracé doit s'intégrer harmonieusement à la topographie du terrain afin de limiter les travaux de terrassement, réduire les coûts de construction et atténuer l'impact environnemental.
- Franchissement des oueds et des routes : Il est préférable de limiter les traversées de cours d'eau et d'infrastructures routières. Lorsqu'un franchissement s'avère indispensable, celui-ci doit être réalisé de manière perpendiculaire ou à l'endroit le plus étroit afin de minimiser les ouvrages d'art nécessaires.
- Évitement des zones sensibles : Il convient d'écarter le tracé des zones à haute valeur environnementale ou économique, telles que les terrains agricoles, les forêts et les propriétés privées, afin de préserver ces espaces et d'éviter les conflits d'usage.
- Respect des courbes de niveau : Suivre les courbes de niveau naturelles permet de réduire

considérablement les volumes de déblais et remblais, ce qui contribue à une exécution plus rationnelle du projet.

- Privilégier les alignements droits : Les alignements rectilignes sont à favoriser chaque fois que cela est possible, car ils simplifient les travaux de construction, améliorent les conditions d'exploitation et réduisent les coûts.
- Assurer la sécurité et le confort des usagers : Le tracé doit être conçu selon les normes de sécurité ferroviaire, en veillant à garantir une circulation fluide, stable et confortable, notamment à grande vitesse.
- Éviter les zones à risques géologiques : Le tracé doit contourner les secteurs présentant des risques géotechniques tels que les sols instables, les zones fissurées ou les glissements de terrain, afin d'assurer la durabilité de l'ouvrage.
- Stabilité des talus :
    - Pour les talus en déblai, il faut tenir compte de la présence de nappes phréatiques, de sols plastiques ou de roches fissurées pouvant nuire à la stabilité.
    - Pour les talus en remblai, il convient d'éviter les terrains instables et les sols très compressibles susceptibles de provoquer des tassements ou des déformations.

III.2.2 LES ÉLÉMENTS DU TRACÉ EN PLAN :

Un tracé en plan est constitué de trois éléments géométriques : une droite, un arc de cercle et une courbe de raccordement.

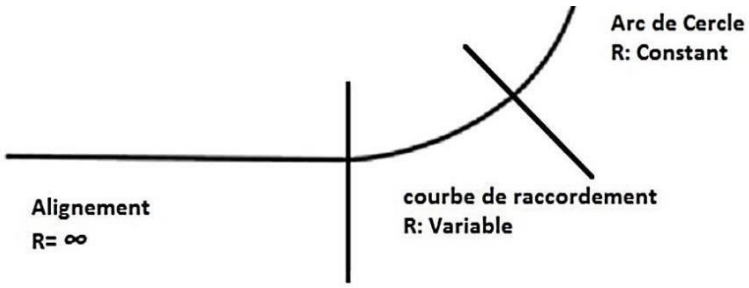


Figure III-1: Éléments de tracé en plan

Pour une vitesse V du train on établit les paramètres Géométrique qui sont fixés par les recommandations de la SNTF Qui assure la stabilité des trains et le confort des voyageurs.

Tableau III-1 : Vitesses maximales des trains

Vitesse voyageurs V_y	160 km/h
Vitesse marchandises V_m	100 km/h

Tableau III-2 : Caractéristiques géométrique du tracé en plan selon SNTF

	Formule		Application	
	Normal	**Exceptionnel**	**Normal**	**Exceptionnel**
Dévers maximal D_{max} (mm)	-	-	160	180
$R_{min}= \frac{11.8xVmax2}{dmax+Imax}$ (m)	$\frac{11.8xVmax2}{dmax+Imax}$	$\frac{11.8xVmax2}{dmax+Imax}$	974	888
Longueurs minimales des alignements L_{min}(m)	$\frac{Vmax}{2}$	$\frac{Vmax}{3}$	80	53
Longueurs minimales des pleines courbes (m)	$\frac{Vmax}{2}$	$\frac{Vmax}{3}$	80	53
Insuffisance de dévers admissible I_{max} (mm)	-	-	150	160
Excès de dévers admissible E_{max} (mm)	-	-	110	130
Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur $(^{dd}/_{dl})_{max}$ (mm/m)	$\frac{180}{Vmax}$	$\frac{216}{Vmax}$	1,125	1,350
Limite de la variation d'insuffisance de dévers $(^{dI}/_{dt})_{max}$ (mm/s)	-	-	75	90

III.2.3 APPLICATIONS SUR LE PROJET :

Notre projet qui relie Les wilayas de TIARET et TISSEMSILT débute au PK 170+000 jusqu'au PK 182+600 avec une longueur 12.6 Km.

Le tracé commence en alignement droit et se termine par une courbe de rayon de 1000 m, il se développe dans une extension de 12600 mètres et comprend 4 courbes de rayons :

- R1=2000m.
- R2=1200m.
- R3=3500m.
- R4=1000m.

Selon les normes de la SNTF, pour une vitesse de 160 km/h tous les rayons de notre tracé doivent être supérieurs ou égal à 974m.

On prend un exemple de calcul pour un rayon de 2000 m, juste pour illustrer les différentes étapes de calcul pour la détermination du devers et tous les paramètres correspondant à ce dernier.

- **R = 2000 m.**
  - Dévers théorique : $d_{th} = \frac{11.8*(Vmax)^2}{R} = \frac{11.8*160^2}{2000} = 151.04\ mm$
  - Coefficient du dévers : $C = 0.006 * Vmax^2 = 0.006 * 160^2 = 153.6$

La valeur de C doit être un multiple de 15 et doit répondre à la relation $(*)$:

Alors dans ce cas on prend C=165.

$0.5 < \frac{c}{0.118*Vmax^2} < 0.7$……(*)

$$0.5 < \frac{165}{0.118 * 160^2} = 0.55 < 0.7$$

La relation (*) est vérifiée.

- **Dévers prescrit :**

$$d_{projet} = \frac{1000C}{R} = \frac{1000 * 165}{2000} = 82.5$$

En prend $d_{adopté}$ = 100 mm.

- **Insuffisance de dévers :**

$$I = d_{th} - d_{adopté} = 151.04 - 100 = 51.4\ mm$$

- **Excès de dévers :**

$$E = d_{adopté} - \frac{11.8 \times V_{min}^2}{R} = 70 - \frac{11.8 \times 100^2}{2000} = 59$$

- **La longueur de clothoïde :**

$$L_{rp} = \frac{d_p}{dd/_{dl}} = \frac{d_{adopté}}{180/_{V_{max}}} = \frac{100}{180/_{160}} = 88.89m$$

dd/dt<50 $L_{rp} > \frac{d_{projet} \times V \times 0.2778}{50}$ $L_{rp} \geq 62m$

dd/dt<75 $L_{rp} > \frac{I \times V \times 0.2778}{50}$ $L_{rp} \geq 50m$

On prend **L_{rp} = 100m.**

- **Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur :**

$$dd/_{dt} = \frac{d_{adopté}}{L_{rp}} = \frac{100}{100} = 1\ mm/m$$

- **La variation de l'insuffisance de dévers par rapport au temps :**

$$dI/_{dt} = \frac{dl}{dI} \times \frac{V_{max}}{3.6} = \frac{51.4}{100} \times \frac{160}{3.6} = 22.84\ mm/s$$

- **La variation de dévers par rapport au temps :**

$$dd/_{dt} = \frac{d_p}{L_{rp}} \times \frac{V_{max}}{3.6} = \frac{100}{100} \times \frac{160}{3.6} = 44.44\ mm/s$$

Le listing ci-dessous présente les paramètres et les dévers correspondant à chaque rayon qui setrouve sur le tracé du tronçon d'étude, et cela pour les vitesses V_{max}=160km/h ; Vmin=70km/h.

Tableau III-3 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé

		Formule	1	2		3
Rayon (m)		-	**2000**	**1200**	**3500**	**1000**
Vitesse km/h	Min	-	**100**			
	Max	-	**160**			
d_{th} (mm)		$\frac{11.8 \times Vmax^2}{R}$	**151.04**	**251.73**	**86.31**	**302.08**
C		$0.006 \times V_{max}^2$	**153.6**			
C adopté		-	**165**			
Vérification C		$0.5 < \frac{C}{0.118 Vmax^2} < 0.7$	**0.55**			
			OK ✓			
d_p (mm)		$\frac{1000 \times C}{R}$	**82.50**	**137.5**	**47.14**	**165.00**
d_p adopté		-	**100**	**150**	**50**	**170**
I (mm)		$d_{th}-d_p$	**51.04**	**101.73**	**36.31**	**132.08**
E (mm)		$d_n-\frac{11.8 \times Vmin^2}{R}$	**41.00**	**51.67**	**16.29**	**52.00**
L_{rp} (m)		$\frac{dp}{dd/dl}$	**88.89**	**133.33**	**44.44**	**151.11**
L_{rp} adopté		-	**100**	**150**	**50**	**170**
dd/dl (mm/m)		$\frac{dp}{Lrp}$	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**
dI/dt (mm/s)		$\frac{I}{Lrp} \times \frac{Vmax}{3.6}$	**22.68**	**30.27**	**32.27**	**34.53**
dd/dt (mm/s)		$\frac{dp}{Lrp} \times \frac{Vmax}{3.6}$	**44.44**	**44.44**	**44.44**	**44.44**

Le tracé est réalisé à l'aide de AUTODESK Civil 3D selon les paramètres précédents. Veuillez consulter l'annexe pour plus de détails.

III.3 PROFIL EN LONG :

Le profil en long constitue une représentation graphique de la variation de l'altitude de la voie ferrée en fonction du kilométrage. Élément fondamental dans la conception des infrastructures ferroviaires, il permet de visualiser et d'analyser les pentes, les rampes, les déclivités et les points singuliers du tracé.

Son importance réside dans le fait qu'il influence directement la sécurité, la consommation énergétique, les performances des trains, ainsi que les coûts de construction et d'entretien. Un profil mal étudié peut entraîner des difficultés d'exploitation, notamment pour le freinage ou la traction dans les rampes excessives.

Ainsi, le profil en long constitue un outil essentiel pour assurer une infrastructure performante, durable et conforme aux exigences de sécurité et d'efficacité.

III.3.1 LES ÉLÉMENTS DU PROFIL EN LONG :

III.3.1.1 Les alignements droits :

Dans le profil en long d'une voie ferrée, les alignements droits correspondent à des sections rectilignes dépourvues de courbure. Leur déclivité, constante ou faiblement progressive, permet de maintenir une vitesse régulière et sécurisée des trains, tout en limitant les oscillations indésirables des véhicules. Leur implantation est soigneusement étudiée pour réduire les volumes de terrassement et garantir un profil en long stable, conforme aux normes de sécurité ferroviaire.

La Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) définit des règles strictes concernant les pentes admissibles sur ces tronçons, notamment dans les zones d'implantation des gares, où un palier d'au moins 1200 mètres est exigé, accompagné de déclivités maximales bien déterminées.

Tableau III-4 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé

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

III.3.1.2 Les raccordements :

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

Cette accélération est donnée par la formule suivante :

$$A_v = \frac{v^2}{3{,}6 x R_v}$$

Pour restreindre la variation brutale d'accélération verticale pour les circulations à vitesse maximale, on doit limiter le rayon minimum de ces courbes.

Pour les vitesses inférieures à 220 km/h, la valeur maximale de cette accélération est généralement de 0,22 m/s² (correspondant à une décélération de 0,05 g), ce qui est considéré comme une valeur de confort acceptable. Exceptionnellement, cette valeur peut atteindre 0,31 m/s². On peut calculer cette accélération en remplaçant la valeur de A_v dans la formule

$$R_v = \frac{v^2}{3.6 x A_v}$$

Tableau III-5 : Rayon vertical

	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Rayon vertical	**0.35V²**	**0.25V²**

La position des raccordements par rapport au terrain naturel dépend de plusieurs facteurs telque :

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

✓ $P_{n+1} - P_n > 2‰$ pour V>60km/h ou $P_{n+1} - P_n > 4‰$ pour V≤60km/h => Cercle Vetical

✓ $P_{n+1} - P_n < 2‰$ pour V>60km/h ou $P_{n+1} - P_n < 4‰$ pour V≤60km/h => PCD

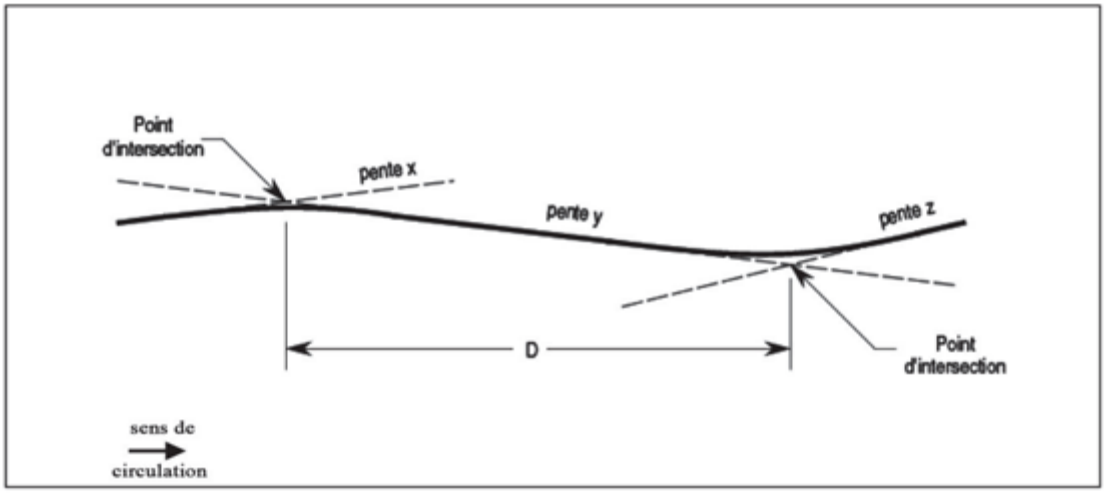


Figure III-2 : Les éléments de profil en long

III.3.2 APPLICATION SUR LE PROJET :

Tableau III-6 : Paramètres géométriques de profil en long (SNTF).

		D_{max}				$R_{min}(m)$	$L_{min}(m)$
		L< 3000m	3000< L< 15000 m	L>15000m	Gare	-	-
Formule	Normal	-	-	-	-	0.35 V²	V/2
	Exceptionnel	-	-	-	-	0.25 V²	V/2,5
Application	Normal	16 ‰	16 ‰ à 13 ‰	13 ‰	0	8960	80
	Exceptionnel	18 ‰	18 ‰ à 15 ‰	15 ‰	0	6400	64

III.4 CONCLUSION :

L'étude géométrique dans le domaine des voies ferrées représente une étape fondamentale dans le processus de conception d'une infrastructure ferroviaire. Elle repose sur deux volets complémentaires : le tracé en plan, qui définit le parcours horizontal de la voie, et le profil en long, qui décrit son évolution en altitude. Ensemble, ces études permettent d'assurer la sécurité, le confort des usagers, la stabilité de la voie et l'efficacité de l'exploitation ferroviaire.

L'élaboration d'un tracé optimal exige une adaptation intelligente au relief, l'évitement des zones sensibles, la maîtrise des déclivités et le respect des normes techniques en vigueur. Le profil en long, quant à lui, permet d'anticiper les volumes de terrassement, de positionner les gares et d'évaluer les contraintes d'exploitation liées aux pentes.

En somme, l'étude géométrique constitue la base technique sur laquelle reposent les choix d'aménagement, les études de structures et les estimations économiques, tout en assurant la conformité de la future ligne ferroviaire aux exigences de la SNTF et aux standards internationaux.

Chapitre IV : Etude Hydraulique et Hydrologique

IV Chapitre IV : Étude Hydrologique et Hydraulique

IV.1 INTRODUCTION :

Dans le cadre du projet de conception de la ligne ferroviaire Relizane – Tiaret – Tissemsilt, une étude hydraulique et hydrologique s'avère essentielle afin d'évaluer l'impact de cette nouvelle infrastructure sur les écoulements naturels et d'assurer sa sécurité et sa durabilité face aux risques hydriques.

Bien que certaines zones du tracé présentent un risque d'inondation faible à modéré, il est impératif d'adopter une démarche de prévention et de gestion maîtrisée des eaux pluviales et fluviales. En effet, la menace des crues importantes est un phénomène mondial, auquel l'Algérie n'échappe pas. Avec le développement démographique, économique, agricole et urbain, ce risque devient de plus en plus critique, notamment dans les zones traversées par des cours d'eau temporaires ou permanents, susceptibles de déborder en cas de précipitations intenses.

Cette étude hydrologique et hydraulique prend en compte les périodes de retour de 10, 20, 50 et 100 ans pour évaluer les risques et dimensionner les ouvrages hydrauliques en fonction des crues les plus extrêmes susceptibles de se produire dans la région.

IV.2 ÉTUDE HYDROLOGIQUE :

Une étude hydrologique est une analyse technique qui permet de comprendre et quantifier le comportement de l'eau dans un bassin versant, principalement en ce qui concerne :

- Les précipitations (pluie),
- Le ruissellement (écoulement de l'eau à la surface),
- Le débit des cours d'eau (rivières, oueds),
- Et surtout, les crues (inondations) pour différentes périodes de retour (10 ans, 50 ans, 100 ans…).

Dans un projet ferroviaire, elle permet de :

- Prévoir les crues susceptibles d'affecter la plateforme de la voie,
- Calculer les débits maximaux à écouler sous la voie,
- Dimensionner les ouvrages de drainage, comme les buses, dalots, ponceaux ou ponts,
- Et garantir la durabilité et la sécurité de l'infrastructure contre les risques d'inondation et d'érosion

IV.2.1 CLIMATOLOGIE :

L'étude climatologique est une étape essentielle dans la conception d'un projet ferroviaire tel que la ligne Tissemsilt – Tiaret – Relizane. Elle vise à analyser les conditions climatiques locales afin de garantir une conception durable, sécurisée et adaptée aux contraintes environnementales. Cette analyse prend en compte des paramètres tels que les précipitations, les températures, les vents et les

amplitudes thermiques, qui peuvent influencer le comportement des matériaux, la stabilité des infrastructures et la sécurité des circulations ferroviaires.

CLIMAT :

La région de Tiaret et Tissemsilt, située à une altitude de près de 1 000 mètres, présente un climat méditerranéen de transition avec des influences continentales marquées et une tendance semi-aride. Ces conditions climatiques influencent directement la conception et l'entretien de l'infrastructure ferroviaire.

Tissemsilt bénéficie d'un climat méditerranéen à tendance continentale. Les étés y sont courts, très chauds, secs et généralement dégagés, tandis que les hivers sont longs, frais, venteux et partiellement nuageux. Les températures varient généralement de 2 °C à 35 °C au cours de l'année, avec des extrêmes rares en dessous de -2 °C ou au-dessus de 39 °C.

TEMPÉRATURE :

a. Tiaret

Les hivers sont froids, avec des épisodes de gel et de neige. Des températures extrêmes ont été enregistrées, comme -11,7 °C en février 2012. Le mois le plus froid est janvier, avec une température moyenne de 6,2 °C, tandis que juillet est le mois le plus chaud, avec une moyenne de 26,4 °C et des pics pouvant dépasser les 40 °C. Ces variations thermiques saisonnières et journalières nécessitent une attention particulière aux matériaux de construction, à la dilatation thermique des rails, ainsi qu'à la protection des ouvrages contre le gel ou la chaleur excessive.

Tableau IV-1: Températures mesurées à Tiaret entre

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Année
Tmin (°C)	0,8	1,1	3,3	5,1	8,9	13,5	17,5	17,6	13,8	9,9	5	2,2	8,3
Tmax (°C)	11,6	12,8	16	19	24,5	30,8	35,4	34,6	28,6	23,2	16	12,4	22,1
Tmoy (°C)	6,2	7	9,7	12,1	16,7	22,1	26,4	26,1	21,2	16,6	10,5	7,3	15,2

b. Tissemsilt :

Les hivers à Tissemsilt sont marqués par des températures froides, accentuées par l'altitude et le caractère continental du climat. Les températures minimales peuvent descendre jusqu'à 1 °C en janvier, avec des épisodes de gel fréquents. En été, la chaleur est intense, notamment en juillet où la température moyenne atteint 35 °C, avec des pics pouvant dépasser 38 °C. Ces variations thermiques importantes imposent une attention particulière au choix des matériaux, à la gestion de la dilatation thermique des rails et à la protection des infrastructures contre le gel hivernal et la chaleur estivale.

Tableau IV-2 : Températures mesurées à Tissemsilt

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Tmax (°C)	11	13	16	19	24	30	35	34	29	23	16	12
Tmoy(°C)	6	7	10	12	17	23	27	26	22	17	11	7
Tmin(°C)	2	2	4	6	10	15	19	18	15	11	6	3

PLUVIOMÉTRIE :

a. Tiaret :

La pluviométrie annuelle moyenne est de 370 mm, avec une répartition irrégulière. Les mois les plus pluvieux sont janvier, avril, novembre et décembre, avec environ 45 mm chacun. En revanche, l'été est très sec, notamment en juillet avec seulement 3 mm en moyenne. Cette configuration impose une gestion rigoureuse du drainage longitudinal et transversal de la plateforme ferrovi aire afin de prévenir les risques d'accumulation d'eau, d'érosion ou d'affouillement pendant les crues saisonnières

Tableau IV-3: Pluviométrie mensuelle moyenne de la wilaya de Tiaret

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
P(mm)	45	35	40	45	30	12	3	10	35	30	45	45
N°J	9	8	7	8	6	2	1	3	5	6	8	9

b. Tissemsilt :

Tableau IV-4 Pluviométrie mensuelle moyenne de la wilaya de Tissemsilt

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
P(mm)	53.1	60.2	50.5	48.6	37.3	13.5	4.1	7.9	19.9	29.4	45.5	51.3
N°J	7	7	7	7	5	2	1	2	4	5	6	7

- Les mois les plus pluvieux sont février et janvier, avec respectivement 60,2 mm et 53,1 mm de précipitations.
- Juillet est le mois le plus sec, avec seulement 4,1 mm de pluie.
- Les jours de mélange (pluie/neige) sont rares et concentrés en hiver, principalement en janvier et février.
- Le nombre total de jours humides est maximum en janvier et décembre (7 jours), ce qui implique une vigilance particulière pour le drainage de la plateforme ferroviaire durant ces périodes.

VENT :

La région traversée par la ligne ferroviaire est affectée par vents dominants principalement extérieurs du nord ou du nord-ouest et parfois du sud ou du sud-ouest qui peuvent avoir des vitesses allant de modérées à élevées en fonction de la période de l'année. Ces vents accentuent le phénomène d'érosion, surtout dans les zones à faible couverture, et affectent également l'équilibre des talus ou des remblais. En été, les vents secs et chauds, parfois chargés de poussière chergui affecter la visibilité et génèrent des dépôts sur la voie. Il est donc essentiel de prévoir des protections mécaniques ou végétales dans les zones sensibles au vent.

IV.2.2 LES BASSINS VERSANTS :

INTRODUCTION :

Dans le cadre de l'étude hydrologique de la ligne ferroviaire reliant Tiaret à Tissemsilt, l'analyse des bassins versants traversés par le tracé est une étape essentielle. Un bassin versant est une zone géographique délimitée par des lignes de crête, à l'intérieur de laquelle toutes les eaux de ruissellement convergent vers un point d'exutoire commun, tel qu'un oued ou une rivière.

Ce projet traverse plusieurs bassins versants qui dépendent majoritairement du bassin du Chéliff, l'un des plus importants du nord de l'Algérie. La compréhension des caractéristiques de ces bassins est primordiale pour estimer les débits de crue, évaluer les risques d'inondation, et dimensionner les ouvrages de drainage transversaux et longitudinaux adaptés à la sécurité de l'infrastructure.

CHARACTÉRÉSTIQUE DES BASSINS VERSANTS :

L'évaluation des débits de crue nécessite l'identification des caractéristiques morphologiques et hydrologiques des bassins traversés. Les paramètres suivants sont pris en compte pour chaque bassin :

- Superficie du bassin (S) : exprimée en km²
- Périmètre (P) : longueur du contour du bassin (km) :
- Longueur du talweg principal (L) : en km
- Altitude maximale (Hmax) **et** altitude minimale (Hmin) : en mètres
- Indice de compacité de Gravelius (Kc) :

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}}$$

Cet indice permet d'évaluer la forme du bassin (plus il est proche de 1, plus le bassin est compact).

- Pente moyenne du bassin (I) :

$$I = \frac{Hmax - Hmin}{L}$$

- Temps de concentration (Tc) : temps nécessaire pour que l'eau de pluie atteigne l'exutoire du bassin (en heures)
- Vitesse de ruissellement : en km/h
- Coefficient de ruissellement : indique la proportion des précipitations qui contribuent directement au ruissellement de surface

Ces paramètres permettent de modéliser le comportement hydrologique des bassins versants et de concevoir les ouvrages de protection nécessaires contre les crues

Tableau IV-5 : Les caractéristiques morphologiques des bassins versants

N° BV	PK	S(Km2)	P(Km)	Kc	L	Hmax	Hmin	Hmoy	Dh	P(m/m)
BV 1	171+299	3,983	11,62	1,64	1,983	933	903	918	30	0,015
BV 2	171+607,5	0,862	5,658	1,72	0,456	912	902	907	10	0,022
BV 3	171+951	1,091	6,957	1,88	0,614	913	899	906	14	0,023
BV 4	175+809	73,895	64,144	2,10	18,588	964	828	896	136	0,007
BV 5	176+866	6,381	14,602	1,63	3,005	976	836	906	140	0,047
BV 6	178+900	3,666	13,38	1,97	2,546	990	844	917	146	0,057
BV 7	179+703,7	2,484	11,086	1,98	1,759	988	838	913	150	0,085
BV 8	180+932	2,402	10,457	1,90	2,2	1000	846	923	154	0,071
BV 9	181+389,6	10,273	20,413	1,80	5,099	1008	848	928	160	0,031
BV 10	181,877,5	9,883	19,953	1,79	2,816	974	845	909,5	129	0,046

CALCUL DE DEBIT MAXIMAL DANS LES BASSINS VERSANTS (DEBIT DE CRUE) :

La détermination du débit maximal d'un cours d'eau est essentielle pour dimensionner correctement les ouvrages, afin de prévenir les effets destructeurs des crues. Lors de grands aménagements, on estime ce débit à l'aide de formules empiriques basées sur les caractéristiques du bassin versant et les données pluviométriques. Le débit de projet utilisé correspond généralement à la plus grande crue observée ou à une crue centennale.

a. Formule rationnelle (A ≤ 10km²) :

$$Q_{max} = \frac{CIA}{3.6}$$

Q_{max} : débit de crue de période de retour voulue (en m^3/s)

C : coefficient de ruissellement

I : intensité de pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentrationen (mm/h)

A : surface de bassin versant en (km²)

- **Coefficient de ruissellement :**

Le coefficient de ruissellement C représente la part des précipitations totales qui s'écoule en surface sur un sol saturé. Dans la méthode de Kenessey, ce coefficient est déterminé en additionnant trois composantes : C1, C2 et C3, qui traduisent respectivement les effets liés à la nature du sol, à l'occupation du sol (végétation ou urbanisation), et à la pente du terrain.

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

C1 : Dépend de la pente I du talweg principal considéré être égal au rapport de différentes d'altitude (point haut et le point bas) par la longueur du talweg.

Tableau IV-6: Coefficient de ruissellement C1

Pente	C_1		
≤3,5 %	0,01	0,03	0,05
Entre 3,5 et 11 %	0,06	0,08	0,10
Entre 11 et 35 %	0,12	0,16	0,20
> à 35 %	0,22	0,26	0,30

C_2 : Dépend de la perméabilité du sol obtenue en fonction de sa nature lithologique.

Tableau IV-7: Coefficient de ruissellement C2

Nature du sol	C_2		
Imperméable	0,22	0,26	0,30
Peu perméable	0,10	0,15	0,20
Perméable	0,06	0,08	0,10
Très perméable	0,03	0,04	0,05

C_3 : Est un coefficient dépendant de la couverture végétale du bassin versant.

Tableau IV-8: Coefficient de ruissellement C3

Couverture végétale	C_3		
Rocheux	0,22	0,26	0,30
Prairie	0,17	0,21	0,25
Labours champs	0,07	0,11	0,15
Forêt et territoire sableux	0,03	0,04	0,05

- **Intensité de la pluie :**

La loi Intensité-Durée-Fréquence est définie à partir des données enregistrées par les pluviographes, puis traitée par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) en appliquant des méthodes statistiques.

Les séries de données obtenues ainsi que les pluies journalières sont ajustées à l'aide de la loi de Gumbel.

L'intensité moyenne I (T, tc) de la pluie, correspondant à une période de retour T et à un temps de concentration tc, est donnée par la formule suivante :

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

Avec :

- I (t, T) : Intensité de pluie en mm/h.
- T : Période de retour.
- t : Temps en heurs.
- a et b : Paramètres de Montana.

Tableau IV-9 : Les valeurs des paramètres de Montana

Coefficient de Montana	Temps de retour					
	2ans	5ans	10ans	20ans	50ans	100
b	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
a	14.2	20.1	23.8	27.4	32	35.4

- **Pluie journalière :**

Les pluies maximales journalières de rares fréquences sont des pluies génératrices des crues d'importants débits, contre lesquels il faut protéger les différents ouvrages hydrauliques et les dégâts.

Tableau IV-10 : Les pluies maximales journalières

Période de retour (ans)	Fréquence	Pj, max (mm)
10	0,9	43.2
20	0,95	50.4
50	0,98	57.6
100	0,99	64.8

- **Temps de concentration :**

Il s'agit du temps nécessaire à une goutte d'eau tombée au point le plus élevé d'un bassin versant pour parvenir jusqu'à l'exutoire. Ce temps, appelé temps de concentration, est calculé à l'aide de différentes formules selon la superficie du bassin versant.

- **Formule de VENTURA (S ≤ 5km²) :**

$$T_c = 0.1272\sqrt{\frac{S}{J}}$$

T_c : temps de concentration (en heures)

S : superficie du bassin versant (en km²)

J : pente brute du bassin (en m/m)

- **Formule de PASSINI (5 ≤ S ≤ 25 km²) :**

$$T_c = 0.108.\frac{(S.L)^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{J}}$$

T_c : temps de concentration (en heures).

L : longueur du talweg (en km).

J : pente brute du bassin (en m/m)

- **Formule de GIANDOTTI (S ≥ 25 km²) :**

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{\Delta H}}$$

T_c : temps de concentration (en heures).

S : superficie du bassin versant (en km²)

L : longueur du cours d'eau principal (en km)

ΔH : dénivelé entre le point le plus haut et le point le plus bas du bassin versant (en m).

- **Calcul du temps de concentration :**

Tableau IV-11 : Résultats de calcul des temps de concentration

BV	PK	S (m²)	L (m)	dH	J (m/m)	Tc (h)	Formule
1	171+299	3,983	1983	30	0,0151	2,061	VENTURA
2	171+607	0,862	456	10	0,0219	0,796	VENTURA
3	171+951	1,091	614	14	0,0228	0,878	VENTURA
4	175+809	73,895	18588	136	0,0073	9,439	GIANDOTTI
5	176+866	6,381	3005	140	0,0466	1,339	PASSINI
6	178+900	3,666	2546	146	0,0537	1,015	VENTURA
7	179+704	2,484	1759	150	0,0853	0,685	VENTURA
8	180+932	2,402	2200	154	0,07	0,744	VENTURA
9	181+389	10,273	5099	160	0,0314	2,281	PASSINI
10	181+878	9,883	2816	129	0,0458	1,529	PASSINI

b. Formule de MALLET-GAUTHIER (A ≥ 10 km²) :

Cette formule a pour but de l'estimation de la crue de période de retour T, elle s'exprime par :

$$Q_A = 2.K.log\left(1 + a.P_{j,max}\right).\frac{S}{\sqrt{L}}.\sqrt{1 + 4.[\log(T) - \log(S)]}$$

Avec :

- Q_A : Débit de crue de période de retour voulue (en m3/s).
- **P** : Précipitation moyenne interannuelle en m.
- **S** : Superficie du bassin versant (Km2).
- **T** : Période de retour en années.
- **L** : Longueur du talweg principal (Km).
- **a** : Paramètre (facteur pluviométrique considéré moyennement) qui varie de 20 et 30. Il est pris généralement égal à 20 pour l'Algérie.
- **k** : Paramètre (facteur pluviométrique considéré dans sa variabilité), compris entre 0.5 et 5.

c. Formule de CRUPEDIX :

Cette méthode permit à calculer le débit décennal instantané ($Q_{max,10}$), donné par la relation :

$$Q_{10} = A^{0,8} \times \left(\frac{P_{10}}{80}\right) \times R$$

Où :

- **Q_{10} :** Débit de crue instantané de fréquence décennale (m^3/s).
- **A :** Superficie du bassin versant (km^2).
- **P_{10} :** Précipitation journalière de fréquence décennale.
- **R :** Coefficient régional qui varie entre 0.2 et 1.8

Évaluation du débit centennal à partir du débit décennal de la formule de CRUPEDIX :

$$Q_{100} = b' \times Q_{10}$$

b' : Paramètre régionale dépendant de la superficie du bassin versant ; **b'=2** par défaut si A>10km².

Tableau IV-12 : Les débits de crue retenus des Oueds pour une période de 100 ans

N° BV	PK	S (km^2)	Facteur Pluvio-métrique		Cr	P_{100} (mm)	P_{10} (mm)	Tc(h)	I (100, Tc) (mm/h)	Q100 (m^3/s)		
			a	k						Rationnelle	Mallet-Gautier	CRUPEDIX
1	171+299	3,98	20,00	2	0,30	64.8	43.2	2,06	19.71	6.54	-	-
2	171+607	0,86	20,00	2	0,30	64.8	43.2	0,80	42.58	3.06	-	-
3	171+951	1,09	20,00	2	0,30	64.8	43.2	0,88	39.32	3.57	-	-
4	175+809	73,90	20,00	2	0,30	64.8	43.2	9,44	5.75	-	-	36.45
5	176+866	6,38	20,00	2	0,35	64.8	43.2	1,34	27.94	17.33	-	-
6	178+900	3,67	20,00	2	0,35	64.8	43.2	1,02	34.96	12.64	-	-
7	179+704	2,48	20,00	2	0,35	64.8	43.2	0,69	48.07	11.61	-	-
8	180+932	2,40	20,00	2	0,35	64.8	43.2	0,74	44.98	10.5	-	-
9	181+389	10,27	20,00	2	0,30	64.8	43.2	2,28	18.15	-	14.61	-
10	181+878	9,88	20,00	2	0,35	64.8	43.2	1,53	25.10	24.11	-	-

IV.3 ÉTUDE HYDRAULIQUE :

L'eau peut menacer la stabilité d'un projet ferroviaire. Il est donc essentiel de réaliser une étude hydrologique pour préserver les écoulements naturels, les exutoires et la sécurité de l'infrastructure. L'assainissement ferroviaire repose sur des dispositifs adaptés (collecte, traversées, régulation) et des ouvrages hydrauliques bien dimensionnés, notamment au franchissement des talwegs.

IV.3.1 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES TRANSVERSAUX :

Le débit de saturation ou le débit capable est calculé par le biais de la formule de MANNING-STRICKLER sur un écoulement en régime uniforme.

$$\boldsymbol{Q_S = K_S \times S_m \times (R_h)^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} = V_S \times S_m}$$

Avec :

Q_s : Débit de saturation de l'ouvrage (en m^3/s).

K_S : Coefficient de rugosité des parois du canal.

S_m : Surface mouillées (en m^2).

R_h : Rayon hydraulique (en m) tel que $R_h = \frac{S_m}{P_m}$, Avec Pm est le périmètre mouillé (en m).

I : Pente de l'ouvrage (en m/m).

V_s : Vitesse d'écoulement dans l'ouvrage.

A. Dimensionnement des buses :

La formule de Manning Strickler à la saturation est utilisée pour le calcul hydraulique des ouvertures circulaires (buses) ; sachant que :

$$\boldsymbol{Q_S = Q_{max}}$$

Avec : $\boldsymbol{S_m = \frac{\pi D^2}{4}}$, $\boldsymbol{P_m = \pi D \rightarrow R_h = \frac{D}{4}}$

D'où : $\boldsymbol{D = 4^{\frac{5}{8}} \times \left(\frac{Q_{max(100)}}{K_S \times \pi \times \sqrt{I}}\right)^{\frac{3}{8}}}$

- **<u>Vérification des conditions d'auto-curage :</u>**

Condition 1 : La vitesse d'écoulement 1.00 m/s ≤ V ≤ 4.00 m/s.

Condition 2 : Soit la vitesse d'écoulement calculée comme précédemment, à partir de

$Q = 0.1Q_{ps} \rightarrow V > 0.6$ m/s.

Condition 3 : Soit la vitesse d'écoulement calculée comme précédemment, à partir de

$Q = 0.01Q_{ps} \rightarrow V > 0.3$ m/s.

- **<u>Remplissage</u> :**

Pour les dalots : $h_r = 0.80h \; si \; h \leq 2.5m$; $h_r = h - 0.5 \; si \; h > 2.5m$.

Pour les buses : $h_r = 0.75Ø \; si \; Ø \leq 1m$; $h_r = 0.5Ø \; si \; Ø > 1m$.

- **Application numérique :**

Prenons le BV n°02 (PK 171+607) : $Q_{\max(100)} = 2.10\, m/s$.

On prend : **K_S = 70 ; I = 0,005.**

$$\boldsymbol{D = 4^{\frac{5}{8}} \times \left(\frac{Q_{max(100)}}{K_S \times \pi \times \sqrt{I}}\right)^{\frac{3}{8}} = 4^{\frac{5}{8}} \times \left(\frac{3.06}{70\pi\sqrt{0,005}}\right)^{\frac{3}{8}} = 1292.8\, mm}$$

On choisit un diamètre de 1500mm.

$$Q_{ps} = K_S \times S_m \times R_h^{\frac{2}{3}} \times I^{0.5} = 80 \times \pi \times \frac{D^2}{4} \times \left(\frac{D}{4}\right)^{\frac{2}{3}} \times I^{0,5} = 70 \times \pi \times \frac{1.5^2}{4} \times \left(\frac{1.5}{4}\right)^{\frac{2}{3}} \times 0,005^{0,5}$$

$$Q_{ps} = 4.549\, m^3/s$$

$$V_{ps} = \frac{Q_{ps}}{S_m} = \frac{4.549}{1.767} = 2.574\, m/s$$

$$R_q = \frac{Q_{max}}{Q_{ps}} = \frac{3.06}{4.549} = 0.673\ ; V = R_v \times V_{ps}\ ; H = R_h \times D$$

Tableau IV-13 : Condition d'auto-curage de l'ouvrage busé de BV n°2

Condition	R_q	R_v	V	Vérification
1m/s ≤ V ≤ 4m/s	0.673	1.072	2.759	OK
V > 0.6 m/s	0.1	0.640	1.647	OK
V > 0.3m/s	0.01	0.320	0.824	OK

Tableau IV-14 : Liste globale des ouvrages busés à projeter

Bassin	02	03
PK	171+607	171+951
$Q_{max\ (100)}$ (m^3/s)	3.06	3.57
Rugosité K_S	70	70
Pente (m/m)	0.005	0.005
Diamètre théorique (mm)	1293	1370
Diamètre retenu (mm)	1500	1500
V_{PS} (m/s)	2.574	2.574
Q_{PS} (m^3/s)	4.549	4.549
$R_q = Q / Q_{PS}$	0.673	0.785
1 m/s < V < 4 m/s	2.759	2.849
V > 0.6 m/s	1.647	1.647
V > 0.3 m/s	0.824	0.824
Hauteur de remplissage (mm)	901.5	1000.5
Vérification	OK	OK

B. Dimensionnements de dalots :

Lors de la conception d'un canal rectangulaire (comme un dalot), il est courant de fixer la hauteur d'eau à 75 % de la hauteur totale du canal. Cette règle permet d'assurer un écoulement efficace sans risque de débordement, tout en optimisant la capacité hydraulique de l'ouvrage.

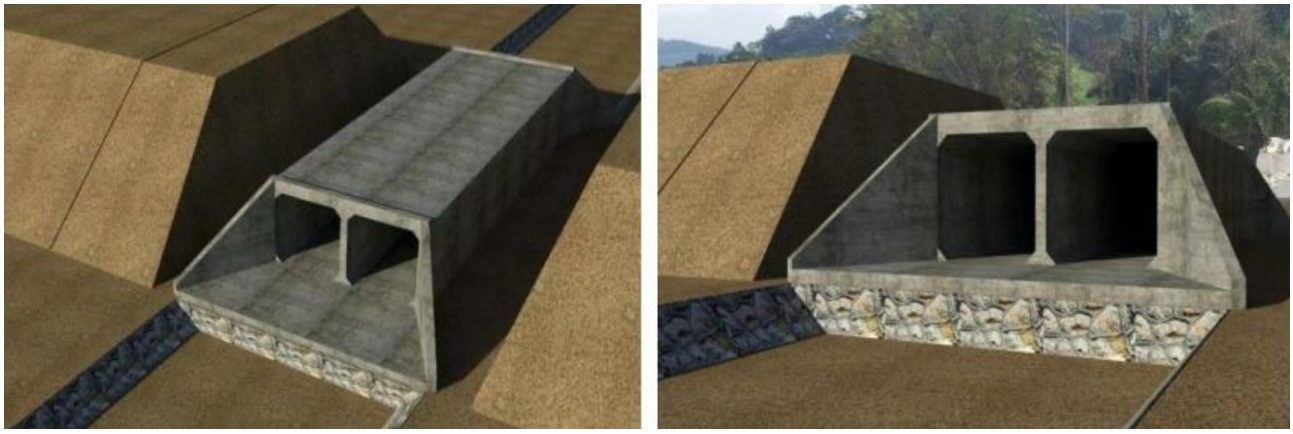


Figure IV-1 : Schéma d'un ouvrage hydraulique rectangulaire (dalot)

Les dimensions des dalots sont obtenues en écrivant l'égalité du débit des crues et le débit de saturation :

$$Q_S = Q_{max}$$

$$Q_{max} = K_S \times S_m \times R_h^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

Avec Ks = 70 pour les ouvrage en béton.

$$Q_{max} = 70 \times 0{,}75 \times H \times B \times \left(\frac{0{,}75 \times H \times B}{B + 1.5H}\right)^{\frac{2}{3}} \times I^{0.5}$$

On arive à une équation àrésoudre par itération :

$$H_{i+1} = \left(\frac{Q_{max}}{K_S \times I^{0,5}}\right)^{\frac{3}{5}} \times \frac{(B \times 1.5H_i)^{\frac{2}{5}}}{0.75 \times B}$$

Avec $H_0 = \left(\frac{Q_{max}}{K_S \times I^{0.5}}\right)^{\frac{3}{5}}$

Critère d'arret : $\boldsymbol{H_{i+1} - H_i < 10^{-3}}$

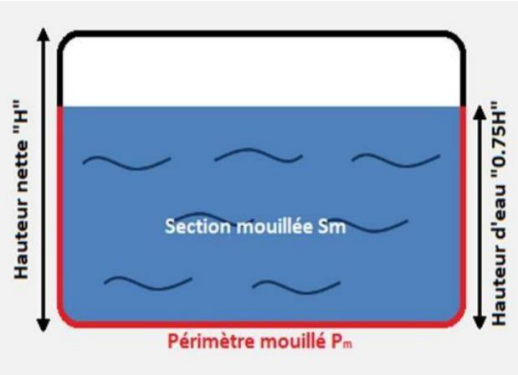


Figure IV-2 : Schéma d'un ouvrage hydraulique rectangulaire (dalot) 2

- **Application numérique :**

Prenons le BV n°1 (PK 171+299) : $\boldsymbol{Q_{max} = 5{,}28\ m^3/s}$

On prend : $\boldsymbol{K_s = 70}$; $\boldsymbol{I = 0{,}005}$; $\boldsymbol{B = 2m}$

Après le calculs itératif : $\boldsymbol{H = 1{,}129\ m}$

Donc on a un dalot de section de **B = 2m ; H = 2m.**

Alors : $\boldsymbol{S_m = 3\ m^2}$; $\boldsymbol{P_m = 5\ m}$; $\boldsymbol{R_h = 0{,}6\ m}$.

$$Q_s = K_s \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{0,5} = 70 \times 2.25 \times 0.53^{2/3} \times 0.005^{0,5} = 10.56\, m^3/s$$

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

$$H_c = \sqrt[3]{\frac{Q_s}{g \times B^2}} = \sqrt[3]{\frac{10.56}{9.81 \times 2^2}} = 0.65 < 0.75.H = 1.5$$ OK

➢ **Vérification de la vitesse :**

$$V = \frac{Q_{max}}{S_m} = \frac{5.28}{3} = 1.76\ m/s$$

➢ **Vérification de conditions d'auto-curage :**

- $Q_{ps} = 10.56 m^3/s$
- $V_{ps} = \frac{Q_{ps}}{S_m} = \frac{10.56}{3} = 3.52\ m/s$
- $R_q = \frac{Q_{max}}{Q_{ps}} = \frac{5.28}{10.56} = 0.5$

Tableau IV-15 : Condition d'auto-curage de l'ouvrage dalot (BV n°01)

Conditions	R_q	R_v	V	Vérification
V > 1 m/s	0.500	1.000	3.52	OK
V > 0.6 m/s	0.1	0.640	2.25	OK
V > 0.3 m/s	0.01	0.320	1.13	OK

Tableau IV-16 : Tableau récapitulatif des dimensions des dalots avec les vérifications des conditions

Bassin	01	05	06	07	08	09	10
S_m (m²)	3	4.69	3.75	3.75	3	4.69	7.5
P_m (m)	5	6.25	5.5	5.5	5	6.25	8
R_h (m)	0.6	0.75	0.68	0.68	0.6	0.75	0.94
PK	171+299	176+799	178+900	179+704	180+932	181+389	181+878
$Q_{max\ (100)}$ (m^3)	6.54	17.33	12.46	11.61	10.5	14.61	24.11
Rugosité K_S	70	70	70	70	70	70	70
Pente (m/m)	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Nombre de dalots	1	1	1	1	1	1	1
B×H	2x2	2.5x2.5	2.5x2	2.5x2	2x2	2.5x2.5	3x3
$H_C < 0.75H$	0.65	0.68	0.62	0.62	0.65	0.68	0.74
V_{sat} (m/s) < 4 m/s	2.18	3.7	3.32	3.1	3.5	3.12	3.22
Q_{PS}	10.56	19.15	14.38	14.38	10.56	19.15	35.56
V_{PS}	3.52	4.09	3.83	3.83	3.52	4.09	4.74
R_q	0.619	0.905	0.867	0.807	0.994	0.763	0.678
V > 0.3 m/s	1.127	1.307	1.227	1.227	1.127	1.309	1.517
V > 0.6 m/s	2.254	2.615	2.454	2.454	2.254	3.618	3.034
Vérification	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Tableau IV-17 : Liste globale des ouvrages projetés.

N° BV	PK de l'exutoire	S (km²)	$Q_{max(100)}$ (m^3)	Ouvrage projeté	Dimensions
01	171+299	3,983	6.54	Dalot	2x2
02	171+607	0,862	3.06	Buse	Φ1500
03	171+951	1,091	3.57	Buse	Φ1500
04	175+809	73,895	53.13	Ouvrage d'art	-
05	176+799	6,381	17.33	Dalot	2,5x2,5
06	178+900	3,666	12.46	Dalot	2,5x2
07	179+704	2,484	11.61	Dalot	2,5x2
08	180+932	2,402	10.50	Dalot	2x2
09	181+389	10,273	14.61	Dalot	2.5x2.5
10	181+878	9,883	24.11	Dalot	3x3

IV.3.2 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES LONGITIDINAUX :

Le dimensionnement des ouvrages longitudinaux, notamment les fossés, est essentiel pour assurer le drainage efficace des eaux de ruissellement le long des voies ferroviaires. Ce processus repose sur une analyse détaillée du terrain naturel et des profils en travers pour déterminer les zones sensibles à l'accumulation d'eau. Le drainage longitudinal permet de collecter les eaux provenant de la plateforme et des talus, et de les diriger vers des ouvrages hydrauliques ou des exutoires naturels, évitant ainsi les risques d'érosion, d'inondation ou d'instabilité de la plateforme. L'aménagement des fossés à des emplacements et hauteurs appropriés garantit une évacuation optimale des eaux et contribue à la durabilité et à la sécurité de l'infrastructure.

Le fossé adopté au tracé est un fossé de forme trapézoïdale tel qu'il est illustré dans la figure ci-dessous :

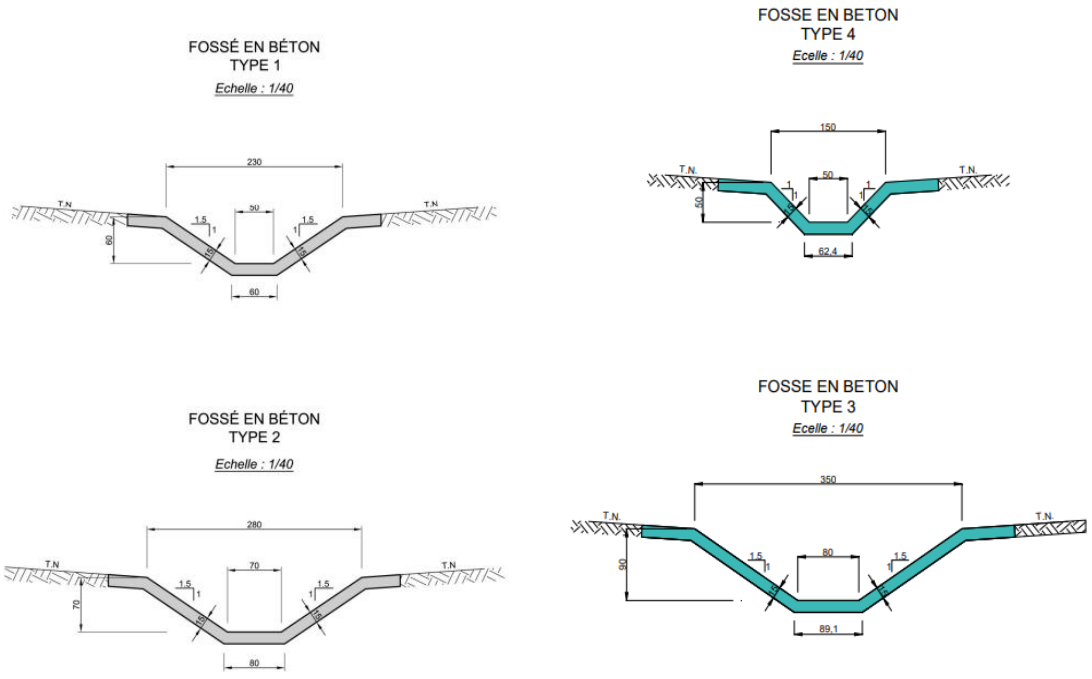


Figure IV-3: Schémas des différents types des fossés

- **Calcul des débits d'apport :**

Pour le dimensionnement des fossés, on utilise la formule de Manning-Strickler :

$$\boldsymbol{Q_s = K_S \times S_m \times R_h^{\frac{2}{3}} \times I^{0,6}}$$

Avec :

- La surface mouillée : $S_m = (b + z \times h) \times h$
- Le périmètre mouillé : $P_m = b + 2h \times \sqrt{1 + z^2}$
- Le rayon hydraulique : $R_h = \frac{S_m}{P_m}$
- I : Pente longitudinale de fossé.
- Z : La pente des berges.

Les hypothèses suivantes ont été posées pour la conception :

Les caractéristiques pour le dimensionnement des fossés sont les suivantes :

- Pour les fossés en béton (préfabriqués ou coulés sur place), le coefficient de rugosité Strickler Ks = 70.
- La pente longitudinale des fossés en zone de déblai est la même que celle du profil enlong de la voie.
- Les fossés sont construits selon une forme trapézoïdale avec un talus présentant une pentede 3/2 (H/V).
- Le débit à évacuer est la somme des trois débits provenant de la plate-forme et des talus **:** $Q_a = Q_{pf} + Q_t$

Les débits sont calculés dans le scénario le plus défavorable, où il y a un remblai ou undéblai s'étendant sur une grande longueur et avec une hauteur importante.

Chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle :$Q = \frac{CIA}{3.6}$

- Q : Débit de crue correspondant au bassin versant, avec une période de retour T (m^3/s).
- I : Intensité de pluie en (mm/h).
- A : Surface du bassin versant considéré : la plate-forme et les talus, en (km^2).

Tableau IV-18: Caractéristiques des différents types des fossés

Fossé	b	h	z	Sm	Pm	Rh	Ks	I	V	Q
Type 1	0,5	0,6	3/2	0,84	3,02	0,28	70	0,005	0,72	0,61
Type 2	0,7	0,7	3/2	1,23	3,94	0,31	70	0,005	0,86	1,05
Type 3	0,8	0,9	3/2	1,94	2,60	0,74	70	0,005	3,17	6,14
Type 4	0,5	0,5	3/2	0,63	0,50	1,25	70	0,005	6,92	4,32

Tableau IV-19 : Calcul des débits à évacuer

		CAS REMBLAI	CAS DÉBLAI
		Le cas plus défavorable :Longueur = 1225 m H_{talus} = 9.5 m Largeur de la plateforme = 8 m	Le cas plus défavorable :Longueur = 1525 m H_{talus} = 11.6 m Largeur de la plateforme = 8 m
Plate-forme	C_r	0.9	0.9
	P(m/m)	0.04	0.04
	A(Km2)	0.0122	0.0124
	T_c(h)	0.22h	
	I (mm/h)	a/t^b Avec a = 35.4; b = 0.81	
		120	
	Q_{pf}(m3/s)	Q = 0.278 $Cr\ I\ A$	
		0.3663	0.3723
Talus	C_r	0.6	0.6
	P(m/m)	1/2	2/3
	A(Km2)	0.013617	0.016719
	T_c(h)	0.02	0.02
	I (mm/h)	$I = a/t^b$ avec a = 35.4; b = 0.81	
		841	841
	Q_T (m3/s)	Q = 0.278 CIA	
		1.9102	2.3453
Q_a (m3/s) (totale)		Qpf + QT = 2.2765	Qpf + QT = 2.7176

Le choix de type du fossé se fait en fonction du débit à évacuer rapporté par la plateforme et les talus :

Fossé	b	h	z	Sm	Pm	Rh	Ks	I	V	Q
Type 2	0,7	0,7	3/2	1,23	3,22	0,38	70	0,005	2,60	3,18

Les dimensions retenues pour les fossés sont celles qui répondent à la condition suivante :

$$Q_a < Q_s \quad \text{OK}$$

En conclusion, les types des fossés adoptés pour notre projet de forme trapézoïdal :

(b = 0.7m ; h = 0.7m ; z = 3/2)

IV.4 CONCLUSION :

L'étude hydrologique et hydraulique menée dans le cadre de notre projet ferroviaire constitue une étape cruciale pour garantir la sécurité, la pérennité et la fonctionnalité de l'infrastructure. En tenant compte des spécificités climatiques de la région traversée et des caractéristiques des bassins versants, nous avons pu déterminer les débits de crue à l'aide de méthodes adaptées. Cette démarche a permis de concevoir des ouvrages hydrauliques capables de maîtriser les écoulements, de limiter les risques d'inondation et d'assurer un fonctionnement optimal de la ligne, tout en réduisant l'impact sur l'environnement.

Chapitre V : Etude Géologique et Géotechnique

V Chapitre V : Étude Géologique et Géotechnique

V.1 INTRODUCTION :

L'étude géologique et géotechnique constitue une étape fondamentale dans la conception d'un projet ferroviaire. Elle permet de choisir un tracé optimal, d'identifier les zones sensibles et de caractériser le terrain naturel destiné à recevoir les infrastructures.

Cette démarche repose sur des investigations de terrain, des essais en laboratoire et l'analyse de données, afin de déterminer les propriétés mécaniques et physiques des sols et des roches traversées : portance, perméabilité, stabilité, sensibilité à l'érosion, etc.

Les résultats obtenus servent de base pour le dimensionnement des fondations, des remblais, des talus et de l'assise ferroviaire, en tenant compte des contraintes locales.

V.2 ÉTUDE GÉOLOGIQUE :

L'étude géologique a pour objectif d'analyser les formations présentes le long du tracé afin d'en évaluer la nature, la structure, et les risques. Elle permet d'identifier les strates géologiques, les zones de failles, les affleurements rocheux, les aquifères, ainsi que les terrains instables susceptibles de provoquer glissements, affaissements ou infiltrations d'eau.

Cette étape est indispensable pour adapter le tracé, concevoir des structures d'assise fiables, et anticiper les contraintes liées au terrain. Elle permet également de repérer les matériaux exploitables et de proposer des solutions techniques pour limiter les impacts environnementaux.

En combinant l'approche géologique et géotechnique, cette analyse contribue à garantir la stabilité, la sécurité et la durabilité de l'infrastructure ferroviaire.

V.2.1 CADRE GEOLOGIQUE DE LA REGION :

La région traversée par le tracé ferroviaire Tissemsilt – Tiaret s'inscrit dans un contexte géologique varié, situé entre les Hauts Plateaux et l'Atlas tellien.

Elle est caractérisée par une alternance de formations sédimentaires, principalement constituées de calcaires, marnes, argiles et grès, datant du Crétacé et du Tertiaire, avec la présence de terrains plus récents dans les zones alluviales.

Le relief légèrement ondulé est le résultat d'une tectonique modérée, marquée localement par des plissements, failles et zones d'érosion. Certaines zones peuvent présenter des instabilités ou des matériaux peu portants (argiles gonflantes, zones marécageuses), nécessitant des adaptations dans le choix de la structure d'assise ou des traitements de sol.

Cette diversité géologique influence directement la nature du sol de fondation, la stabilité des talus et le drainage, d'où l'importance d'une caractérisation précise pour chaque section du tracé.

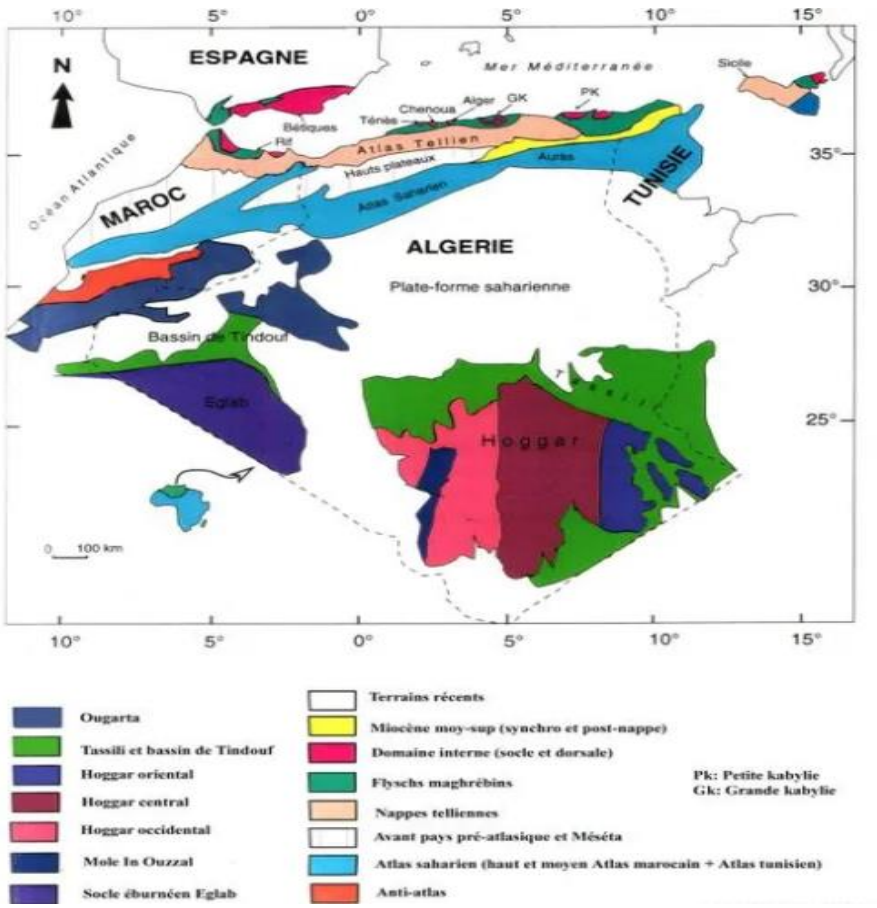


Figure V-1 : Carte géologique de l'Algérie

V.2.2 GEOLOGIE LOCALE :

Le tronçon de voie ferrée compris entre le PK 170+000 et le PK 182+600, situé entre Tissemsilt et Tiaret, traverse une zone géologiquement complexe, appartenant au domaine des Hauts Plateaux telliens, caractérisé par une alternance de formations cohérentes néogènes et de sédiments meubles quaternaires.

A. Formation géologique rencontrée :

a. Formations néogènes

Ce sont les formations les plus dominantes dans la zone :

- Grès massifs ou feuilletés : d'origine sédimentaire, souvent altérés en surface.
- Roches carbonatées (calcaires et marnes) : localement compactes mais parfois fracturées, avec des couches inclinées sous l'effet de plissements anciens.
- Argiles et limons fins : interstratifiés entre les couches gréseuses, ces matériaux présentent une faible cohésion et une sensibilité importante à l'eau.

Dans la zone proche du tracé, en particulier vers les zones de franchissement de collines ou d'arêtes, les formations gréseuses dominent, formant un substrat rocheux cohérent mais potentiellement inclinées selon des angles variés, ce qui peut poser des difficultés lors du terrassement.

b. Formations quaternaires

Dans les fonds de vallées et les zones planes ou faiblement ondulées, on retrouve :

- Des sédiments meubles à granulométrie fine : argiles plastiques, limons, sables fins, parfois graviers.
- Ces dépôts sont issus de l'érosion des reliefs environnants et peuvent atteindre plusieurs mètres d'épaisseur, notamment dans les zones d'accumulation ou d'affaissement localisé.
- La variabilité latérale de ces formations est importante, ce qui nécessite des reconnaissances géotechniques approfondies.

B. Conditions structurales :

La région est marquée par une tectonique modérée, avec présence :

- De failles locales pouvant entraîner des discontinuités dans les couches géologiques ;
- De plis anciens affectant l'inclinaison des strates ;
- D'un relief peu accentué dans les portions centrales du tracé, mais plus prononcé à l'approche des reliefs (notamment vers l'est du tronçon).

Les formations rocheuses présentent donc une orientation variable, avec des angles d'incidence parfois défavorables pour les coupes en déblais, notamment dans les zones gréseuses compactes.

C. Contraintes géotechniques identifies :

- Les roches cohérentes (grès, calcaires) offrent une bonne portance, mais nécessitent parfois des moyens mécaniques lourds pour l'excavation (déblais en terrain dur).
- Les formations argileuses et limoneuses sont sensibles à l'humidité et peuvent poser des problèmes de tassement différentiel, d'instabilité de talus, et de faible portance.
- La présence de sédiments meubles dans les vallées impose une adaptation des fondations, en particulier pour les ouvrages d'art (ponts, dalots, murs de soutènement) : recours à des fondations profondes peut être nécessaire.

D. Implications pour le projet :

- **Choix du tracé** : le tracé entre Tissemsilt et Tiaret a dû éviter autant que possible les zones instables ou à faible portance, en longeant les reliefs stables tout en optimisant les pentes et déblais.
- **Terrassements** : dans les zones rocheuses, les déblais seront réalisés dans des matériaux cohérents, tandis que dans les zones meubles, des renforcements ou substitutions de sol seront envisagés.
- **Fondations d'ouvrages** : des études spécifiques doivent être menées dans les zones à sédiments fins, afin de garantir la stabilité à long terme des appuis et des structures.

V.3 ÉTUDE GÉOTECHNIQUE :

L'étude géotechnique constitue une étape fondamentale dans la conception et la réalisation d'infrastructures ferroviaires. Elle permet d'analyser les caractéristiques mécaniques et physiques des sols et des roches rencontrés le long du tracé, afin d'adapter les fondations et les structures aux conditions réelles du terrain.

Cette discipline joue un rôle clé dans l'identification des risques géotechniques tels que les glissements de terrain, les tassements différentiels ou les affaissements, et contribue à la définition des méthodes de construction appropriées. Elle guide également le choix des matériaux, la stabilisation des talus, et l'optimisation des techniques de terrassement.

En intégrant les données géotechniques dès les phases initiales du projet, on assure la stabilité, la sécurité et la durabilité de la voie ferrée, tout en maîtrisant les coûts d'exécution et d'entretien.

V.3.1 PROGRAMME D'INVESTIGATION GÉOTECHNIQUE :

Le programme d'investigation géotechnique a pour objectif de recueillir l'ensemble des données nécessaires à la compréhension du sol en place, afin de concevoir une structure adaptée aux caractéristiques du site et aux exigences du projet ferroviaire.

Ce programme est défini en fonction :

- du contexte géologique et hydrogéologique attendu,
- de l'envergure du projet (emprise au sol),
- et des contraintes techniques (charges, fondations, terrassements, ouvrages d'art, etc.).

Il se compose des investigations in situ, des prélèvements d'échantillons, et des essais en laboratoire.

a. Investigation in situ :

Ces investigations visent à déterminer la nature des sols et leurs propriétés mécaniques :

Tableau V-1 : Objectifs des principaux essais géotechniques in situ

Type d'essai	Objectif
Puits de reconnaissance	Étudier la portance et caractériser les matériaux rencontrés
Sondages carottés	Identifier les différentes strates, prélever des échantillons
Essais pressiométriques	Déterminer les pressions limites et de fluage
Essais de pénétration dynamique (SPT)	Connaître la succession des couches et la capacité portante du sol
Installation de piézomètres	Surveiller la nappe phréatique et les pressions interstitielles

b. Prélèvement et essais de laboratoire :

Les échantillons prélevés (intacts et remaniés) sont soumis à une série d'essais pour définir leurs propriétés physiques et mécaniques :

- **Essais d'identification :**
  - Analyse granulométrique (tamis)
  - Limites d'Atterberg
  - Teneur en eau naturelle
  - Valeur du bleu de méthylène
- **Essais de compactage :**
  - **Proctor modifié** : détermination de la densité sèche maximale (γd max) et de la teneur en eau optimale
- **Essais de portance :**
  - **CBR (California Bearing Ratio)** : pour évaluer l'indice de portance des sols

C. Répartition des investigations par lot :

Tableau V-2 : Répartition des investigations géotechniques selon les lots du projet

Lot	Essais in-situ	Essais en laboratoire
Voie ferrée	Puits de reconnaissance, sondages pressiométriques, pénétrations dynamiques, piézomètres	Essais physiques et mécaniques sur sol
Ouvrages d'art	Sondages carottés, essais SPT, pressiomètres	Essais physiques, mécaniques et chimiques
sites d'emprunt et carrières	Puits de reconnaissance	Essais physiques, mécaniques et chimiques sur sol/roche

➢ **Lot Voie Ferrée – Reconnaissance de la Portance de la Plate-forme :**

Dans le cadre du projet de la ligne ferroviaire Tissemsilt – Tiaret, une campagne d'investigations géotechniques a été prévue afin de caractériser la portance de la plate-forme ferroviaire et de guider le dimensionnement des structures d'assise.

a. Essais in situ

Des puits de reconnaissance seront réalisés à l'aide d'une pelle mécanique rétro. Ces puits seront implantés préférentiellement dans les zones de faible relief du tracé (entre PK 170+000 et PK 182+600), afin d'évaluer les caractéristiques mécaniques du sol naturel en place.

b. Essais en laboratoire

Les échantillons prélevés dans les puits seront analysés en laboratoire à travers les essais suivants :

- **Essais d'identification** :
  - Analyse granulométrique par tamisage,
  - Détermination des limites d'Atterberg,
  - Teneur en eau naturelle,
  - Valeur du bleu de méthylène.
- **Essai Proctor modifié** :
  - Détermination de la densité sèche maximale (γd max) et de l'humidité optimale des matériaux.

Essai CBR (California Bearing Ratio) :

- Évaluation de l'indice de portance des sols, en réalisant trois essais sur des échantillons moulés aux caractéristiques proches des résultats obtenus par l'essai Proctor.

Ces essais permettront de classer les sols selon leur qualité géotechnique (QS1, QS2, QS3) et de définir les mesures à adopter pour assurer une plate-forme stable et durable sur l'ensemble du linéaire.

Tableau V-3 : Types d'essais réalisés

Type d'essai	Norme
Essais d'identification	
Analyse granulométrique	NF P 94-056 / NF P 94-057
Essai Proctor modifié	NF P 94-093
Essais physiques	
Détermination de la teneur en eau	NF P 94-050
Limites d'Atterberg	NF P 94-051
Essai CBR avec imbibition	NF P 94-078
Équivalent de sable	NF P 18-598
Analyse chimique	
Valeur au bleu de méthylène	NF P 94-068
Essais mécanique	
Essai œdométrique	NF P 94-090-1
Essai de cisaillement direct	NF P 94-071-1

Tableau V-4 : Localisation des puits de reconnaissance et profondeurs

N° du Puits	PK	Profondeur (m)
1	170+000	3
2	171+100	3
3	172+600	3
4	174+100	3
5	175+600	3
6	177+100	3
7	178+600	3
8	180+100	3
9	181+600	3
10	182+100	3

- **Étude du terrassement (Remblai / Déblai) :**

Afin d'évaluer la stabilité des remblais et déblais prévus le long du tracé, des investigations géotechniques in situ et en laboratoire ont été réalisées. Ces investigations sont essentielles pour dimensionner correctement les talus, fondations et systèmes de drainage associés aux terrassements ferroviaires.

a. Essais in situ :

Des sondages carottés ont été exécutés dans les zones présentant des remblais ou déblais importants. Chaque sondage a été accompagné, si nécessaire, de l'installation de piézomètres, afin de surveiller les niveaux piézométriques et d'évaluer les conditions de stabilité hydrogéologique.

Tableau V-5 : Localisation des sondages dans les remblais importants

N° Sondage	PK	Hauteur max du remblai (m)	Profondeur du sondage (m)
SC1	170+175	9.015	15
SC2	173+200	6.778	15
SC3	174+275	10.035	20
SC4	175+450	10.731	20
SC5	176+275	10.945	15
SC6	176+850	9.751	15
SC7	178+900	9.530	15
SC8	179+600	8.105	15
SC9	180+769	6.809	15

Tableau V-6 : Localisation des sondages dans les déblais importants

N° Sondage	PK	Hauteur max du déblai (m)	Profondeur du sondage (m)
SC1	172+300	10.337	20
SC2	177+250	7.566	15
SC3	178+450	7.890	15
SC4	180+400	9.062	15

c. Essais en laboratoire :

Les échantillons prélevés ont été soumis à une série d'essais en laboratoire pour caractériser leurs propriétés physiques et mécaniques :

- **Essais physiques** : densité naturelle, teneur en eau, limites d'Atterberg, granulométrie.
- **Essais mécaniques** :
  - **Pour les remblais** : essai œdométrique (compressibilité), essai de cisaillement (CD ou CC).
  - **Pour tous types de sol** : résistance au cisaillement, CBR, Proctor modifié.

Ces résultats servent de base pour dimensionner les talus, sélectionner les matériaux d'apport, et garantir la stabilité des terrassements en phase d'exploitation.

➢ **Investigation géotechnique pour les ouvrages d'art :**

I Essais in situ :

Pour les ouvrages d'art (ponts rails et passages supérieurs), les investigations sur le terrain sont réalisées comme suit :

- Sondages carottés de profondeur variable selon les contraintes géotechniques et la nature de l'ouvrage, avec installation de piézomètres**.**
- Sondages pressiométriques de 20 mètres de profondeur, avec essais réalisés tous les 2 mètres pour évaluer la déformabilité du sol.

II Essais de laboratoire :

Les échantillons recueillis font l'objet d'analyses physico-chimiques et mécaniques approfondies :

- **Essais physico-chimiques :**
  - Analyse granulométrique et sédimentométrique sur tous les échantillons.
  - Mesure des densités (sèche, humide, spécifique), teneur en eau naturelle (Wn) et degré de saturation (Sr).
  - Détermination des limites d'Atterberg : WL, WP et Ip.
  - Analyses chimiques sommaires pour évaluer l'**a**gressivité du sol vis-à-vis des matériaux des fondations.

- **Essais mécaniques :**
    - Essais de cisaillement (drainé et non drainé) pour déterminer la cohésion et l'angle de frottement, indispensables au calcul de la contrainte admissible.
    - Essais œdométriques pour caractériser la compressibilité et le gonflement des sols en profondeur.

Tableau V-7 : Investigations géotechniques pour les ouvrages d'art

Type d'ouvrage	PK	Type de sondage	Profondeur (m)
Pont Rail	175+250 à 176+275	4 SC01 + 6 Pr	20
Pont Rail	180+162	SC02 + 1 Pr	20
Pont Rail	182+214	SC03 + 1 Pr	20

- **Investigations pour les gîtes d'emprunt et carrières :**
- **Essais géotechniques sur les matériaux de carrière :**

Les matériaux extraits des carrières et gîtes d'emprunt identifiés le long du tracé du projet font l'objet d'une série d'essais géotechniques et mécaniques, afin d'évaluer leur aptitude à être utilisés dans les différentes couches de l'infrastructure ferroviaire.

Les essais réalisés sur les échantillons prélevés comprennent :

- Analyse granulométrique par tamisage.
- Limites d'Atterberg (limite de liquidité WL, indice de plasticité IP).
- Valeur au bleu de méthylène (VBS).
- Indice portant (CBR).
- Teneur en eau naturelle (W).
- Essais mécaniques : Micro-Deval humide (MDE), Los Angeles (LA).
- Équivalent de sable (ES).
- Proctor modifié : densité sèche maximale et optimum de compactage.

Tableau V-8 : Localisation de gîtes et carrières pour notre projet

Désignation	Localisation géographique	Nature géologique	Caractéristiques géotechniques principales	Utilisation possible
Carrière Oued M'GHILA	- Commune : LAYOUNE - Daira : KHEMISTI - Wilaya : TISSEMSILT - Située à l'Est de Layoune, le long de l'oued.	Tous venants d'oued (TVO)	- WL = 21 – 31 % - IP = 5 – 9 % - $CaCO_3$ = 2 – 18 % - >20 mm = 8 – 20 % - <80 µm = 4 – 7 % - VBS = 0.25 – 0.38 - CBR = 42 – 66 % à 100 % ; 20 – 35 % à 95 % - Proctor : 2.24 – 2.28 t/m³ - W = 4 – 7 %	Couche de fondation
Carrière BOUAICHE	- Commune : SIDI-ABED - Daira : AMMARI - Wilaya : TISSEMSILT - À 1.5 km de Sidi Abed, en bordure du CW06.	Calcaire marneux moyennement dur avec passées de marne	- WL = 28 – 31 % - IP = 9 – 12 % - $CaCO_3$ = 27 – 41 % - >20 mm = 22 – 31 % - <80 µm = 10 – 19 % - VBS = 0.16 – 0.35 - CBR = 42 – 74 % à 100 % ; 16 – 27 % à 95 % - Proctor : 2.11 – 2.22 t/m³ - W = 5 – 10 % - LA = 34 – 44 - MDE = 79 – 81	Remblai (nécessite traitement)

➢ **Campagne de reconnaissance géotechnique :**

- **Essais in situ :**

- **Puits de reconnaissance :**

Dans le cadre de l'étude géotechnique du tracé ferroviaire, des puits de reconnaissance ont été réalisés à l'aide d'une pelle rétro-mécanique dans des zones accessibles, jusqu'à une profondeur de 3 mètres. Ces puits permettent d'observer visuellement la nature des couches superficielles du sol, d'évaluer l'épaisseur de la terre végétale à décaper, et de prélever des échantillons remaniés pour des essais en laboratoire.

Un total de 15 puits a été réalisé sur le linéaire étudié. Le tableau ci-dessous présente la localisation (en PK mis à jour) et la description lithologique des couches rencontrées

Tableau V-9 : Les puits de reconnaissance et description lithologique

Puits n°	PK	Description lithologique
PU 1	170+000	0,00–0,30 m : Recouvrement gravelo-caillouteux avec galets et blocs
		0,30–0,50 m : Croûte calcaire dure
PU 2	171+100	0,00–0,30 m : Sable graveleux, peu caillouteux avec racines végétales
		0,30–1,00 m : Croûte calcaire assez dure à dure en profondeur
PU 3	172+600	0,00–0,20 m : Sable limoneux, graveleux avec galets en surface et racines végétales
		0,20–1,00 m : Sable gravelo-caillouteux avec galets
		1,00–3,00 m : Tufs sableux, graveleux, rosâtres
PU 4	174+100	0,00–0,35 m : Argile beige à jaunâtre
		0,35–0,80 m : Croûte calcaire, dure
		0,80–2,20 m : Tufs sableux, graveleux, rosâtres avec passages consolidés
PU 5	175+600	0,00–0,40 m : Argiles sablo-limoneuses, brunâtres à marrons
		0,40–0,80 m : Argile sableuse verdâtre à jaunâtre, avec galets
		0,80–3,00 m : Tufs sablo-graveleux, caillouteux par endroits, rosâtres
PU 6	177+100	0,00–0,30 m : Argiles sablo-limoneuses, brunâtres à marrons
		0,30–0,70 m : Croûte calcaire, assez dure
		0,70–3,00 m : Tufs sableux à graveleux, rosâtres
PU 7	178+600	0,00–0,30 m : Limons sableux marron
		0,30–0,70 m : Sable graveleux et grès désagrégé
		0,70–3,00 m : Grès carbonatés, à grains fins, beige
PU 8	180+100	0,00–0,20 m : Terre végétale argile silto-sableuse gris verdâtre à gravelles
		0,20–0,60 m : Dépôts de sable et grès désagrégés
		0,60–2,50 m : Grès carbonatés, beige, fragmentés

PU 9	181+600	0,00–0,30 m : Terre végétale argile silteuse marron jaunâtre plastique
		0,30–0,60 m : Argile silteuse marron jaunâtre gypsifère
		0,60–0,70 m : Argile silteuse grisâtre légèrement indurée
PU 10	182+100	0,00–0,20 m : Terre végétale argile silto-sableuse gris verdâtre à gravelles
		0,20–0,50 m : Croûte calcaire assez dure
		0,50–3,00 m : Argile silteuse verdâtre gypsifère à aspect feuilleté

- **Sondage carotté :**

Les sondages carottés constituent une méthode essentielle dans l'étude géotechnique, permettant d'obtenir une représentation précise de la stratigraphie du terrain. Contrairement aux sondages destructifs ou à la tarière, cette technique permet de prélever des carottes continues du sol, offrant ainsi une image fidèle de la succession des couches en place.

Ces carottes permettent non seulement d'identifier les différentes formations géologiques rencontrées, mais également de détecter la présence éventuelle de nappes ou venues d'eau. Les échantillons intacts recueillis sont ensuite acheminés au laboratoire pour y subir une série d'essais physiques et mécaniques (granulométrie, limites d'Atterberg, cisaillement, compressibilité, etc.), indispensables à la caractérisation du sol et à la définition des solutions de fondation adaptées.



Figure V-2 : Un exemple d'un sondage carotté

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V-10 : Les résultats de sondage carotté et la description lithologique

Sondage	PK	Profondeur (m)	Description lithologique
SC1	170+175	0.0 – 0.5	Terre végétale brune
		0.5 – 3.0	Tufs sableux, graveleux, très peu caillouteux, rougeâtres
		3.0 – 15.0	Argile verdâtre meuble renfermant des concrétions carbonatées à certains niveaux
SC2	172+300	0.0 – 0.2	Terre végétale brune
		0.2 – 12.0	Argile sableuse grise et compacte, devenant sable argileux compact à certains niveaux
		12.0 – 19.8	Galets centimétriques, hétérogènes, arrondis, dans une matrice argileuse verdâtre meuble
		19.8 – 20.0	Argile verdâtre
SC3	173+200	0.0 – 0.5	Terre végétale brune
		0.5 – 2.5	Argile sableuse avec fragments de roches consolidées
		2.5 – 3.5	Argile sableuse graveleuse brune, consolidée, avec tests de coquilles
		3.5 – 13.0	Galets centimétriques hétérogènes subarrondis, dans matrice argileuse brunâtre à base et argilo-sableuse verdâtre au sommet
		13.0 – 15.0	Argile verdâtre compacte
SC4	174+275	0.0 – 1.5	Fragments de grès dur et argilite dans matrice argilo-carbonatée brune
		1.5 – 5.0	Grès roux à grains fins à moyens, intercalations argileuses verdâtres
		5.0 – 10.5	Argile verdâtre compacte et consolidée avec intercalations de grès
		10.5 – 11.0	Grès roux à grains moyens intercalé par argile verdâtre
		11.0 – 14.5	Argile verdâtre compacte, puis argile carbonatée grisâtre avec niveaux de grès carbonaté à débris de bois
		14.5 – 16.5	Grès grisâtre dur alternant avec passes argilo-carbonatées

		16.5 – 20.0	Argile carbonatée gris bleuté avec passées gréseuses
SC5	175+450	0.0 – 0.2	Terre végétale brune
		0.2 – 1.5	Argile marronne à brune
		1.5 – 2.0	Argile verdâtre avec galets centimétriques et concrétions carbonatées
		2.0 – 8.0	Argile verdâtre meuble avec concrétions carbonatées
		8.0 – 18.0	Galets centimétriques hétérogènes dans matrice argileuse verdâtre
		18.0 – 20.0	Argile meuble vert foncé à la base, vert clair au sommet
SC6	176+275	0.0 – 2.0	Argile marronne à brune, avec concrétions carbonatées et fragments de roches consolidées
		2.0 – 10.0	Argile verdâtre meuble
SC7	178+900	0.0 – 2.0	Argile beige à jaunâtre avec fragments de grès
		2.0 – 15.0	Grès roux à grains fins à moyens, fissuré, graveleux entre 4.60 – 4.70 m, alternant avec passées d'argile verdâtre
SC8	180+400	0.0 – 1.0	Argile sableuse brunâtre à marron clair
		1.0 – 2.0	Argile sableuse verdâtre à jaunâtre, avec galets et concrétions carbonatées
		2.0 – 15.0	Argile gris bleuté à la base, verdâtre au sommet

V.3.2 SYNTHESE DE RESULTATS DE LABORATOIRE :

- **Humidité :**
  - **γs** : densité spécifique (t/m³)
  - **γh** : densité humide (t/m³)
  - **γd** : densité sèche (t/m³)
  - **W** : teneur en eau (%)
  - **Sr** : degré de saturation (%)

Tableau V-11 : Résultats de l'essai physique au laboratoire

Sondage	PK	Profondeur (m)	γs (T/m³)	γh (T/m³)	γd (T/m³)	W (%)	Sr (%)
SC1	170+175	9 – 10	2,56	1,87	1,78	5,3	28
SC2	172+300	9 – 9,3	2,61	2,04	1,73	17,7	84
SC3	173+200	2 – 2,3	2,53	2,37	2,19	8,1	94
SC4	174+275	5,3 – 6	–	2,15	1,86	15,6	93
SC5	175+450	4 – 4.2	–	1.95	1.57	23.9	90
SC6	176+275	3 – 4	2.55	2.03	1.76	15.4	78
SC7	178+900	5 – 5.5	2.55	2.06	1.82	13.2	75
SC8	180+400	9 – 10	2.53	2.18	2.04	6.9	58

- **Granulométrie par tamisage :**

Tableau V-12 : Résultats de l'essai Granulométrie par tamisage

Sondage	PK	Profondeur (m)	< 5 mm (%)	< 1 mm (%)	< 0.2 mm (%)	< 0.1 mm (%)	< 20 µm (%)	< 2 µm (%)
SC1	170+175	9 – 10	100	100	100	100	63	21
SC2	172+300	9 – 9,3	95	87	53	42	24	4
SC3	173+200	2 – 2,3	100	100	100	100	80	22
SC4	174+275	5,3 – 6	100	100	100	100	79	20
SC5	175+450	4 – 4.2	100	100	100	100	61	10
SC6	176+275	3 – 4	100	100	100	100	63	13
SC7	178+900	5 – 5.5	100	98	77	62	31	6
SC8	180+400	9 – 10	100	96	87	87	56	8

- **Limite d'Atterberg :**
  - **W_L :** Limite de liquidité
  - **W_P :** Limite de plasticité
  - **I_P :** Indice de plasticité

Tableau V-13 : Résultats des essais de limites d'Atterberg

Sondage	PK	Profondeur (m)	WL (%)	WP (%)	IP (%)
SC1	170+175	9 – 10	48,24	22,52	25,72
SC2	172+300	9 – 9,3	26,71	13,94	12,77
SC3	173+200	2 – 2,3	44,04	25,41	18,63
SC4	174+275	5,3 – 6	63,23	29,69	33,54
SC5	175+450	4 – 4.2	64.12	35.83	28.29
SC6	176+275	3 – 4	58.06	30.56	27.5
SC7	178+900	5 – 5.5	35.25	17.98	17.27
SC8	180+400	9 – 10	43.88	26.87	17.01

- **Essai de compressibilité à l'œdomètre :**
  - **PC** : pression de consolidation (bars)
  - **CC** : coefficient de compressibilité (%)
  - **CG** : coefficient de gonflement (%)

Tableau V-14 : résultats de l'essai de compressibilité à l'œdomètre

SONDAGE	PK	Prof (m)	PC (bars)	CC (%)	CG (%)	Interprétation
SC1	170+175	9 – 10	1,63	19,77	12,15	Sol sur consolidé, moyennement compressible et gonflement
SC2	172+300	9 – 9,3	1,55	17,98	7,65	Sol sous consolidé, assez compressible et gonflement
SC3	173+200	2 – 2,3	1,97	20,13	13,22	Sol sur consolidé, moyennement compressible et gonflement
SC4	174+275	5,3 – 6	2,44	19,03	11,33	Sol sur consolidé, moyennement compressible et gonflement
SC5	175+450	4 – 4.2	2.57	21.94	10.68	Sol sur consolidé, moyennement compressible et gonflement
SC6	176+275	3 – 4	2.28	17.06	11.84	Sol sur consolidé, moyennement compressible et gonflement
SC7	178+900	5 – 5.5	2.16	27.42	7.46	Sol sur consolidé, assez compressible et gonflement
SC8	180+400	9 – 10	0.96	21.13	4.93	Sol sous consolidé, assez compressible et gonflement

- **Essai de cisaillement rectiligne :**
  - Cu : Cohésion effective (bars)
  - φu : Angle de frottement effectif (°)

Tableau V-15 : Résultats de l'essais de cisaillement

SONDAGE	PK	Prof (m)	Cu (kg/cm²)	φu (°)
SC1	170+175	9 – 10	0,25	4,11
SC2	172+300	9 – 9,3	0,19	3,07
SC3	173+200	2 – 2,3	0,27	5,44
SC4	174+275	5,3 – 6	0,24	6,87
SC5	175+450	4 – 4.2	0,26	5,01
SC6	176+275	3 – 4	0,26	5,31
SC7	178+900	5 – 5.5	0,6	4,37
SC8	180+400	9 – 10	0,28	2,38

- **Interprétation des résultats des puits de reconnaissance :**

Le tableau suivant donne les valeurs minimales, maximales des paramètres géotechniques obtenus sur les échantillons des formations traversés par le tracé de la ligne ferroviaire.

Tableau V-16 : Interprétation des résultats de puis de reconnaissance

Paramètres géotechniques		Min	Max
Teneur en eau	W%	10.44	27,83
Granulométrie	< 80 µ (%)	57.5	95.73
Limite d'Atterberg	WL (%)	26.43	72.40
	IP (%)	12.24	33.24
Bleu Méthylène	VBS	0.14	1,11
Proctor Normal	γd	1,57	2.08
	WOPM	10.44	20.1

V.3.3 CLASSIFICATION DU SOL SELON UIC719R ET LA NORME NFP 11-300 :

La classification des sols de la plate-forme a été réalisée conformément aux recommandations de l'Union Internationale des Chemins de Fer (UIC), plus précisément selon la fiche UIC 719R. Cette classification repose sur les caractéristiques géotechniques des sols, ainsi que sur les conditions hydrauliques et hydrogéologiques locales.

Conformément à la méthodologie de l'UIC, l'évaluation passe tout d'abord par une classification des sols selon la norme française NFP 11-300, qui définit les classes de sol support en fonction de leurs propriétés mécaniques et de leur comportement à l'eau.

La démarche de classification tient également compte :

- de la fréquence et de la nature du trafic ferroviaire prévu,
- de la charge nominale par essieu,
- du type de travelage retenu pour le projet,
- de l'espacement entre traverses.

Dans le cadre de cette étude, la classification des sols support a été établie à partir :

- des résultats des essais géotechniques en laboratoire,
- des prescriptions de l'UIC 719F-194b, en particulier les chapitres :
  - Classes de qualité de sol,
  - Portance des plates-formes.

V.3.4 RESULTAT DE LA CLASSIFICATION :

Selon les résultats obtenus et l'application de la norme NFP 11-300, les sols de la plate-forme le long du tracé sont majoritairement classés en classe C, avec une sous-classe C1A1m,s**.**

D'après la fiche UIC 719R, cette classification correspond globalement à une qualité de sol de type QS1.

V.4 CONCLUSION :

À la lumière des essais in situ et des essais en laboratoire réalisés tout au long du projet, on peut conclure que les sols de la plate-forme appartiennent à la classe QS1.

Cette classification permet de dimensionner de manière appropriée la structure d'assise, conformément aux exigences techniques associées à cette qualité de sol.

Chapitre VI : L'Assise Ferroviaire

VI Chapitre VI : l'Assise Ferroviaire

VI.1 INTRODUCTION :

L'assise ferroviaire constitue la base fondamentale sur laquelle repose l'ensemble de la structure de la voie ferrée. Elle joue un rôle central dans la stabilité, la durabilité et la sécurité du réseau ferroviaire, en assurant une transmission optimale des charges vers le sol naturel. Conçue pour résister aux sollicitations dynamiques et statiques générées par le passage des trains, elle se compose généralement de plusieurs couches de matériaux soigneusement sélectionnés, traités et compactés, parmi lesquelles figurent le ballast, la sous-couche et la plateforme de fondation.

Chacune de ces couches remplit une fonction précise : le ballast stabilise les traverses, facilite le drainage des eaux et amortit les vibrations ; la sous-couche répartit uniformément les charges et limite les déformations ; la plateforme de fondation assure quant à elle la transition vers le sol en supportant l'ensemble de la superstructure.

L'ingénierie de l'assise ferroviaire repose sur une analyse rigoureuse des propriétés géotechniques du sol, des conditions climatiques locales et des contraintes liées au trafic ferroviaire telles que la charge des convois ou leur fréquence. Ainsi, une conception adaptée et bien dimensionnée de l'assise constitue un élément clé pour garantir la fiabilité, la performance et la longévité de l'infrastructure ferroviaire.

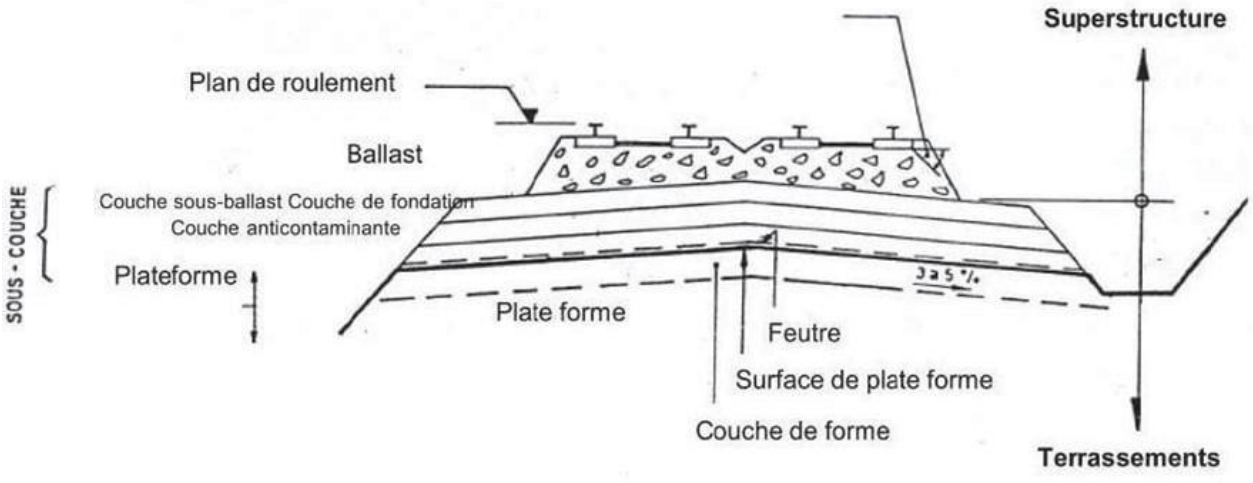


Figure VI-1 : Schéma de profil en travers de l'assise ferroviaire

VI.2 COMPOSITION DE LA STRUCTURE D'ASSISE :

Les couches d'assise jouent un rôle essentiel dans le maintien de la voie ferrée, en assurant à la fois la stabilité structurelle, le nivellement et le drainage efficace de la plateforme. L'épaisseur et la composition de ces couches sont déterminées par plusieurs facteurs clés :

- Propriétés des sols de la plateforme : La nature du sol, sa portance, ainsi que sa sensibilité à l'humidité et au gel influencent directement le choix des matériaux et l'épaisseur des couches d'assise.

- Caractéristiques générales du site : Les conditions hydrogéologiques et géotechniques du site conditionnent la structure des couches pour garantir une répartition uniforme des charges.
- Climat local : Les variations de température, les précipitations et le risque de gel/dégel doivent être pris en compte pour prévenir les phénomènes de tassement ou de soulèvement des couches d'assise.
- Trafic ferroviaire : Les charges à l'essieu, la fréquence des passages et la vitesse des trains déterminent le dimensionnement des couches d'assise afin de résister aux sollicitations dynamiques.
- Infrastructure ferroviaire : Le type de rails, le modèle et l'espacement des traverses influencent également la conception des couches d'assise pour maintenir l'intégrité structurelle de la voie.

VI.2.1 LA SOUS-COUCHE :

La sous-couche ferroviaire est une composante essentielle de la structure de l'assise, située entre la plateforme de fondation et le ballast. Elle joue un rôle clé dans la répartition des charges et le maintien de la stabilité de la voie**,** tout en contribuant à la durabilité de l'infrastructure ferroviaire.

I Rôle de la sous-couche :

- Répartition des charges : La sous-couche permet de diffuser uniformément les charges verticales générées par le passage des trains, réduisant ainsi les contraintes exercées sur le sol naturel.
- Stabilisation de la plateforme **:** Elle améliore la portance du sol, réduisant les risques de tassement différentiel et de déformation de la voie.
- Drainage des eaux : La sous-couche assure un écoulement optimal des eaux pluviales**,** limitant ainsi l'accumulation d'eau et le risque d'inondation de la plateforme.
- Isolation thermique : Elle protège contre les phénomènes de gel et de dégel, en empêchant l'infiltration de l'eau dans la couche inférieure et en maintenant la stabilité de la structure.

II Composition de la sous-couche :

- **Sous-ballast :**

Le sous-ballast est une couche constituée de grave bien graduée (0/31,5 mm), comportant au moins 30 % de matériau concassé. Cette couche est compactée à 100 % de l'OPN (Optimum Proctor Normal) afin d'assurer une densité maximale. Elle est utilisée de manière systématique, y compris sur des plateformes rocheuses, afin d'obtenir une surface homogène.

Rôle :

- Égalisation de la surface pour corriger les irrégularités de la plateforme.
- Amortissement des charges pour réduire les contraintes appliquées à la plateforme.

- **Couche de fondation :**

La couche de fondation est composée de graves bien graduées, compactées à 100 % de l'OPM (Optimum Proctor Modifié) et ayant une épaisseur minimale de 15 cm. Elle est conçue pour améliorer la portance globale de la plateforme et faciliter la circulation des engins de chantier.

Rôle :

- Renforcement de la portance pour supporter les charges ferroviaires.
- Facilitation de la circulation des engins pendant les travaux.

Remarque : Non requise sur les sols naturellement portants de classe QS3.

- **Couche anti-contaminant :**

La couche anti-contaminant est constituée de sable propre, parfois renforcé par une feuille de géotextile. Cette couche est utilisée uniquement sur des plateformes de classe P1, c'est-à-dire des sols très sensibles à l'humidité ou aux contaminations par des fines.

Rôle :

- Drainage des eaux à la surface de la plateforme.
- Protection contre la contamination par les fines du sol.

Remarque : Utilisée uniquement sur des plateformes de classe P1.

VI.3 LA PLATEFORME FERROVIAIRE :

La plateforme ferroviaire constitue la couche supérieure de l'infrastructure en terre sur laquelle repose la sous-couche. Elle peut être réalisée à partir de terres rapportées en remblai ou du sol naturel en déblai, selon les conditions topographiques.

La plateforme joue un rôle essentiel dans le fonctionnement et la durabilité de la voie ferrée, en assurant plusieurs fonctions :

- Répartition des charges : Elle diffuse les charges appliquées par la superstructure de manière uniforme afin de limiter les tassements différés.
- Gestion des eaux : Elle permet d'évacuer les eaux de ruissellement vers le système de drainage, prévenant ainsi les infiltrations.
- Protection contre la contamination : Elle empêche les fines du sol naturel (limons et argiles) de remonter dans le ballast et de déstabiliser la structure.
- Absorption des vibrations : Elle amortit les vibrations induites par le passage des trains, limitant ainsi l'impact des sollicitations dynamiques.
- Gestion des eaux souterraines : Elle contribue à abaisser le niveau des eaux afin de protéger les couches supérieures contre l'humidité.

Pour évaluer la performance de la plateforme, deux analyses sont nécessaires :

- Caractérisation des sols individuels : Analyse des propriétés mécaniques et hydrauliques des matériaux constitutifs de la plateforme.
- Évaluation globale de la plateforme : Étude de l'interaction entre la couche de forme et le sol sous-jacent pour garantir une base homogène et stable.

Ainsi, une plateforme bien conçue permet de stabiliser l'infrastructure ferroviaire tout en assurant un drainage efficace et une répartition homogène des charges.

VI.3.1 QUALITÉ DES SOLS ET CLASSIFICATION DES PLATEFORMES (UIC 719R) :

Dans le cadre du dimensionnement de l'assise ferroviaire, la qualité du sol de la plateforme joue un rôle déterminant. Selon la norme UIC 719R, les sols sont classés selon leur portance en différentes catégories, ce qui permet de déterminer les exigences de renforcement et les épaisseurs nécessaires des couches d'assise.

VI.3.2 CLASSES DE PLATEFORME SELON LEUR PORTANCE :

Il existe trois catégories principales de plateformes, définies en fonction de leur capacité portante :

- **P1 :** Plateforme de mauvaise qualité, nécessitant des renforcements ou des mesures spéciales.
- **P2 :** Plateforme de qualité moyenne**,** pouvant convenir à une structure standard avec des adaptations modérées.
- **P3 :** Plateforme de bonne qualité, offrant une portance suffisante pour accueillir la superstructure sans traitement particulier.

La classification des plateformes en fonction des classes de portance permet de choisir les sols adaptés et de définir les mesures nécessaires pour assurer une construction conforme aux charges d'exploitation prévues.

Le tableau suivant présente les épaisseurs recommandées de la couche de forme, en fonction de la qualité du sol support et de la classe de portance attribuée à la plateforme. Cette approche permet de garantir la stabilité, la durabilité et la performance mécanique de l'infrastructure ferroviaire.

Tableau VI-1 : Epaisseur de la CDF selon la qualité du sol support et la classe de portance.

Qualité du sol support	Classe de la plate-forme	Couche de forme	
		Qualité	Epaisseur min (m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.50
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.50
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

VI.3.3 CLASSIFICATION DES SOLS SELON UIC (UIC 719R) :

Tableau VI-2 Les différentes qualités du sol selon (UIC 719R).

Classe	Qualité du sol	Définition
QS0	Sols inadaptés	Sols impropres à la réalisation d'une plateforme stable. Ils nécessitent des mesures de renforcement importantes (ex. : substitution, traitement aux liants hydrauliques, géotextiles ou pieux). Ces sols ne sont pas pris en compte dans le calcul standard des couches d'assise.
QS1	Mauvais sols	Sols acceptables mais peu portants. Ils nécessitent une attention particulière au drainage, et peuvent être améliorés par traitement (par exemple, stabilisation au ciment ou à la chaux).
QS2	Sols moyens	Sols présentant une portance intermédiaire, généralement utilisables sans traitement lourd mais pouvant nécessiter un renforcement modéré.
QS3	Bons sols	Sols naturellement portants, adaptés à la réalisation de la plateforme sans mesures spécifiques de renforcement. Ils permettent une mise en œuvre directe des couches d'assise.

Cette classification permet d'adapter le type de plateforme et le traitement du sol aux caractéristiques du terrain, garantissant ainsi la stabilité et la longévité de la voie ferrée.

VI.3.4 ÉPAISSEUR DE LA COUCHE D'ASSISE :

L'épaisseur totale de la couche d'assise, notée **e**, est déterminée à partir d'une formule issue des recommandations de la norme UIC 719R (page 30) :

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

Chaque terme de cette formule représente un facteur d'ajustement lié aux caractéristiques techniques et aux conditions spécifiques du projet ferroviaire.

Tableau VI-3 : Les paramètres de dimensionnement E, a, b, c, d, f et g

Paramètres de dimensionnement	Valeurs	Conditions
E	E=0.70m E=0.55m E=0.45m	➢ pour les plateformes de classe de portance P1. ➢ pour les plateformes de classe de portance P2. ➢ pour les plateformes de classe de portance P3.
a	a= 0 m a= -0.05m a= -0.10 m a= -0.15 m	➢ pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V ≥ 160 km/h quel que soit le - groupe UIC) ➢ pour les groupes UIC 3 et 4 ➢ pour les groupes UIC 5, 6 et 7, 8, 9 avec voyageurs ➢ pour les groupes UIC 7, 8, 9 sans voyageurs
b	b=0 b= (2.5-L)/2	➢ pour les traverses bois de longueur 2.60m. ➢ pour les traverses béton de longueur L.
c	c=0 c=0.1m c= 0.05m	➢ pour un dimensionnement normal ➢ à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC "7, 8, 9 sans voyageur" ➢à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que"7, 8, 9 sans voyageurs"
d	d= 0 d= +0.05m d= +0.10m	➢ lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 KN ➢ lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN ➢ lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 KN
f	f=0 f=0.05m f= 0.10m	➢ pour toutes les lignes à V ≤ 1 60 km/h et pour les plates-formes de portance PF3 des lignes à grande vitesse. ➢pour les plates-formes de classe de portance PF2 des lignes à grande vitesse. ➢ pour les plates-formes de classe de portance PF1 des lignes à grande vitesse
g	g=+géotextile g=0 (pas de geotextile)	➢ lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2. ➢lorsque la couche de forme est en sol QS3.

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

L'épaisseur minimale de l'assise (incluant le ballast et la sous-couche) est déterminée en fonction de plusieurs paramètres essentiels :

- La classe de portance de la plateforme, qui reflète la capacité du sol à supporter les charges ;
- Le type d'armement de la voie, notamment les rails et les traverses utilisés ;
- Les caractéristiques du trafic ferroviaire, telles que la charge à l'essieu, la fréquence de passage et la vitesse des trains.

VI.4 CHOIX DE LA COUCHE DE FORME :

L'analyse géotechnique réalisée le long du tracé a révélé que le sol naturel appartient à la classe QS1, ce qui signifie une faible portance et donc une aptitude limitée à supporter directement les charges ferroviaires. Afin d'atteindre une plateforme de classe P3 (bonne portance), il a été décidé de renforcer le sol par l'ajout d'une couche de forme constituée de matériau de classe QS3, reconnu pour ses bonnes caractéristiques mécaniques.

Selon les recommandations issues du tableau de dimensionnement, une épaisseur de 50 cm de couche de forme serait nécessaire pour garantir la portance exigée. Toutefois, pour optimiser les coûts de construction, une solution technique alternative a été adoptée. Elle consiste à appliquer une couche de forme réduite à 35 cm, reposant sur une plateforme structurée (PST) d'1 mètre d'épaisseur réalisée avec un sol de qualité QS3.

Cette approche permet à la fois de respecter les exigences de stabilité de la plateforme et de réduire les volumes de matériaux utilisés, tout en maintenant la performance mécanique attendue.

VI.5 CALCULS DE L'ÉPAISSEUR DE LA COUCHE D'ASSISE :

Sols moyens donc la classe de qualité du sol est QS1

- E = 0,45 m pour une plate-forme de classe de portance P3
- a = -0.10 pour un ligne de groupe UIC 5.
- pour les traverses béton de longueur L : $b = \frac{2,5-L}{2}$
- On a : L = 2,24m => $b = \frac{2,5-2,24}{2} = 0,13m$

➢ b = 0,13m

- c = 0 pour un dimensionnement normal
- d = 0 La charge maximale d'essieu des véhicules remorqués est 200 KN

- f = 0 pour toutes les lignes à V ≤ 160 km/h et pour les plates-formes de portance PF3 des lignes à grande vitesse.
- pas de géotextile g = 0**,** la couche de forme est en sol QS3.

Calcul de l'épaisseur :

$$\boldsymbol{e = E + a + b + c + d + f + g = 0,45 - 0.10 + 0,13 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0,48\, m}$$

Donc Nous avons pris **e = 50cm**

VI.5.1 CALCUL DE L'ÉPAISSEUR DU BALLAST :

Conformément aux recommandations de la fiche UIC 719 R, l'épaisseur du ballast dépend notamment de la vitesse d'exploitation de la ligne.

Dans notre cas, la vitesse prévue étant de 160 km/h, soit une valeur située dans l'intervalle 120 à 200 km/h.

L'épaisseur de ballast requise est fixée à 0,30 mètre.

VI.6 RÉSUMÉ :

L'assise ferroviaire retenue pour notre projet est constituée des éléments suivants :

- Ballast : 30 cm
- Sous-Couche : 20 cm
- Couche de forme (QS3) : 50 cm, compactée à 100 % de la densité sèche correspondant à l'optimum Proctor normal.

Épaisseur totale de l'assise : **1,10 m**

Tableau VI-4 : L'épaisseur des différentes couches

Couche	Epaisseur (cm)	Matériaux
Ballast	30	Ballast 25/50 mm
Sous-Couche	20	Grave bien gradué 0/31.5 mm
Couche de forme	50	GNT

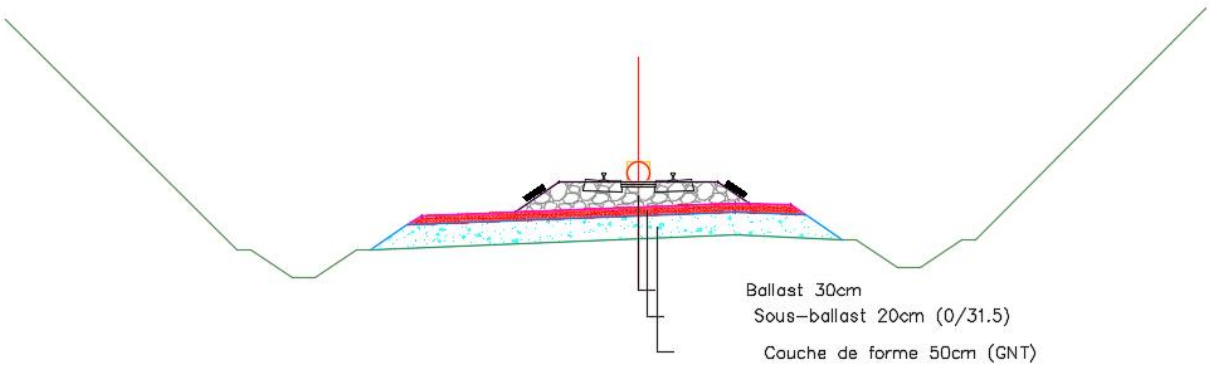


Figure VI-2 : Les composants de la structure d'assise

VI.7 CONCLUSION :

À l'issue de ce dimensionnement, les épaisseurs et la structure des différentes couches constituant l'assise ferroviaire ont été définies de manière précise.

Cette composition permet de supporter les charges transmises par le matériel roulant, d'assurer un drainage efficace des eaux, et de protéger durablement le sol support.

Elle constitue ainsi une base technique solide, répondant aux exigences de performance, de sécurité et de pérennité de la voie ferrée.

Chapitre VII : Terrassement et Ouvrages d'Art

VII Chapitre VII : Terrassement et Ouvrages d'Art

VII.1 INTRODUCTION :

Dans tout projet ferroviaire, les travaux de terrassement et les ouvrages d'art jouent un rôle fondamental. Ils ne se résument pas à de simples constructions, mais forment la base solide sur laquelle repose toute la structure de la voie ferrée. Ce chapitre présente ces éléments essentiels en expliquant les différentes étapes nécessaires à leur réalisation, les techniques utilisées, ainsi que les contraintes liées au sol et à l'environnement. Le terrassement, par exemple, permet de modeler le terrain pour accueillir la voie en toute sécurité, tandis que les ouvrages d'art comme les ponts permettent de franchir des obstacles naturels (rivières, vallées…) ou humains (routes, habitations…). Une bonne maîtrise de ces travaux est donc indispensable pour garantir la stabilité, la durabilité et la continuité du tracé ferroviaire.

VII.2 TERRASSEMENT :

Les travaux de terrassement constituent une étape fondamentale dans la construction d'une ligne ferroviaire. Ils permettent de modeler le terrain naturel afin d'obtenir une plateforme stable et conforme au profil en long du tracé ferroviaire. Cette opération est essentielle pour assurer la stabilité, la durabilité et la sécurité de l'infrastructure.

Les terrassements consistent principalement en deux types d'opérations :

- Le déblai, qui consiste à retirer des matériaux du sol pour abaisser le terrain lorsque le relief est trop élevé.
- Le remblai, qui consiste à ajouter des matériaux pour élever le terrain lorsqu'il est trop bas.

Lorsque ces deux types d'opérations sont combinés, on parle d'un équilibre déblais/remblais, qui vise à optimiser les volumes déplacés sur le chantier.

Un autre élément important est la création de talus, qui sont des pentes inclinées formées par le déblai ou le remblai. Leur stabilité doit être étudiée avec soin pour éviter tout glissement ou érosion. Des mesures de protection peuvent être mises en place, comme des enrochements ou des systèmes de drainage.

Les terrassements se déroulent généralement en trois étapes principales :

- L'extraction des matériaux (terre, roche, etc.) à l'aide d'engins spécifiques.
- Le transport des matériaux vers les zones de remblai ou les dépôts.
- La mise en œuvre, c'est-à-dire l'étalement, le compactage et la mise en forme des matériaux selon les pentes et les dimensions prévues.

La réussite des terrassements dépend de plusieurs facteurs : la nature du sol, les conditions climatiques, la topographie, ainsi que le respect des normes techniques. Un bon terrassement garantit une assise stable pour les couches suivantes de la voie ferrée.

VII.2.1 LES OUVRAGES EN TERRE :

L'étude et le contrôle de l'exécution des ouvrages en terre requièrent une attention rigoureuse afin de garantir le bon comportement dynamique de l'ensemble constitué du véhicule, de la voie, du ballast et des ouvrages en terre. Cela permet d'assurer une interaction correcte entre la roue et le rail, en maintenant les efforts à un niveau acceptable pour préserver la stabilité et la sécurité de l'infrastructure ferroviaire.

VII.2.1.1 EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES DES OUVRAGES EN TERRE :

Pour que les ouvrages en terre s'intègrent bien dans leur environnement, il faut suivre quelques règles importantes liées à la protection de la nature :

- **Choix des matériaux** :

Il est important de choisir des matériaux (surtout ceux en surface) qui respectent la nature. Ils doivent être compatibles avec l'environnement local, ne pas nuire à la végétation ni à la biodiversité.

- **Effets sur les eaux souterraines** :

Il faut étudier comment l'ouvrage va interagir avec les nappes d'eau souterraine, pour éviter de perturber les ressources en eau ou les milieux aquatiques.

- **Protection du patrimoine archéologique** :

Avant de commencer les travaux, il est nécessaire de vérifier s'il y a des vestiges archéologiques sur le site. Si c'est le cas, il faudra prendre des mesures pour les protéger.

VII.2.1.2 CONDITION DE RÉALISATION DES REMBLAIS :

Pour assurer une qualité optimale, ainsi qu'une bonne stabilité et durabilité de la couche de remblai, plusieurs conditions doivent être respectées :

- Retirer la terre végétale avant le début des travaux pour éviter tout affaissement futur.
- Réaliser le remblai par couches successives d'environ 30 cm d'épaisseur.
- Compacter chaque couche à l'aide de matériel adapté, afin de garantir une bonne densité.
- Employer des matériaux appropriés répondant aux critères techniques requis.
- Aménager une pente transversale minimale de 4 % pour assurer un bon écoulement des eaux de pluie.
- Respecter les recommandations géotechniques ainsi que les normes en vigueur en matière de terrassement.

VII.2.1.3 CONDITIONS D'EXCAVATION DES DEBLAIS :

L'excavation des déblais doit respecter plusieurs règles pour assurer la sécurité des personnes, la qualité des travaux et la protection de l'environnement. Voici les principales conditions à suivre :

- Identifier les caractéristiques du sol avant de commencer les travaux (nature du terrain, résistance, humidité).
- Retirer la couche végétale pour préparer le terrain à l'excavation.
- Repérer et éviter les réseaux enterrés comme les câbles électriques, les canalisations ou les conduites de gaz.
- Marquer clairement la zone d'excavation pour éviter les accidents.
- Stabiliser les talus et les parois pour prévenir les éboulements ou les glissements de terrain.
- Utiliser des engins de terrassement adaptés au type de sol et au volume à excaver.
- Mettre en place un système de drainage pour évacuer les eaux de pluie ou les eaux souterraines.
- Évacuer les déblais avec du matériel approprié pour garantir la sécurité sur le chantier.
- Vérifier régulièrement l'état du chantier et adapter les travaux si nécessaire.
- Respecter les consignes de sécurité pour protéger les ouvriers et limiter les risques.

VII.2.2 STABILITÉ DES TALUS :

La stabilité des talus concerne la capacité d'une pente à rester en place sans bouger ni s'effondrer. Cela est essentiel pour la sécurité et la durabilité de certaines infrastructures, comme les routes, les voies ferrées ou les ouvrages hydrauliques.

Voici quelques facteurs qui influencent la stabilité des talus :

- Le type de sol ou de roche : les propriétés du terrain (argile, sable, roche...) jouent un rôle important dans la stabilité.
- Les conditions hydrologiques : la présence d'eau dans le sol peut réduire sa cohésion et favoriser les glissements.
- L'inclinaison et la hauteur du talus : plus la pente est raide et haute, plus le risque d'instabilité est grand.

Pourquoi la stabilité est-elle importante ?

- Pour la sécurité : elle permet d'éviter les glissements de terrain ou les effondrements, qui peuvent être dangereux pour les personnes et les ouvrages.
- Pour la durabilité : un talus stable permet de garder les infrastructures solides et en bon état pendant longtemps.
- Pour la gestion des risques : cela permet de limiter les coûts liés à des réparations ou à des interventions d'urgence après un affaissement.

VII.2.3 TASSEMENT :

Lors de l'évaluation des tassements des remblais, il est essentiel de garantir que les tassements prévus après mise en service restent contrôlés. En présence de sols sensibles à l'eau ou au gel, ou en cas d'hydrologie défavorable, des mesures spécifiques doivent être prises pour assurer la stabilité et la durabilité des remblais :

- Protéger les remblais en appliquant une couche de sol de meilleure qualité.
- Installer des drains verticaux pour accélérer la consolidation.
- Éliminer les sols compressibles du support lorsque leur profondeur est limitée.

VII.2.4 PENTES ET TALUS :

Pour garantir la sécurité et la stabilité globale de la construction, des études géotechniques sont réalisées afin de définir la pente optimale du talus. Cette détermination dépend de plusieurs facteurs, notamment :

- les caractéristiques géotechniques des sols,
- la hauteur de l'ouvrage,
- la configuration topographique du site et les risques naturels associés.

Les pentes des talus sont généralement exprimées en fractions base (V) sur hauteur (H). Selon les référentiels techniques, les pentes courantes sont les suivantes :

- En déblai : 1/4, 1/2, 2/3, 1/1, 3/2, 2/1, 2,5/1 et 3/1.
- En remblai : 3/2, 2/1 (1/1 ou 1/1,25 dans le cas d'un réseau rocheux).

Pour notre projet d'étude on a pris :

- En remblai : 3/2
- En déblai : 2/1

VII.2.5 COMPACTAGE :

Le compactage est une étape essentielle pour garantir la qualité des ouvrages en terre. Les taux de compactage dépendent de la nature du sol, du type de compacteur utilisé ainsi que de l'humidité du sol. Il est important de déterminer précisément l'épaisseur des couches à compacter et l'énergie de compactage nécessaire.

Certaines mesures spécifiques, telles que l'arrosage ou l'essorage du sol, peuvent être recommandées afin d'optimiser le processus de compactage. En respectant ces paramètres et en appliquant les techniques appropriées, on assure un compactage optimal, contribuant ainsi à la qualité et à la durabilité des ouvrages en terre.

VII.3 LES OUVRAGES :

Pour que le tracé de notre projet d'étude réponde aux exigences techniques et économiques, il doit intégrer les ouvrages suivants :

- Les ouvrages hydrauliques
- Les passages inférieurs
- Les passages supérieurs

VII.3.1 INFLUENCE SUR LE CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE :

Le choix du type d'ouvrage est influencé par diverses contraintes qui peuvent être regroupées en deux grandes catégories :

- **Contraintes liées aux données naturelles** : Elles concernent notamment l'écoulement des eaux, la nature du sol, et d'autres caractéristiques environnementales. Ces éléments influencent le choix de l'ouvrage afin d'en assurer la stabilité, la durabilité et la résistance face aux conditions spécifiques du site.
- **Contraintes techniques** : Elles comprennent des critères tels que la portée, le programme de charge, le gabarit, etc. Ces exigences sont essentielles pour garantir la fonctionnalité et la sécurité de l'ouvrage.

Par ailleurs, certaines contraintes dimensionnelles et fonctionnelles jouent un rôle déterminant dans le choix du type d'ouvrage. Il est ainsi important de prendre en compte l'obstacle à franchir, le respect du gabarit, le tirant d'eau, l'intégration architecturale à la région, ainsi que la protection des structures existantes.

En intégrant l'ensemble de ces contraintes, le choix du type d'ouvrage sera orienté de manière à assurer la fonctionnalité, la sécurité et une intégration harmonieuse de la nouvelle infrastructure dans son environnement.

VII.3.2 LES OUVRAGES DE NOTRE PROJET :

A. Rétablissement routier :

Compte tenu que la future ligne ferroviaire reliant Tiaret à Tissemsilt, du PK 170 au PK 182, sera conçue pour une vitesse de 160 km/h, il est impératif de supprimer tous les passages à niveau. Pour assurer la continuité des pistes supprimées et des routes traversées par la ligne, il sera nécessaire de prévoir des passages supérieurs ou inférieurs, en fonction de la topographie locale. Ces aménagements permettront un franchissement sécurisé des voies ferrées tout en garantissant la continuité des infrastructures routières.

Les rétablissements des voiries existantes sont étudiés conformément aux normes « B40 : normes techniques d'aménagement des routes en Algérie », en tenant compte du type de voirie, de la vitesse de conception, du tracé en plan et du profil en long.

Un passage inférieur doit respecter une hauteur libre minimale de :

- 5,25 mètres pour une route nationale (RN) ou un chemin de wilaya (CW) ;
- 4,0 mètres pour une piste.

Le tableau suivant présente un récapitulatif des rétablissements des voiries et des types d'ouvrages d'art (OA) proposés le long de la nouvelle ligne.

- **Pistes à supprimer :**

Pour des raisons citées ci-dessus, on a supprimé les pistes respectivement au pk 171+206, 171+641, 172+515, 173+404, 174+097, 178+468

B. Les ouvrages hydrauliques :

Pour les écoulements d'eau, des buses et des dalots et un pont rail ont été prévus pour assurer une traversée sécurisée des cours d'eau.

Tableau VII-1 : Liste des ouvrages projetés

Obstacles à franchir	PK de l'ouvrage	Ouvrage d'art
Oued Nehr Wassel	De 175+250 à 176+275	Pont rail
RN 14	180+162	Pont rail
RN 19	182+214	Pont rail

Obstacle à franchir	PK de l'ouvrage	Ouvrage projeté	Dimensions
Écoulement 1	171+299	Dalot	2x2
Écoulement 2	171+607	Buse	Φ1500
Écoulement 3	171+951	Buse	Φ1500
Écoulement 4	176+866	Dalot	2,5x2,5
Écoulement 5	178+900	Dalot	2,5x2
Écoulement 6	179+704	Dalot	2,5x2
Écoulement 7	180+932	Dalot	2x2
Écoulement 8	181+389	Dalot	2.5x2.5
Écoulement 9	181+878	Dalot	3x3

VII.4 CONCLUSION :

À l'issue de ce chapitre, nous soulignons l'importance cruciale des opérations de terrassement et de la réalisation des ouvrages d'art, qui constituent des éléments fondamentaux pour la réussite de tout projet ferroviaire. Ces travaux requièrent une approche rigoureuse, méthodique, ainsi qu'une collaboration étroite entre les différents intervenants.

Le respect strict de ces étapes essentielles garantit la mise en place d'un réseau ferroviaire sûr, fiable et performant. En investissant dans la qualité des terrassements et des ouvrages d'art, on contribue à la création d'une infrastructure ferroviaire durable, apte à répondre aux exigences croissantes en matière de mobilité et de connectivité de notre société moderne.

Chapitre VIII : Profil en Travers Type

VIII Chapitre VIII : Profils en Travers Type

VIII.1 INTRODUCTION :

Le profil en travers constitue un élément essentiel dans la conception des infrastructures ferroviaires. Il représente une coupe verticale perpendiculaire à l'axe de la voie, généralement dessinée à l'échelle **1/100**, et illustre la configuration transversale de l'ensemble des composants de la voie : rails, traverses, ballast, sous-couche et plateforme**.**

Ce profil joue un rôle fondamental dans la répartition des charges**,** la stabilité de la voie**,** le drainage des eaux et la facilité de maintenance à long terme. Un dimensionnement précis et un agencement correct des différentes couches permettent de garantir que la voie peut supporter les sollicitations dynamiques induites par la circulation des trains, tout en maintenant un alignement et un nivellement optimaux**.**

Le profil en travers doit être conçu en tenant compte les caractéristiques géotechniques du sol naturel**,** les contraintes hydrogéologiques**,** les exigences de sécurité**,** et les performances attendues du trafic ferroviaire.

Ainsi, l'étude et la mise en œuvre du profil en travers représentent une étape clé pour assurer la durabilité, la fiabilité et l'efficacité des infrastructures ferroviaires, tout en répondant aux spécificités de chaque projet.

VIII.2 LES ÉLEMÉNTS DE PROFIL EN TRAVERS :

Le profil en travers d'une voie ferrée comprend l'ensemble des composants qui, en interaction, assurent la stabilité, la durabilité et la fonctionnalité de l'infrastructure. Ces éléments sont répartis en plusieurs catégories :

VIII.2.1 LA SUPERSTRUCTURE :

La superstructure regroupe les éléments directement liés à la voie ferrée elle-même :

- **Type de rail** : Modèle et section du rail utilisé (ex. : UIC 60).
- **Écartement de la voie** : Distance entre les faces internes des deux rails (généralement 1435mm pour l'écartement standard).
- **Entraxe des voies** : Distance entre les axes dans le cas de voies doubles ou multiples.
- **Type de traverses** : Nature et dimensions des traverses (béton, bois, acier…).
- **Dévers maximal en courbe** : Inclinaison maximale des rails pour compenser les forces centrifuges dans les courbes.
- **Épaisseur du ballast** : Hauteur de la couche de ballast située sous les traverses.

VIII.2.2 L'INFRASTRUCTURE :

L'infrastructure comprend les couches supportant la voie ferrée :

- **Épaisseurs et types de couches** : Définition des épaisseurs et des matériaux des différentes couches (ballast, sous-couche, couche de forme).
- **Pentes transversales** : Inclinaisons prévues pour chaque couche, favorisant le drainage.
- **Pente latérale de la plateforme** : Inclinaison globale de la plateforme ferroviaire pour assurer l'évacuation des eaux de ruissellement.

VIII.2.3 TALUS :

Les talus sont les versants latéraux qui assurent la transition entre la plateforme et le terrain naturel :

- **Pentes des talus** : Définies en fonction du type de sol (ex. : 1:1.5 ou 2:3), elles garantissent la stabilité des remblais et déblais.

VIII.2.4 ASSAINISSEMENT :

L'assainissement est indispensable pour assurer la durabilité de la plateforme :

- **Ouvrages de drainage** : Comprennent les caniveaux, fossés, buses, regards, et drains, avec leurs dimensions et emplacements, destinés à évacuer les eaux pluviales ou souterraines.

VIII.3 PROFIL EN TRAVERS DU PROJET ÉTUDEIÉ :

Tableau VIII-1 : Section du profil en travers

Élément	Valeur / Caractéristique
Type de ligne	Voie unique mixte (voyageurs + marchandises)
Type de rails	UIC 60 E1
Écartement de la voie	1 435 mm (écartement standard)
Largeur de la plateforme	8,00 m
Pente latérale de la plateforme	4,0 %
Pente latérale de la couche de ballast	3H/2V
Épaisseur du ballast	30 cm
Épaisseur du sous-ballast (sous-couche)	25 cm
Épaisseur de la couche de forme	50 cm (matériau de classe QS3, compacté à 100 % OPN)
Fossé trapézoïdale	b= 0.5 m ; h= 0.5 m
Pente	déblai : 3H /2V et remblai : 2H / 1V

Remarque : Gestion du dévers en courbe

Lors des raccordements en pleine courbe, les épaisseurs des différentes couches de l'assise (couche de forme, sous-couche, fondation) restent constantes.

Le dévers requis pour compenser les effets centrifuges est obtenu en modifiant uniquement l'épaisseur du ballast, qui est rehaussée du côté extérieur de la courbe.

Cette méthode garantit à la fois la stabilité géométrique de la voie et le maintien des performances mécaniques de l'assise.

VIII.4 CALCUL DES CUBATURES :

Le calcul des cubatures de terrassement permet d'estimer les volumes de déblais et de remblais nécessaires à la mise en forme de la plateforme ferroviaire, conformément à la géométrie définie par le projet.

Ces volumes sont calculés pour adapter le terrain naturel à une surface projetée régulière et parallélisée avec l'axe de la voie, garantissant une plateforme stable et uniforme.

Les principaux éléments nécessaires pour effectuer ces calculs sont :

Le profil en long

Le profil en travers

La distance entre les profils

Dans le cadre de notre projet, le logiciel Autodesk Civil 3D a été utilisé pour réaliser l'ensemble des cubatures de terrassement, assurant précision et automatisation dans le calcul des volumes.

Tableau VIII-2 : Cubatures de terrassement

Volume de remblai (m^3)	Volume de déblai (m^3)
628507	362856

Tableau VIII-3 : Cubatures de la couche d'assise

Nature	Ballast	Sous-ballast	Couche de forme
Volume (m^3)	28832.71	20590.16	58386.69

VIII.5 CONCLUSION :

Le dimensionnement de la structure d'assise et la définition du profil en travers ont permis d'établir une solution technique cohérente, répondant aux exigences de stabilité, de portance et de drainage. Les différentes couches ont été définies avec précision pour garantir la durabilité et la performance de la voie ferrée tout au long du tracé projeté.

Chapitre IX : Conception Et Aménagement De La Gare de Mahdia

IX Chapitre IX : Conception et Aménagement de La Gare de Mahdia

IX.1 INTRODUCTION :

La gare ferroviaire n'est pas seulement un endroit où les trains s'arrêtent. C'est un lieu important pour le transport des voyageurs et des marchandises. Elle relie les villes et les régions, et facilite les déplacements au quotidien. Une gare bien conçue doit être pratique, accessible, sûre et agréable à utiliser. Elle doit aussi s'intégrer dans son environnement, respecter les normes techniques et prendre en compte les aspects sociaux, économiques et parfois même culturels.

Dans ce chapitre, nous allons étudier comment on conçoit et aménage une gare ferroviaire. Nous verrons les éléments essentiels comme les voies, les quais, les bâtiments, les accès et les équipements modernes. Le but est de comprendre comment créer une gare efficace et adaptée aux besoins des usagers et du territoire.

IX.2 TYPES DE GARE :

On distingue plusieurs types des gares :

- Gare de voyageur.
- Gare merchandise.
- Gare mixte.
- Gare de croisement.

IX.3 OBJET D'UNE GARE FERROVIAIRE :

Une gare ferroviaire est conçue pour remplir plusieurs fonctions importantes, selon les besoins du réseau. Elle sert notamment à :

- Permettre aux passagers de monter et descendre des trains facilement.
- Charger et décharger des marchandises ou des colis.
- Organiser et gérer la circulation des trains.
- Faciliter le croisement de trains lorsqu'il n'y a qu'une seule voie.
- Laisser passer les trains rapides en dépassant ceux plus lents.
- Offrir des services comme le ravitaillement en carburant, en eau ou en charbon pour les locomotives.
- Ajouter ou retirer des voitures ou des wagons d'un train.

IX.4 ÉTUDE DU PLAN DE MASSE DE LA GARE :

Pour concevoir une gare, il faut d'abord réaliser un plan de masse qui regroupe toutes les fonctions essentielles de ses différentes installations. Cette étape prend en compte trois éléments importants :

- **La catégorie de la voie** : elle influence l'organisation des voies ferrées et leur utilisation. Cela a un impact direct sur la fluidité du trafic ferroviaire et sur le bon déroulement des opérations.

- **Le trafic** : le nombre de passagers et la quantité de marchandises prévues permettent de dimensionner la gare correctement, en s'adaptant aux besoins réels de la région.
- **L'emplacement de la gare** : il est essentiel pour garantir une bonne accessibilité, encourager le développement autour de la gare, et assurer de bonnes connexions avec d'autres moyens de transport.

En prenant en compte ces aspects, on peut concevoir une gare fonctionnelle, bien intégrée dans son environnement, et capable de répondre aux attentes des usagers tout en soutenant le développement local.

IX.5 INSTALLATION D'UNE GARE À VOYAGEURS :

Les installations d'une gare ferroviaire regroupent différents aménagements et structures, qui varient selon le type de gare, sa conception et sa catégorie :

- **Le bâtiment voyageurs** : c'est un espace réservé aux passagers. Il comprend généralement une salle d'attente, des guichets de billetterie, un poste de sécurité, des kiosques, ainsi que d'autres services utiles aux voyageurs.
- **Les bâtiments à usage divers (B.U.D)** : ce sont des locaux destinés au personnel de la gare. Ils peuvent servir de bureaux, d'espaces techniques ou de zones de stockage et de maintenance.
- **Les quais** : ce sont des plateformes situées le long des voies qui permettent aux passagers de monter ou descendre des trains en toute sécurité.
- **Les abris de quais** : installés sur les quais, ces petits toits ou structures protègent les voyageurs des intempéries pendant l'attente.
- **Les passages souterrains et passerelles** : ils permettent aux usagers de traverser les voies pour rejoindre un autre quai sans danger, en évitant de marcher sur les rails.

IX.6 GARAGE FRANC :

Le garage franc correspond à la portion de voie où un train peut s'arrêter ou circuler en toute sécurité dans une gare, sans gêner les autres circulations. Sa longueur théorique est déterminée en multipliant par 3,57 la distance entre l'axe de la voie directe et celui de la voie déviée. Toutefois, pour des raisons de sécurité, on réduit cette distance d'environ 1 mètre par rapport à la valeur théorique. Ainsi, la formule pour calculer le garage franc est la suivante :

$$\boldsymbol{GF = 3.57N + 1\ metre}$$

Où **N** varie en fonction de l'ouverture de l'appareil de voie.

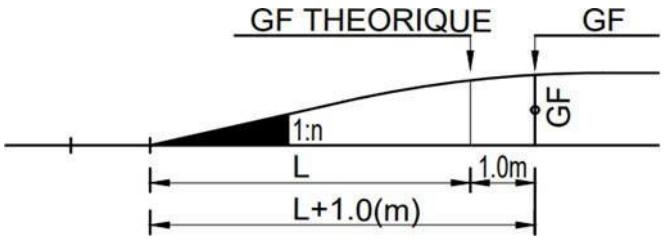


Figure IX-1 : Schéma illustratif du garage franc

Pour les appareils de voie type (UIC 60 E1-500-1/12) : **GF= 3.57*12 + 1 = 43.84 m**

Pour les appareils de voie type (UIC 60 E1-300-1/9) : **GF= 3.57*9 + 1 = 33.13 m**

IX.7 LA LONGUEUR UTILE D'UNE VOIE DE STATIONNEMENT :

La longueur utile correspond à la distance nécessaire pour qu'un train puisse stationner sur une voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou sur d'autres voies voisines. Elle est mesurée entre deux points appelés garages francs.

Selon la norme SNTF relative à l'aménagement des gares et au tracé des voies, les longueurs utiles minimales sont les suivantes :

- **426 mètres** pour les trains de voyageurs.
- **870 mètres** pour les trains de marchandises, que ce soit sur la voie principale ou sur une voie de service.
- **1200 mètres** pour les voies d'évitement.

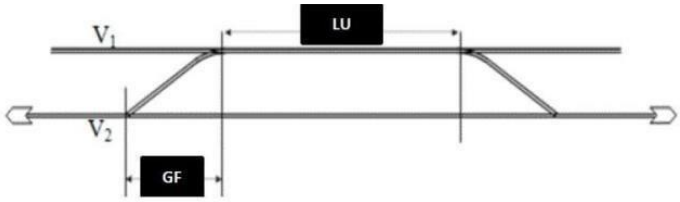


Figure IX-2 : Schéma illustrative de la longueur utile

IX.8 HEURTOIR :

Les heurtoirs ferroviaires, aussi appelés butoirs, sont des dispositifs installés à l'extrémité des voies, notamment sur les voies en cul-de-sac ou les voies tiroirs. Leur rôle principal est d'arrêter les trains en fin de parcours et d'éviter qu'ils ne dépassent les rails.

Ces dispositifs sont conçus pour absorber l'énergie du choc grâce à des tampons situés à la même hauteur que les attelages des trains. Cela permet de limiter les dommages en cas de collision et d'assurer la sécurité des passagers, du personnel et des installations.

Le bon fonctionnement des heurtoirs est donc essentiel pour prévenir les accidents et garantir la sécurité des opérations ferroviaires.



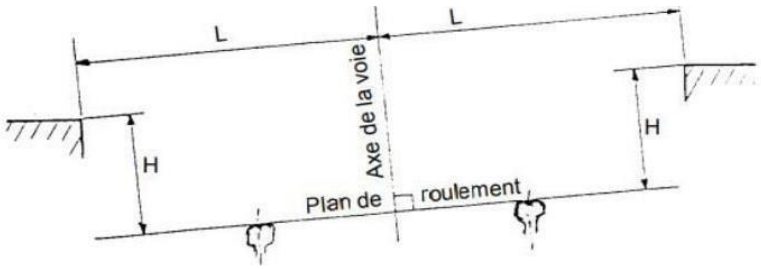
Figure IX-3 : Heurtoir

IX.9 LES QUAIS :

IX.9.1 LA HAUTEUR DE QUAIS :

D'après la fiche UIC 741OR :

- La hauteur nominale du bord du quai doit être de 550 mm.
- Dans certaines circonstances, comme pour les quais desservant les lignes principales et les banlieues, une hauteur de 760 mm peut être requise sous conditions spécifiques.



H = Hauteur au-dessus du plan de roulement, perpendiculaire au plan de roulement

L = Distance par rapport à l'axe de la voie, parallèle au plan de roulement

Figure IX-4 : La hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie

IX.9.2 DISTANCE PAR RAPPORT A L'AXE DE LA VOIE :

La distance nominale de l'axe de la voie pour les bordures de quais implantées à la hauteur nominale de 550 mm est déterminée à : $L\ (mm)\ =\ 1650\ +\ S$

La valeur de S est donnée par la formule : $S = \frac{3750}{R} + \frac{I-1435}{2}$

R : le rayon de la voie (m).

I : l'écartement de la voie (mm).

IX.9.3 LA LONGUEUR DE QUAI :

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

IX.9.4 LA LARGEUR DES QUAIS :

La SNTF recommande pour une telle gare :

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

IX.9.5 L'ENTRAXE DES QUAIS :

Selon SNTF :

- Entraxe normal en ≥ 11.3
- Entraxe minimal en ≥ 9.3

IX.10 APPAREILS DE VOIE :

Ces équipements facilitent :

- Le transfert du matériel roulant d'une voie à une autre ;
- La séparation d'un itinéraire en deux itinéraires distincts ;
- Le croisement d'un itinéraire avec un autre.

IX.11 APPLICATION AU NOTRE PROJET (GARE DE MAHDIA) :

La nouvelle gare de MAHDIA, située à Tiaret, est une gare voyageurs comprenant trois voies. Elle se trouve au nord de la ville de MAHDIA, entre les points kilométriques (pk) 160+370 et 161+860. Le bâtiment voyageurs est constitué de deux niveaux : le rez-de-chaussée (R) et le premier étage (R+1). Les déplacements entre ces deux niveaux sont facilités par une passerelle.



Figure IX-5 : L'emplacement de la gare de MAHDIA

IX.11.1 LES QUAIS :

- **La longueur des quais :**

Pour notre gare, nous avons prévu des quais de 225 mètres de longueur, ce qui correspond à trois wagons de 75 mètres chacun, avec une inclinaison de 2%

- **Largeur des quais :**

B= 6 m pour les quais extérieurs.

B= 8 m pour les quais intermédiaires.

- **Hauteur des quais :**

On prend pour notre cas h= 55 cm.

- **La distance par rapport à l'axe de la voie Selon UIC741 :**

La distance par rapport à l'axe de la voie L = 1650+S

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

Tel que : R : rayon de la voie (le tracé dans la gare est droit R = ∞).

I : écartement de la voie (dans notre projet I = 1435 mm).

$$L = 1650 + \frac{3750}{\infty} + \frac{1435 - 1435}{2} = 1650\text{mm}$$

- **Entraxe entre les quais A et B :**

Dans notre projet on a opté pour l'entraxe de 14.5 m entre les quais A, B

IX.11.2 LES APPAREILS DE VOIE :

Pour notre projet on a recours à deux appareils de voies :

- UIC 60 500 1/12.
- UIC 60 300 1/9.

IX.11.3 LONGUEURS DU GARAGE FRANC :

- UIC 60 500 1/12 : $GF = (3.57 \times N) + 1 = (3.57 \times 12) + 1 = 43.84m.$
- UIC 60 300 1 /9 : $GF = (3.57 \times N) + 1 = (3.57 \times 9) + 1 = 33.13m.$

IX.11.4 LA LONGUEUR UTILE D'UNE VOIE DE STATIONNEMENT :

Tableau IX-1 : Les longueurs utiles

N° Voie	Longueur utile (m)
A	1230
B	1350
3	1180

IX.12 PASSAE SOUTERRAINS (PS) :

Dans notre gare, un passage souterrain est prévu pour permettre aux voyageurs de se déplacer facilement entre les différents quais. Comme les trains peuvent arriver sur plusieurs quais, ce passage évite aux passagers de traverser les voies.

En résumé, le passage souterrain est un élément important pour rendre la gare plus sûre et plus pratique pour tous les usagers.

IX.13 ASSINAISSEMENT DE LA GARE :

IX.13.1 ASSAINISSEMENT TRANSVERSALE :

Pour permettre une bonne évacuation des eaux de pluie dans les gares, les quais doivent avoir une pente de 2 %, soit en forme de toit, soit en forme de V selon les cas. Cette pente permet à l'eau de s'écouler vers les voies. Ensuite, les pentes transversales des plates-formes assurent l'évacuation de cette eau vers les systèmes de drainage.

IX.13.2 ASSAINISSEMENT LONGITUDINALE :

Les drains sont installés parallèlement aux rails, avec une pente de 4 ‰. Ils servent à recueillir les eaux de pluie qui s'infiltrent dans le ballast et la plate-forme. Ces eaux sont ensuite évacuées vers le réseau d'assainissement à l'aide de regards de visite et de fossés en béton mesurant 0,7 m de large et 0,5 m de haut.

IX.14 CONCLUSION :

Pour conclure, l'aménagement de la gare de Mahdia dans le cadre du projet de la nouvelle ligne ferroviaire Relizane–Tiaret–Tissemsilt reflète l'importance de penser les infrastructures de transport de manière fonctionnelle, moderne et adaptée aux besoins des usagers. Située sur le tronçon Tiaret–Tissemsilt, cette gare constitue un point stratégique pour améliorer la mobilité dans la région et renforcer la connexion avec les autres pôles ferroviaires du pays.

L'étude de son implantation, de ses équipements et de ses accès montre que la gare ne doit pas être vue uniquement comme un simple arrêt, mais comme un véritable centre d'échange, au service du développement économique et social local. Elle joue un rôle clé dans la réussite globale de la ligne et dans la valorisation du territoire qu'elle dessert.

Chapitre X : Signalisation Ferroviaire

X Chapitre X : Signalisation Ferroviaire

X.1 INTRODUCTION :

La signalisation ferroviaire constitue un élément fondamental de sécurité et de gestion du trafic dans les réseaux ferroviaires. Elle fait le lien entre les infrastructures fixes (voies, aiguillages, ouvrages d'art) et les matériels roulants (trains), en transmettant des informations et des ordres nécessaires à une circulation fluide et sans risque.

Elle repose principalement sur des repères visuels (feux colorés, panneaux) implantés le long des voies et à des points stratégiques comme les gares et les bifurcations, ainsi que sur des dispositifs tactiles ou vibrants, qui peuvent renforcer l'alerte dans des conditions de faible visibilité ou d'urgence. L'ensemble du système est coordonné à partir des postes d'aiguillage, répartis sur le réseau, assurant le pilotage en temps réel de la circulation.

Cette combinaison de signaux visuels, sonores et automatisés garantit une exploitation sécurisée, ordonnée et efficace du trafic ferroviaire.

X.2 OBJECTIF DE LA SIGNALISATION FERROVIAIRE :

La signalisation ferroviaire a pour but de garantir une circulation sûre et ordonnée des trains. Elle permet de :

- Commander les itinéraires et guider les trains jusqu'à leur destination.
- Éviter les déraillements par le contrôle des vitesses.
- Maintenir un espacement sécurisé entre les trains.
- Permettre la circulation dans les deux sens sur une même voie.
- Protéger les mouvements dans les gares et aux passages à niveau.

Ces objectifs sont atteints grâce à la signalisation, au régime d'exploitation (voie unique ou double) et aux procédures de circulation mises en place.

X.3 LES SIGNAUX :

En Algérie, les signaux ferroviaires sont généralement placés à gauche de la voie, conformément à la circulation des trains à droite, sauf contraintes particulières. Leur rôle principal est de transmettre aux conducteurs des informations essentielles pour la sécurité et la bonne gestion du trafic.

Les signaux ferroviaires se divisent en plusieurs types, chacun jouant un rôle précis pour assurer la sécurité et gérer le trafic :

- **Signaux lumineux** : utilisent des feux de différentes couleurs pour donner des indications aux conducteurs.
- **Signaux mécaniques** : comportent des bras ou plaques mobiles pour ordonner d'arrêter ou de continuer.
- **Signaux de vitesse** : indiquent la vitesse maximale autorisée sur une section de voie.

- **Signaux de direction** : montrent la voie à suivre ou les changements de direction grâce à des flèches ou feux colorés.
- **Signaux de bloc** : renseignent sur l'état des sections de voie (libre ou occupée) et régulent l'espacement entre trains pour éviter les collisions.

X.4 LE CONTONNEMENT ET SON APPLICATION AU PROJET :

Le cantonnement ferroviaire est un système de gestion du trafic qui divise la voie ferrée en sections successives appelées "cantons", dans lesquelles un seul train peut circuler à la fois. Ce principe garantit la sécurité des circulations**,** notamment en évitant les collisions et en maintenant un espacement réglementaire entre les trains.

Dans le cadre de notre projet, portant sur la ligne Tiaret-Tisemsilt, à voie unique, le recours à un système de cantonnement est indispensable. En effet, ce type de configuration limite naturellement les possibilités de dépassement ou de croisement entre trains, rendant nécessaire une gestion stricte et coordonnée des circulations.

Le système de cantonnement permettra :

D'assurer un espacement sécurisé entre les trains circulant dans le même sens ou en sens opposé ;

De réguler l'accès aux sections sensibles comme les gares (Mahdia, Dahmouni), les bifurcations ou les zones à visibilité réduite ;

De garantir une exploitation fluide et sans conflit malgré les contraintes d'une voie unique.

Les signaux de cantonnement lumineux, placés stratégiquement le long de la ligne, indiqueront l'état d'occupation des cantons (voie libre ou occupée), autorisant ou interdisant l'engagement d'un train dans la section suivante.

Ainsi, dans notre projet**,** le cantonnement devient un outil central pour assurer la sécurité, la coordination et la ponctualité du trafic sur un tracé de 12.6 km entre PK 170+000 et PK 182+600, tout en optimisant l'utilisation de la voie unique entre Tissemsilt et Tiaret.

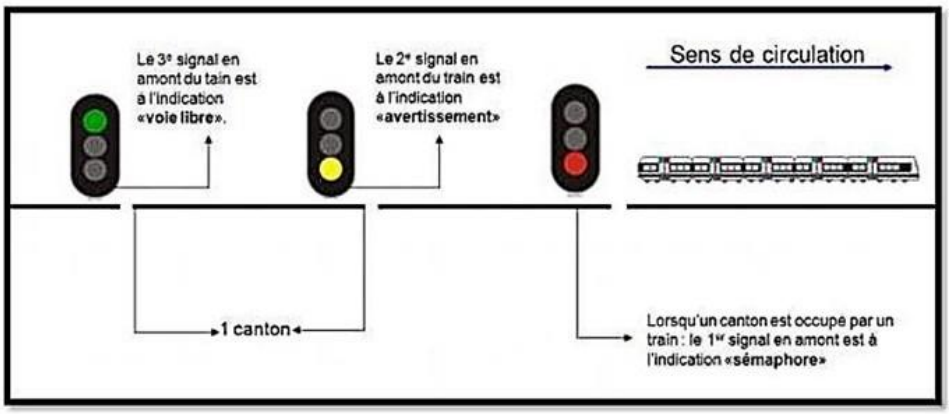


Figure X-1 : Schéma illustratif du canton

X.5 TYPES DES BLOCS :

Les systèmes de block sont des dispositifs de signalisation essentiels pour assurer la sécurité des circulations ferroviaires. Ils permettent de diviser la voie en cantons, empêchant qu'un second train n'entre dans une section déjà occupée, et réduisent ainsi les risques de collision.

Selon le niveau de trafic et les caractéristiques de la ligne, plusieurs types de block sont utilisés :

X.5.1 BLOC MANUEL (BM) :

Utilisé sur les lignes à faible trafic, le block manuel repose sur une coordination humaine entre les postes d'aiguillage. Lorsqu'un train quitte une section, le poste de départ informe manuellement le poste suivant pour libérer le canton.

- **Avantages :** système simple et peu coûteux.
- **Inconvénients :** limité en capacité, dépend fortement de la vigilance des opérateurs.

X.5.2 BLOC AUTOMATIQUE A PERMISSIVITE RESTREINTE (BAPR) :

Le BAPR est adapté aux lignes à trafic moyen, comme celle de Tissemsilt – Tiaret dans notre projet. Il repose sur :

- des circuits de voie détectant la présence des trains,
- des signaux automatiques en entrée de canton.

Le signal d'avertissement est placé à environ 1500 m du sémaphore, ce qui permet d'éviter un ralentissement excessif si le canton suivant est occupé.

- **Avantages :** réduction des erreurs humaines, coût raisonnable.
- **Inconvénients :** capacité limitée en cas de trafic dense.

X.5.3 BLOC AUTOMATIQUE LUMINEUX (BAL) :

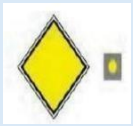
Utilisé sur les lignes à fort trafic, le BAL divise la voie en cantons courts, chacun équipé de signaux lumineux. Ce système permet de réduire l'espacement entre les trains, augmentant ainsi la capacité de la ligne.

- **Avantages :** souplesse et haute performance pour la régulation du trafic.
- **Inconvénients :** coût plus élevé en raison du nombre important de signaux à installer.

X.6 ASPECTS DES SIGNAUX :

Tableau X-1 : Les principaux signaux ferroviaires et leur indication

Signal	Indication	Signalisation Lumineuse	Signalisation Mécanique
Signal ouvert Voielibre	Le Voie Libre indique au conducteur que lacirculation en marche normale est autorisée		
Le feu vert Clignotant (VL)	Il commande au Mécanicien de réduire lavitesse à 160 km/h		
Carré fermé + feux Denuit	Le carré commande l'arrêt et ne doit enaucun cas être franchi.		
Feu violet ou Carré Violet fermé + feude Nuit	Commande l'arrêt, il est installé sur lesvoies de service, son ouverture seule.		
Guidon d'arrêt			
Sémaphore /Feux rouge	Il commande au mécanicien de s'arrêteravant le signal		
Feu rouge clignotant	Marche sans dépasser la vitesse de 15 km/hau franchissement de ce signal		
Feu blanc	Il commande ou confirme au conducteurl'observation de la marche en manœuvre		
Feu blanc clignotant	Il interdit dans tous les cas le départ enligne d'un train		
Les feux de heurtoir	Ils servent à repérer Denuit, ou en gare, lesheurtoirs de fin de voie		

L'avertissement/feujaune	Il commande au mécanicien de pouvoir s'arrêter avant les signaux suivants : Carré, sémaphore, carré violet, un rouge clignotant		
Le feu jaune Clignotant (A)	Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal annoncéà distance réduite par le signal suivant.		
Le disque D	Il commande au mécanicien de marquerl'arrêt au premier signal ou aiguillage rencontré		
Le ralentissement60	Le ralentissement 60 pour annonce une aiguille (ou plusieurs) en position "voie déviée" à passer à une vitesse maximale de60km/h.		
Le rappel de ralentissements 60			

Plaque d'identification	Indication
Z	La pancarte indique une zone à vitesse limitée (Zone d'action).
80	Le TIV fixe indique la vitesse à respecter à distance.
R	La pancarte indique la sortie de la zone à vitesse limitée(Reprise de vitesse).
TT	La pancarte indique le point d'arrêt des trains sur le quai concerné(Tête de Train).
⊓	Cette pancarte pour annonce une zone à gabarit limite (pont, tunnel).
D	Le tableau indique que le train est dirigé vers un dépôt.

X.7 SYSTEME DE SIGNALISATION (ETRMS) :

Le système de signalisation prévu pour la ligne ferroviaire Tiaret-Tissemsilt est basé sur le système européen de gestion du trafic ferroviaire ERTMS (European Rail Traffic Management System).

Ce système moderne assure la transmission continue et sécurisée des informations entre les équipements au sol et les trains, via une liaison radio. Les données relatives à la position, à la vitesse et aux autorisations de mouvement sont envoyées en temps réel, permettant au conducteur d'adapter sa conduite à tout instant selon l'état de la voie.

X.7.1 FONCTIONNEMENT GÉNÉRAL :

- Les trains sont équipés de systèmes embarqués qui communiquent avec les balises au sol et le centre de contrôle.
- Les signaux latéraux traditionnels sont remplacés par des informations transmises directement en cabine.
- En cas de non-respect des limitations de vitesse ou du franchissement d'un signal d'arrêt, un freinage d'urgence automatique est déclenché.

X.7.2 AVANTAGES POUR NOTRE PROJET :

- Sécurité renforcée grâce au contrôle continu de la vitesse et de la position des trains.
- Optimisation du trafic, particulièrement utile sur une ligne à voie unique, en facilitant la gestion des croisements et des espacements.
- Gain de capacité sans ajout de signaux physiques ni d'infrastructure lourde.
- Interopérabilité future avec les standards ferroviaires internationaux.

L'intégration du système ERTMS dans la ligne Tiaret-Tissemsilt permettra ainsi de moderniser l'exploitation ferroviaire, en alliant efficacité, sécurité et performance.

X.8 CONCLUSION :

Avec l'apparition des outils informatique de plus en plus performante, le domaine de la signalisation ferroviaire s'est beaucoup développé ces derniers années, contribuant ainsi avec une grande part dans la diminution des accidentes et la facilité de circulation du matériel roulant.

Chapitre XI : Étude de l'Impact Sur l'Environnement

XI Chapitre XI : Étude de l'Impact Sur l'Environnement

XI.1 INTRODUCTION :

Le projet de ligne ferroviaire reliant Tissemsilt à Tiaret s'inscrit dans le cadre du développement des infrastructures de transport en Algérie, avec pour objectif de désenclaver les Hauts Plateaux et de stimuler le développement régional.

Cette étude d'impact environnemental évalue les effets potentiels du projet sur :

- les milieux naturels,
- la biodiversité,
- les ressources en eau et en sol,
- ainsi que le cadre de vie des populations locales.

Elle permet d'intégrer les enjeux environnementaux dès la phase de conception du projet.

XI.2 OBJECTIF DE L'ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

L'étude vise à:

- Identifier les impacts environnementaux du tracé ferroviaire Tissemsilt – Tiaret,
- Proposer des mesures d'atténuation adaptées,
- Aider le maître d'ouvrage à concevoir un projet durable,
- Et fournir aux autorités les éléments nécessaires pour une décision éclairée.

Elle contribue ainsi à concilier développement ferroviaire et protection de l'environnement.

XI.3 DESCRIPTION DU MILIEU :

XI.3.1 MILIEU PHYSIQUE :

Il est essentiel de fournir une description des caractéristiques physiques de la région afin de mieux comprendre son contexte géologique, géomorphologique, climatique et sismologique.

XI.3.1.1 SITUATION :

Le tronçon du projet ferroviaire Rélizane – Tiaret – Tissemsilt, compris entre le PK 170+000 et le PK 182+000, traverse principalement la région située à l'ouest de la wilaya de Tissemsilt, à la limite avec la wilaya de Tiaret.

XI.3.1.2 CLIMAT :

Le tracé de la ligne ferroviaire traverse une région à climat de transition entre le semi-aride et le méditerranéen. Celui-ci se distingue par des étés chauds et secs, contrastant avec des hivers froids accompagnés de précipitations modérées. Les zones en altitude, telles que Tissemsilt et Tiaret, sont soumises à d'importantes amplitudes thermiques et peuvent enregistrer des épisodes neigeux en hiver, ce qui représente un enjeu pour les travaux de construction et la maintenance de l'infrastructure ferroviaire.

XI.3.1.3 TEMPERATURE :

La région du projet enregistre des températures comprises entre 1 °C en hiver et 36 °C en été, avec des écarts thermiques modérés qui restent à prendre en compte dans le dimensionnement des infrastructures ferroviaires.

XI.3.1.4 INSOLATION :

La région bénéficie en moyenne de 8 heures d'ensoleillement par jour sur l'année, indiquant une exposition solaire favorable.

XI.3.1.5 SISMOLOGIE :

La zone traversée par le projet ferroviaire est classée entre les zones sismiques II à IV selon le RPA 2024, avec des accélérations de 0,10g à 0,25g. Cela impose l'application de normes parasismiques strictes pour garantir la sécurité et la durabilité des infrastructures, notamment les ouvrages d'art et les fondations.

XI.3.1.6 RELIEF :

Le tracé de la ligne ferroviaire traverse un relief contrasté caractéristique des Hauts Plateaux de l'Ouest algérien. Il passe successivement par des zones montagneuses et accidentées, notamment près de Tissemsilt, puis s'adoucit progressivement en direction de Tiaret et Relizane, où le terrain devient plus plat

XI.3.1.7 GEOLOGIE :

La zone traversée par la ligne ferroviaire présente une géologie composée principalement de formations sédimentaires (calcaires, marnes, grès, argiles) avec des dépôts alluviaux dans les plaines. Le relief est modéré à accidenté, marqué par des plissements et failles. Certains sols, peu portants ou argileux, nécessitent des traitements spécifiques pour garantir la stabilité de l'infrastructure.

XI.3.2 MILIEU BIOLOGIQUE

XI.3.2.1 FAUNE :

La zone traversée par le projet présente une diversité écologique notable, avec des biotopes favorables à plusieurs espèces de faune sauvage. L'étude environnementale vise à préserver les habitats naturels de ces espèces. Parmi les espèces les plus représentatives, on peut citer :

- La glaréole à collier
- L'échasse blanche
- L'œdicnème criard
- La gallinule
- Le sanglier
- Le cerf de l'Atlas

XI.3.2.2 FLORE :

Le climat semi-aride de la région, avec des précipitations annuelles souvent inférieures à 400 mm, favorise une végétation de type steppique. Celle-ci est caractérisée par des plantes basses et xérophiles, telles que l'armoise et l'alfa, adaptées à la sécheresse. On y trouve également des formations forestières composées notamment de genévriers et de pins d'Alep.

XI.3.3 ENVIRONNEMENT SOCIOCULTUREL :

XI.3.3.1 POPULATION ET HABITAT :

Les wilayas de Tissemsilt et de Tiaret sont situées dans l'ouest de l'Algérie et présentent des caractéristiques géographiques et démographiques contrastées. La wilaya de Tissemsilt couvre une superficie d'environ 3 152 km² et compte une population estimée à environ 400 000 habitants, ce qui lui donne une densité moyenne de population avoisinant 127 habitants par km². De son côté, la wilaya de Tiaret est nettement plus étendue, avec une superficie d'environ 20 673 km². Sa population est estimée à près de 900 000 habitants, soit une densité moyenne d'environ 44 habitants par km². Ainsi, bien que Tiaret soit beaucoup plus vaste, sa densité est nettement inférieure à celle de Tissemsilt, reflétant une répartition plus dispersée de la population sur son territoire.

XI.4 ÉVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

XI.4.1 IMPACTS NEGATIFS

XI.4.1.1 En phase de chantier

- **Impacts sur le milieu humain :**

Les travaux peuvent entraîner des perturbations locales, notamment sur l'accès aux terres agricoles, principales activités économiques de la région. L'implantation de pistes temporaires et le passage des engins risquent d'endommager les cultures, et d'entraver la circulation des habitants vers leurs exploitations.

- **Sur le milieu physique :**

Les activités de chantier peuvent causer la pollution de l'air (poussières), des sols et des eaux de surface à travers les ruissellements ou les déversements accidentels. Une altération temporaire du paysage est également attendue, notamment dans les zones de remblais ou de tranchées.

XI.4.1.2 En phase d'exploitation

a. **Sur la faune :**

Le trafic ferroviaire régulier peut perturber durablement les espèces sensibles aux bruits et aux vibrations. De plus, sans aménagements spécifiques (dalots fauniques, clôtures), le passage des animaux peut entraîner des collisions avec les trains.

b. Sur la flore :

En phase d'exploitation, l'impact sur la flore reste limité, mais le maintien d'une emprise dégagée (fauchage, débroussaillage) peut limiter le développement végétal et favoriser l'érosion si les talus ne sont pas stabilisés.

c. Nuisances sonores

Les bruits continus liés aux circulations ferroviaires peuvent devenir une gêne pour les habitations proches et pour l'environnement pastoral. Ces nuisances doivent être prises en compte dans les mesures d'atténuation (barrières végétales, distance d'implantation).

d. Risques d'accidents

Le tracé du projet traverse plusieurs pistes agricoles mais également des routes nationales à fort trafic. Cela engendre un risque significatif d'accidents, en particulier aux points de croisement entre la voie ferrée et la route. En l'absence de dispositifs de protection (passages à niveau sécurisés, feux de signalisation, barrières automatiques), les risques de collision entre les trains et les véhicules routiers sont élevés.

XI.4.2 MESURES D'ATTENUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX :

XI.4.2.1 En phase de chantier :

- **Réduction des impacts sur le milieu humain**
  - Établir un plan de circulation temporaire pour minimiser les perturbations des accès aux terres agricoles.
  - Informer et consulter les agriculteurs et les habitants sur les calendriers des travaux.
  - Compenser les dommages aux cultures selon une évaluation préalable.
- **Prévention des pollutions (air, sol, eau)**
  - Utiliser des arroseuses pour limiter les émissions de poussières.
  - Mettre en place des bassins de décantation et des barrières anti-ruissellement pour éviter la contamination des eaux.
  - Stocker les produits dangereux (hydrocarbures, produits chimiques) dans des zones sécurisées et étanches.
- **Gestion des déchets et réhabilitation des sites**
  - Tri et évacuation des déchets vers des centres agréés.
  - Remise en état des zones perturbées (végétalisation des talus, comblement des tranchées).

XI.4.2.1 En phase d'exploitation :

- **Protection de la faune :**

- Installation de passages fauniques (dalots, écoducs) pour permettre la circulation des animaux.
- Clôturer les zones sensibles pour éviter les intrusions sur les voies.
- Surveillance et suivi écologique pour évaluer l'efficacité des aménagements

➢ **Préservation de la flore et les sols :**

- Les arbres doivent être déplacé et non pas déboisé.
- Eviter les dépôts de matériaux dans la Zone humides.
- Stabiliser les talus par des techniques de génie végétal (enrochements, plantations).

➢ **Réduction des nuisances sonores :**

- Respect d'une distance minimale entre les voies et les habitations.
- Utilisation de rails et matériels ferroviaires à faible émission sonore.

➢ **Sécurisation des voies et prévention des accidents :**

- Aménagement de passages à niveau sécurisés (barrières automatiques, feux de signalisation).
- Sensibilisation des conducteurs et des riverains sur les risques ferroviaires.
- Surveillance et entretien régulier des voies et des équipements de sécurité.

XI.4.3 L'IMPACT DU TRACE FERROVIAIRE SUR LES ZONES AGRICOLES :

- Expropriation de terres cultivées, avec perte de surfaces productives.
- Fragmentation des exploitations agricoles, rendant la gestion plus difficile.
- Perturbation des activités agricoles pendant les travaux (bruit, poussière, circulation d'engins).
- Difficulté d'accès aux parcelles restantes si des passages agricoles ne sont pas prévus.
- Baisse éventuelle de la valeur foncière des terres proches du tracé.
- Risques de pertes économiques et sociales pour les agriculteurs locaux.

XI.4.4 LES MESURES A PRENDRE :

- Optimisation du tracé pour limiter les emprises sur les terres agricoles.
- Expropriations menées avec indemnisation équitable et transparente.
- Compensation par des terrains équivalents ou aides à la reconversion.
- Aménagement de passages agricoles pour garantir l'accès aux parcelles.
- Suivi environnemental et socio-économique avant, pendant et après les travaux.
- Concertation continue avec les agriculteurs et parties concernées.

XI.4.5 IMPACTS POSITIFS :

Le projet ferroviaire Tiaret – Tissemsilt contribuera significativement au développement socio-économique local :

- Création d'emplois directs et indirects pendant la phase de chantier.
- Valorisation et désenclavement de zones rurales isolées.
- Amélioration des échanges commerciaux et du transport des marchandises agricoles.
- Réduction des émissions de gaz à effet de serre grâce au basculement modal vers le rail.
- Encouragement à l'investissement dans les zones proches de la ligne.

XI.5 CONCLUSION :

L'étude d'impact environnemental du tronçon PK 170+000 à PK 182+600 confirme que, bien que le projet entraîne certains impacts temporaires sur le milieu physique et les activités agricoles, ceux-ci peuvent être efficacement maîtrisés à l'aide de mesures techniques appropriées. En retour, les retombées positives en matière de mobilité, d'aménagement du territoire et de développement local justifient pleinement la mise en œuvre du projet. Celui-ci s'inscrit dans une logique de développement durable, alliant modernisation des infrastructures ferroviaires et respect de l'environnement rural traversé.

Chapitre XII : Devis Estimatif et Quantitatif

XII Chapitre XII : Devis Quantitatif et Estimatif

Tableau XII-1 : Devis quantitatif et estimatif du projet

Lot.N°	Désignations	Unité	Prix unitaire	Quantité	Montant
1. ETUDE D'EXECUTION ET INSTALLATION DE CHANTIER :					
1-1	Etude d'exécution	F	130 000 000,00	1,00	130 000 000,00
1-2	Installation générale de chantier	F	488 146 705,37	1,00	488 146 705,37
1-3	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	35 000 000,00	1,00	35 000 000,00
Coût total installation de chantier et études d'exécution (DZD)					**653 146 705,37**
2. TERRASSEMENT :					
2-1	Décapage de terre végétale	M^3	390,00	61 060,00	23 813 400,00
2-2	Rmblais	M^3	1 800,00	628 507,00	1 131 312 600,00
2-3	Déblais	M^3	900,00	362 856,00	326 570 400,00
Coût total des terrassements (DZD)					**1 481 696 400,00**
3. TRAVAUX DE LA VOIE :					
3-1	Fourniture des rails UIC 60 E	T	173 250,00	1 521,58	263 613 042,00
3-2	Pose de voie	ML	6 300,00	12 600,00	79 380 000,00
3-3	Fourniture des traverses bi-bloc en béton armé (VAX U31)	U	9 256,00	20 916,00	193 598 496,00
3-4	Fourniture des attaches (Type NABLA)	U	1 200,00	41 832,00	50 198 400,00
3-5	Soudures aluminothermiques et électriques	U	20 806,00	1 400,00	29 128 400,00
Coût total de la voie (DZD)					**615 918 338,00**
4. COUCHE D'ASSISE FERROVIAIRE :					
4-1	F/P couche de forme	M^3	1 200,00	68 386,69	82 064 028,00
4-2	F/P couche de sous ballast	M^3	3 000,00	26 990,16	80 970 480,00
4-3	F/P couche de ballast	M^3	3 880,00	35 632,71	138 254 914,80
Coût total d'assise ferroviaire (DZD)					**301 289 422,80**
5. DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT :					
5-1	Fossés trapézoïdaux en béton armé	ML	6 200,00	25 200,00	156 240 000,00
5-2	Dalot en béton armé (3x3)	U	19 900,00	1,00	19 900,00
5-3	Dalot en béton armé (2,5x2,5)	U	19 100,00	2,00	38 200,00
5-4	Dalot en béton armé (2,5x2)	U	18 500,00	1,00	18 500,00
5-5	Dalot en béton armé (2x2)	U	17 700,00	2,00	35 400,00
5-6	Buse en béton armé (1500mm)	U	36 200,00	2,00	72 400,00
Coût total de drainage et assainissement (DZD)					**156 424 400,00**
6. TRAVAUX DE LA GARE :					
6-1	Fourniture des rails UIC 60 E	T	173 250,00	241,52	41 843 340,00
6-2	Fourniture des traverses bi-bloc en béton armé (VAX U31)	U	9 256,00	6 640,00	61 459 840,00
6-3	Fourniture des attaches (Type NABLA)	U	1 200,00	13 280,00	15 936 000,00
6-4	Pose de voie	ML	6 300,00	4 000,00	25 200 000,00
6-5	Soudures aluminothermiques et électriques	U	20 806,00	450,00	9 362 700,00
6-6	Fourniture des adv UIC 60-500-1/12	U	15 899 976,16	4,00	63 599 904,64

6-7	Fourniture des adv UIC 60-300-1/9	U	7 841 980,00	2,00	15 683 960,00
6-8	Pose des adv UIC 60-500-1/12	U	412 933,00	4,00	1 651 732,00
6-9	Pose des adv UIC 60-300-1/9	U	206 216,00	2,00	412 432,00
6-10	Heurtoir	U	936 686,00	2,00	1 873 372,00
6-11	Traverses de garage franc	U	40 891,56	6,00	245 349,36
6-12	Batiment voyageurs	F	18 022 510,20	1,00	18 022 510,20
6-13	F/P des quais avec ces installations	U	19 417 281,00	2,00	38 834 562,00
6-14	Passage souterrain	F	10 417 281,00	1,00	10 417 281,00
6-15	Réalisation des travaux d'aménagement extérieur de la gare	F	83 803 927,00	1,00	83 803 927,00
Coût total des travaux de la gare (DZD)					**388 346 910,20**
7. INSTALLATION ERTMS :					
7-1	Etude	F	1 862 121,60	1,00	1 862 121,60
7-2	Fourniture	F	53 201 753,34	1,00	53 201 753,34
7-3	Travaux	F	58 609 732,88	1,00	58 609 732,88
7-4	Génie civil	F	46 463 315,34	1,00	46 463 315,34
Coût total de signalisation (DZD)					**160 136 923,16**
8. OUVRAGES D'ART :					
8-1	Viaduc	ML	1 000 000 000,00	1,00	1 000 000 000,00
8-2	Ouvrage d'art	ML	30 000 000,00	2,00	60 000 000,00
Coût total des ouvrages d'art (DZD)					**1 060 000 000,00**
9. ELECTRIFICATION DE LA VOIE ET DE LA GARE					
9-1	Poteau catenaire y compris accessoires	U	350 000,00	302,00	105 700 000,00
Coût total d'éléctrification de la voie et de la gare (DZD)					**105 700 000,00**
10. EXPROPRIATION DES TERRIAN AGRICOLE					
10-1	Expropreation des terrains agricole	HA	1 500 000,00	27,50	41 250 000,00
Coût total d'éléctrification de la voie et de la gare (DZD)					**41 250 000,00**
Montant total du projet (Hors Tax) (DZD)					**4 963 909 099,53**
Montant de TVA (DZD)					**943 142 728,91**
Montant total du projet (TTC) (DZD)					**5 907 051 828,44**

Le coût total estimé du projet est de :

CINQ MILLIARDS NEUF CENT SEPT MILLIONS CINQUANTE-ET-UN MILLE HUIT CENT VINGT-HUIT DINARS ET QUARANTE-QUATRE CENTIMES. (**5 907 051 828,44 DZD**).

Conclusion Générale

XIII Conclusion Générale

Les projets ferroviaires occupent une place stratégique dans le développement économique et territorial de l'Algérie. Ils contribuent à renforcer la connectivité inter-wilayas, à désenclaver les zones à fort potentiel agricole et industriel, et à favoriser une mobilité durable. Notre projet de fin d'études s'inscrit dans cette dynamique à travers l'étude en Avant-Projet Détaillé (APD) de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Rélizane – Tiaret – Tissemsilt, sur une longueur totale de 185 km. Plus précisément, notre étude a porté sur le tronçon Tiaret / Tissemsilt, d'une longueur de 63,5 km, s'étendant du PK 170+000 au PK 182+000, avec l'aménagement prévu de la gare de Mahdia.

Ce travail nous a permis de mobiliser l'ensemble de nos compétences théoriques et pratiques acquises à l'ENSTP, en intégrant les volets géométrie ferroviaire, géotechnique, hydraulique, environnemental, et aménagements d'infrastructure selon les normes UIC et SNTF. Grâce aux outils numériques tels que Civil 3D, Covadis, Autocad et Global Mapper, nous avons pu modéliser une solution technique fiable, durable et conforme aux exigences d'une ligne conçue pour 160 km/h pour les trains de voyageurs et 100 km/h pour les trains de marchandises.

Ce projet a également renforcé notre sens de l'analyse, notre capacité à gérer des contraintes topographiques, climatiques et environnementales, et notre aptitude à concevoir une infrastructure cohérente et intégrée. En conclusion, cette expérience a été non seulement un accomplissement académique, mais aussi une étape déterminante dans notre formation d'ingénieurs. Nous en sortons mieux préparés à contribuer activement aux grands projets structurants de notre pays, avec la volonté d'apporter des solutions durables, innovantes et efficientes dans le domaine ferroviaire.

BIBLIOGRAPHIE

1. Les normes UIC (741). Quais des gares à voyageurs-Règles pour l'implantation desbordures des quais par rapport à la voie.
2. UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2ème Edition
3. UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 3ème Edition.
4. SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 2005.
5. SETIRAIL, « Rapport de l'étude géologique ».
6. SETIRAIL, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».
7. Sétra, Guide technique : Assainissement routier, Octobre 2006.
8. SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 7.2.2 : Ouvrages en terre pour plateformes ferroviaires.
9. SNTF, Fiche de normalisation : aménagement et gare, trace des voies, 3e édition, JUIN1985.
10. SNTF, chapitre 10, signalisation et télécommunication, version 2.
11. Mémoires de voie ferrée école nationale des travaux publics.

ANNEXES

ANNEXE A

Listing de Tracé en Plan

Axe En Plan

Axe : Axe 170-182
Table courante : Aucune...

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	372.75gr	1341.644	170+000.000	387313.702	3929992.321
Clothoïde 1	Paramètre	-447.214	100.000	171+341.644	386756.869	3931212.954
Arc 1	Rayon Centre X Centre Y	-2000.000 m 388555.915 m 3932088.606 m	837.079	171+441.644	386716.126	3931304.275
Clothoïde 2	Paramètre	447.214	100.000	172+278.723	386556.157	3932119.714
Droite 2	Gisement	2.58gr	944.010	172+378.723	386559.378	3932219.660
Clothoïde 3	Paramètre	-424.264	150.000	173+322.733	386597.652	3933162.894
Arc 2	Rayon Centre X Centre Y	-1200.000 m 387800.486 m 3933189.139 m	709.908	173+472.733	386606.852	3933312.585
Clothoïde 4	Paramètre	424.264	150.000	174+182.642	386878.549	3933957.274
Droite 3	Gisement	48.20gr	511.361	174+332.642	386979.265	3934068.397
Clothoïde 5	Paramètre	418.330	50.000	174+844.003	387330.493	3934440.054
Arc 3	Rayon Centre X Centre Y	3500.000 m 384803.842 m 3936862.217 m	2856.708	174+894.003	387364.749	3934476.476
Clothoïde 6	Paramètre	-418.330	50.000	177+750.711	388296.176	3937093.749
Droite 4	Gisement	395.33gr	2453.580	177+800.711	388292.631	3937143.623
Clothoïde 7	Paramètre	-412.311	170.000	180+254.292	388112.839	3939590.607
Arc 4	Rayon Centre X Centre Y	-1000.000 m 389105.124 m 3939748.724 m	1952.889	180+424.292	388105.192	3939760.380
Clothoïde 8	Paramètre	412.311	170.000	182+377.181	389488.778	3940672.201
Droite 5	Gisement	130.48gr	52.819	182+547.181	389641.774	3940598.216
				182+600.000	389688.654	3940573.884
Longueur totale de l'axe 12600.000 mètre(s)						

ANNEXE B

Listing de profil en long

Profil En Long Projet

Axe : Axe 170-182

Table courante : Aucune...

Elts Caractéristiques				Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente	-0.83 %	1621.189	170+000.000	916.976
Cercle 1	Rayon	-40000.000 m	307.607	171+621.189	903.507
	Sommet Absc.	171+288.878 m			
	Sommet Alt.	904.887 m			
Pente 2	Pente	-1.60 %	2872.086	171+928.796	899.768
Cercle 2	Rayon	40000.000 m	502.829	174+800.883	853.815
	Sommet Absc.	175+440.801 m			
	Sommet Alt.	848.696 m			
Pente 3	Pente	-0.34 %	1052.871	175+303.712	848.931
Cercle 3	Rayon	40000.000 m	91.345	176+356.583	845.323
	Sommet Absc.	176+493.671 m			
	Sommet Alt.	845.088 m			
Pente 4	Pente	-0.11 %	804.420	176+447.928	845.114
Cercle 4	Rayon	20000.000 m	193.845	177+252.348	844.194
	Sommet Absc.	177+275.220 m			
	Sommet Alt.	844.181 m			
Pente 5	Pente	0.85 %	843.659	177+446.193	844.912
Cercle 5	Rayon	-20000.000 m	265.066	178+289.852	852.124
	Sommet Absc.	178+460.825 m			
	Sommet Alt.	852.855 m			
Pente 6	Pente	-0.47 %	1038.932	178+554.918	852.633
Cercle 6	Rayon	20000.000 m	358.198	179+593.849	847.746
	Sommet Absc.	179+687.942 m			
	Sommet Alt.	847.524 m			
Pente 7	Pente	1.32 %	411.118	179+952.047	849.268
Cercle 7	Rayon	-20000.000 m	412.000	180+363.165	854.698
	Sommet Absc.	180+627.270 m			
	Sommet Alt.	856.441 m			
Pente 8	Pente	-0.74 %	797.044	180+775.165	855.895
Cercle 8	Rayon	20000.000 m	432.844	181+572.209	850.000
	Sommet Absc.	181+720.104 m			
	Sommet Alt.	849.454 m			
Pente 9	Pente	1.42 %	594.947	182+005.053	851.484
				182+600.000	859.961
Longueur totale de l'axe 12600.000 mètre(s)					
Longueur développée totale de l'axe 12600.674 mètre(s)					

ANNEXE C

Canalisation circulation partiellement remplie

Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh
0.0021	0.189	0.033	0.0600	0.548	0.166	0.1179	0.670	0.232	0.1758	0.750	0.283	0.2337	0.814	0.329	0.2916	0.866	0.370
0.0031	0.219	0.040	0.0611	0.551	0.167	0.1190	0.672	0.233	0.1769	0.752	0.284	0.2348	0.815	0.329	0.2927	0.867	0.371
0.0042	0.249	0.048	0.0621	0.554	0.169	0.1200	0.674	0.234	0.1779	0.753	0.285	0.2359	0.816	0.330	0.2938	0.867	0.371
0.0053	0.266	0.053	0.0632	0.557	0.170	0.1211	0.676	0.235	0.1790	0.755	0.286	0.2369	0.817	0.331	0.2948	0.868	0.372
0.0064	0.278	0.057	0.0643	0.560	0.172	0.1222	0.677	0.236	0.1801	0.756	0.287	0.2380	0.818	0.332	0.2959	0.869	0.373
0.0074	0.290	0.061	0.0653	0.563	0.173	0.1233	0.679	0.237	0.1812	0.757	0.288	0.2391	0.819	0.333	0.2970	0.870	0.373
0.0085	0.302	0.065	0.0664	0.566	0.175	0.1243	0.681	0.238	0.1822	0.759	0.289	0.2401	0.820	0.333	0.2981	0.871	0.374
0.0096	0.315	0.069	0.0675	0.569	0.176	0.1254	0.682	0.239	0.1833	0.760	0.290	0.2412	0.821	0.334	0.2991	0.872	0.375
0.0107	0.327	0.073	0.0686	0.571	0.177	0.1265	0.684	0.240	0.1844	0.762	0.290	0.2423	0.822	0.335	0.3002	0.873	0.376
0.0117	0.337	0.076	0.0696	0.574	0.179	0.1275	0.686	0.241	0.1855	0.763	0.291	0.2434	0.823	0.336	0.3013	0.874	0.376
0.0128	0.344	0.079	0.0707	0.576	0.180	0.1286	0.687	0.242	0.1865	0.764	0.292	0.2444	0.824	0.337	0.3023	0.874	0.377
0.0139	0.352	0.082	0.0718	0.579	0.181	0.1297	0.689	0.243	0.1876	0.766	0.293	0.2455	0.825	0.337	0.3034	0.875	0.378
0.0149	0.360	0.085	0.0729	0.582	0.183	0.1308	0.691	0.244	0.1887	0.767	0.294	0.2466	0.826	0.338	0.3045	0.876	0.378
0.0160	0.367	0.088	0.0739	0.584	0.184	0.1318	0.692	0.245	0.1897	0.768	0.295	0.2477	0.828	0.339	0.3056	0.877	0.379
0.0171	0.375	0.090	0.0750	0.587	0.185	0.1329	0.694	0.246	0.1908	0.770	0.296	0.2487	0.829	0.340	0.3066	0.878	0.380
0.0182	0.382	0.093	0.0761	0.589	0.187	0.1340	0.696	0.247	0.1919	0.771	0.297	0.2498	0.830	0.341	0.3077	0.879	0.381
0.0192	0.390	0.096	0.0771	0.592	0.188	0.1351	0.698	0.248	0.1930	0.773	0.298	0.2509	0.831	0.341	0.3088	0.880	0.381
0.0203	0.397	0.099	0.0782	0.594	0.189	0.1361	0.699	0.250	0.1940	0.774	0.299	0.2519	0.832	0.342	0.3099	0.881	0.382
0.0214	0.404	0.101	0.0793	0.597	0.190	0.1372	0.701	0.251	0.1951	0.775	0.300	0.2530	0.833	0.343	0.3109	0.881	0.383
0.0224	0.409	0.103	0.0804	0.599	0.192	0.1383	0.702	0.251	0.1962	0.777	0.300	0.2541	0.834	0.344	0.3120	0.882	0.384
0.0235	0.415	0.105	0.0814	0.602	0.193	0.1393	0.704	0.252	0.1972	0.778	0.301	0.2552	0.835	0.345	0.3131	0.883	0.384
0.0246	0.420	0.108	0.0825	0.604	0.194	0.1404	0.705	0.253	0.1983	0.779	0.302	0.2562	0.836	0.345	0.3141	0.884	0.385
0.0257	0.425	0.110	0.0836	0.607	0.196	0.1415	0.706	0.254	0.1994	0.780	0.303	0.2573	0.837	0.346	0.3152	0.885	0.386
0.0267	0.431	0.112	0.0846	0.609	0.197	0.1426	0.708	0.255	0.2005	0.781	0.304	0.2584	0.838	0.347	0.3163	0.886	0.386
0.0278	0.436	0.114	0.0857	0.612	0.198	0.1436	0.709	0.256	0.2015	0.782	0.304	0.2594	0.839	0.348	0.3174	0.887	0.387
0.0289	0.441	0.116	0.0868	0.615	0.200	0.1447	0.710	0.257	0.2026	0.783	0.305	0.2605	0.840	0.349	0.3184	0.887	0.388
0.0300	0.447	0.118	0.0879	0.617	0.201	0.1458	0.712	0.258	0.2037	0.784	0.306	0.2616	0.841	0.349	0.3195	0.888	0.389
0.0310	0.452	0.120	0.0889	0.619	0.202	0.1468	0.713	0.259	0.2048	0.785	0.307	0.2627	0.842	0.350	0.3206	0.889	0.389
0.0321	0.457	0.122	0.0900	0.621	0.203	0.1479	0.715	0.260	0.2058	0.786	0.308	0.2637	0.843	0.351	0.3216	0.890	0.390
0.0332	0.463	0.125	0.0911	0.623	0.204	0.1490	0.716	0.261	0.2069	0.787	0.308	0.2648	0.844	0.352	0.3227	0.891	0.391
0.0342	0.467	0.126	0.0922	0.625	0.205	0.1501	0.717	0.261	0.2080	0.788	0.309	0.2659	0.845	0.352	0.3238	0.892	0.391
0.0353	0.471	0.128	0.0932	0.627	0.206	0.1511	0.719	0.262	0.2090	0.789	0.310	0.2670	0.846	0.353	0.3249	0.893	0.392
0.0364	0.474	0.130	0.0943	0.629	0.208	0.1522	0.720	0.263	0.2101	0.790	0.311	0.2680	0.847	0.354	0.3259	0.894	0.393
0.0375	0.478	0.132	0.0954	0.631	0.209	0.1533	0.721	0.264	0.2112	0.791	0.312	0.2691	0.848	0.355	0.3270	0.894	0.394
0.0385	0.481	0.133	0.0964	0.632	0.210	0.1544	0.723	0.265	0.2123	0.792	0.312	0.2702	0.848	0.355	0.3281	0.895	0.394
0.0396	0.485	0.135	0.0975	0.634	0.211	0.1554	0.724	0.266	0.2133	0.794	0.313	0.2712	0.849	0.356	0.3292	0.896	0.395
0.0407	0.489	0.137	0.0986	0.636	0.212	0.1565	0.726	0.267	0.2144	0.795	0.314	0.2723	0.850	0.357	0.3302	0.897	0.396
0.0418	0.492	0.139	0.0997	0.638	0.213	0.1576	0.727	0.268	0.2155	0.796	0.315	0.2734	0.851	0.357	0.3313	0.898	0.397
0.0428	0.496	0.140	0.1007	0.640	0.214	0.1586	0.728	0.269	0.2166	0.797	0.316	0.2745	0.852	0.358	0.3324	0.899	0.397
0.0439	0.500	0.142	0.1018	0.642	0.215	0.1597	0.730	0.270	0.2176	0.798	0.317	0.2755	0.853	0.359	0.3334	0.900	0.398
0.0450	0.503	0.144	0.1029	0.644	0.216	0.1608	0.731	0.270	0.2187	0.799	0.317	0.2766	0.854	0.360	0.3345	0.900	0.399
0.0460	0.507	0.146	0.1040	0.646	0.217	0.1619	0.733	0.271	0.2198	0.800	0.318	0.2777	0.854	0.360	0.3356	0.901	0.399
0.0471	0.511	0.147	0.1050	0.648	0.219	0.1629	0.734	0.272	0.2208	0.801	0.319	0.2788	0.855	0.361	0.3367	0.902	0.400

ANNEXE C

Canalisation circulation partiellement remplie

Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh
0,3495	0,911	0,408	0,4074	0,949	0,444	0,4653	0,981	0,479	0,5233	1,010	0,514	0,5812	1,036	0,548	0,6391	1,059	0,581
0,3506	0,911	0,409	0,4085	0,949	0,445	0,4664	0,982	0,480	0,5243	1,011	0,514	0,5822	1,037	0,548	0,6402	1,059	0,582
0,3517	0,912	0,409	0,4096	0,950	0,445	0,4675	0,982	0,481	0,5254	1,011	0,515	0,5833	1,037	0,549	0,6412	1,059	0,583
0,3527	0,913	0,410	0,4107	0,951	0,446	0,4686	0,983	0,481	0,5265	1,012	0,516	0,5844	1,038	0,549	0,6423	1,060	0,583
0,3538	0,913	0,411	0,4117	0,952	0,447	0,4696	0,984	0,482	0,5275	1,012	0,516	0,5855	1,038	0,550	0,6434	1,060	0,584
0,3549	0,914	0,411	0,4128	0,952	0,447	0,4707	0,984	0,482	0,5286	1,013	0,517	0,5865	1,038	0,551	0,6444	1,061	0,584
0,3560	0,915	0,412	0,4139	0,953	0,448	0,4718	0,985	0,483	0,5297	1,013	0,518	0,5876	1,039	0,551	0,6455	1,061	0,585
0,3570	0,916	0,413	0,4149	0,954	0,449	0,4729	0,985	0,484	0,5308	1,014	0,518	0,5887	1,039	0,552	0,6466	1,062	0,586
0,3581	0,916	0,413	0,4160	0,954	0,449	0,4739	0,986	0,484	0,5318	1,014	0,519	0,5897	1,040	0,553	0,6477	1,062	0,586
0,3592	0,917	0,414	0,4171	0,955	0,450	0,4750	0,987	0,485	0,5329	1,015	0,519	0,5908	1,040	0,553	0,6487	1,062	0,587
0,3603	0,918	0,415	0,4182	0,956	0,451	0,4761	0,987	0,486	0,5340	1,015	0,520	0,5919	1,041	0,554	0,6498	1,063	0,588
0,3613	0,918	0,415	0,4192	0,956	0,451	0,4771	0,988	0,486	0,5351	1,016	0,521	0,5930	1,041	0,554	0,6509	1,063	0,588
0,3624	0,919	0,416	0,4203	0,957	0,452	0,4782	0,988	0,487	0,5361	1,016	0,521	0,5940	1,041	0,555	0,6519	1,064	0,589
0,3635	0,920	0,417	0,4214	0,957	0,453	0,4793	0,989	0,488	0,5372	1,017	0,522	0,5951	1,042	0,556	0,6530	1,064	0,589
0,3645	0,921	0,417	0,4225	0,958	0,453	0,4804	0,989	0,488	0,5383	1,017	0,523	0,5962	1,042	0,556	0,6541	1,064	0,590
0,3656	0,921	0,418	0,4235	0,959	0,454	0,4814	0,990	0,489	0,5393	1,018	0,523	0,5973	1,043	0,557	0,6552	1,065	0,591
0,3667	0,922	0,419	0,4246	0,959	0,455	0,4825	0,991	0,490	0,5404	1,018	0,524	0,5983	1,043	0,558	0,6562	1,065	0,591
0,3678	0,923	0,419	0,4257	0,960	0,455	0,4836	0,991	0,490	0,5415	1,019	0,524	0,5994	1,043	0,558	0,6573	1,066	0,592
0,3688	0,923	0,420	0,4267	0,960	0,456	0,4847	0,992	0,491	0,5426	1,019	0,525	0,6005	1,044	0,559	0,6584	1,066	0,592
0,3699	0,924	0,421	0,4278	0,961	0,457	0,4857	0,992	0,492	0,5436	1,020	0,526	0,6015	1,044	0,559	0,6595	1,066	0,593
0,3710	0,925	0,421	0,4289	0,962	0,457	0,4868	0,993	0,492	0,5447	1,020	0,526	0,6026	1,045	0,560	0,6605	1,067	0,594
0,3721	0,925	0,422	0,4300	0,962	0,458	0,4879	0,994	0,493	0,5458	1,020	0,527	0,6037	1,045	0,561	0,6616	1,067	0,594
0,3731	0,926	0,423	0,4310	0,963	0,459	0,4889	0,994	0,494	0,5469	1,021	0,528	0,6048	1,045	0,561	0,6627	1,068	0,595
0,3742	0,927	0,423	0,4321	0,963	0,459	0,4900	0,995	0,494	0,5479	1,021	0,528	0,6058	1,046	0,562	0,6637	1,068	0,596
0,3753	0,928	0,424	0,4332	0,964	0,460	0,4911	0,995	0,495	0,5490	1,022	0,529	0,6069	1,046	0,563	0,6648	1,069	0,596
0,3763	0,928	0,425	0,4342	0,964	0,460	0,4922	0,996	0,495	0,5501	1,022	0,529	0,6080	1,047	0,563	0,6659	1,069	0,597
0,3774	0,929	0,425	0,4353	0,965	0,461	0,4932	0,996	0,496	0,5511	1,023	0,530	0,6091	1,047	0,564	0,6670	1,069	0,597
0,3785	0,930	0,426	0,4364	0,966	0,462	0,4943	0,997	0,497	0,5522	1,023	0,531	0,6101	1,048	0,564	0,6680	1,070	0,598
0,3796	0,930	0,427	0,4375	0,966	0,462	0,4954	0,998	0,497	0,5533	1,024	0,531	0,6112	1,048	0,565	0,6691	1,070	0,599
0,3806	0,931	0,427	0,4385	0,967	0,463	0,4964	0,998	0,498	0,5544	1,024	0,532	0,6123	1,048	0,566	0,6702	1,071	0,599
0,3817	0,932	0,428	0,4396	0,967	0,464	0,4975	0,999	0,499	0,5554	1,025	0,533	0,6133	1,049	0,566	0,6713	1,071	0,600
0,3828	0,933	0,429	0,4407	0,968	0,464	0,4986	0,999	0,499	0,5565	1,025	0,533	0,6144	1,049	0,567	0,6723	1,071	0,601
0,3838	0,933	0,429	0,4418	0,969	0,465	0,4997	1,000	0,500	0,5576	1,026	0,534	0,6155	1,050	0,568	0,6734	1,072	0,601
0,3849	0,934	0,430	0,4428	0,969	0,466	0,5007	1,000	0,501	0,5586	1,026	0,534	0,6166	1,050	0,568	0,6745	1,072	0,602
0,3860	0,935	0,431	0,4439	0,970	0,466	0,5018	1,001	0,501	0,5597	1,027	0,535	0,6176	1,050	0,569	0,6755	1,072	0,603
0,3871	0,935	0,431	0,4450	0,970	0,467	0,5029	1,001	0,502	0,5608	1,027	0,536	0,6187	1,051	0,569	0,6766	1,073	0,603
0,3881	0,936	0,432	0,4460	0,971	0,468	0,5040	1,002	0,502	0,5619	1,028	0,536	0,6198	1,051	0,570	0,6777	1,073	0,604
0,3892	0,937	0,433	0,4471	0,971	0,468	0,5050	1,002	0,503	0,5629	1,028	0,537	0,6208	1,052	0,571	0,6788	1,073	0,604
0,3903	0,937	0,433	0,4482	0,972	0,469	0,5061	1,003	0,504	0,5640	1,029	0,538	0,6219	1,052	0,571	0,6798	1,074	0,605
0,3914	0,938	0,434	0,4493	0,973	0,470	0,5072	1,003	0,504	0,5651	1,029	0,538	0,6230	1,052	0,572	0,6809	1,074	0,606
0,3924	0,939	0,435	0,4503	0,973	0,470	0,5082	1,004	0,505	0,5662	1,030	0,539	0,6241	1,053	0,573	0,6820	1,075	0,606
0,3935	0,940	0,435	0,4514	0,974	0,471	0,5093	1,004	0,506	0,5672	1,030	0,539	0,6251	1,053	0,573	0,6830	1,075	0,607
0,3946	0,940	0,436	0,4525	0,974	0,471	0,5104	1,005	0,506	0,5683	1,030	0,540	0,6262	1,054	0,574	0,6841	1,075	0,608
0,3956	0,941	0,437	0,4536	0,975	0,472	0,5115	1,005	0,507	0,5694	1,031	0,541	0,6273	1,054	0,574	0,6852	1,076	0,608
0,3967	0,942	0,437	0,4546	0,976	0,473	0,5125	1,006	0,507	0,5704	1,031	0,541	0,6284	1,055	0,575	0,6863	1,076	0,609
0,3978	0,942	0,438	0,4557	0,976	0,473	0,5136	1,006	0,508	0,5715	1,032	0,542	0,6294	1,055	0,576	0,6873	1,076	0,610
0,3989	0,943	0,439	0,4568	0,977	0,474	0,5147	1,007	0,509	0,5726	1,032	0,543	0,6305	1,055	0,576	0,6884	1,077	0,610
0,3999	0,944	0,439	0,4578	0,977	0,475	0,5158	1,007	0,509	0,5737	1,033	0,543	0,6316	1,056	0,577	0,6895	1,077	0,611
0,4010	0,945	0,440	0,4589	0,978	0,475	0,5168	1,008	0,510	0,5747	1,033	0,544	0,6326	1,056	0,578	0,6906	1,077	0,612
0,4021	0,945	0,441	0,4600	0,978	0,476	0,5179	1,008	0,511	0,5758	1,034	0,544	0,6337	1,057	0,578	0,6916	1,078	0,612
0,4032	0,946	0,441	0,4611	0,979	0,477	0,5190	1,009	0,511	0,5769	1,034	0,545	0,6348	1,057	0,579	0,6927	1,078	0,613

ANNEXE C

Canalisation circulation partiellement remplie

Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh
0,697	1,080	0,615	0,755	1,099	0,650	0,813	1,114	0,685	0,871	1,126	0,723	0,929	1,135	0,763	0,987	1,139	0,810	1,044	1,133	0,869
0,698	1,080	0,616	0,756	1,099	0,651	0,814	1,115	0,685	0,872	1,126	0,723	0,930	1,135	0,764	0,988	1,139	0,811	1,046	1,133	0,870
0,699	1,080	0,617	0,757	1,100	0,651	0,815	1,115	0,686	0,873	1,126	0,724	0,931	1,136	0,764	0,989	1,139	0,812	1,047	1,132	0,872
0,700	1,081	0,617	0,758	1,100	0,652	0,816	1,115	0,687	0,874	1,126	0,725	0,932	1,136	0,765	0,990	1,139	0,813	1,048	1,132	0,873
0,701	1,081	0,618	0,759	1,100	0,653	0,817	1,115	0,687	0,875	1,126	0,726	0,933	1,136	0,766	0,991	1,139	0,813	1,049	1,131	0,875
0,702	1,081	0,619	0,760	1,100	0,653	0,818	1,116	0,688	0,876	1,126	0,726	0,934	1,136	0,767	0,992	1,139	0,814	1,050	1,131	0,876
0,703	1,082	0,619	0,761	1,101	0,654	0,819	1,116	0,689	0,877	1,126	0,727	0,935	1,137	0,767	0,993	1,139	0,815	1,051	1,130	0,878
0,705	1,082	0,620	0,762	1,101	0,654	0,820	1,116	0,689	0,878	1,127	0,728	0,936	1,137	0,768	0,994	1,139	0,816	1,052	1,130	0,879
0,706	1,082	0,620	0,764	1,101	0,655	0,821	1,117	0,690	0,879	1,127	0,729	0,937	1,137	0,769	0,995	1,139	0,817	1,053	1,129	0,881
0,707	1,083	0,621	0,765	1,102	0,656	0,823	1,117	0,691	0,880	1,127	0,729	0,938	1,137	0,770	0,996	1,139	0,818	1,054	1,129	0,883
0,708	1,083	0,622	0,766	1,102	0,656	0,824	1,117	0,691	0,881	1,127	0,730	0,939	1,138	0,770	0,997	1,139	0,819	1,055	1,128	0,884
0,709	1,084	0,622	0,767	1,102	0,657	0,825	1,117	0,692	0,883	1,127	0,731	0,940	1,138	0,771	0,998	1,139	0,820	1,056	1,128	0,886
0,710	1,084	0,623	0,768	1,102	0,658	0,826	1,118	0,693	0,884	1,127	0,732	0,942	1,138	0,772	0,999	1,139	0,821	1,057	1,127	0,888
0,711	1,084	0,624	0,769	1,103	0,658	0,827	1,118	0,693	0,885	1,127	0,732	0,943	1,138	0,773	1,001	1,139	0,822	1,058	1,127	0,889
0,712	1,085	0,624	0,770	1,103	0,659	0,828	1,118	0,694	0,886	1,128	0,733	0,944	1,138	0,773	1,002	1,139	0,823	1,060	1,127	0,891
0,713	1,085	0,625	0,771	1,103	0,660	0,829	1,119	0,695	0,887	1,128	0,734	0,945	1,139	0,774	1,003	1,139	0,824	1,061	1,126	0,893
0,714	1,085	0,626	0,772	1,104	0,660	0,830	1,119	0,695	0,888	1,128	0,735	0,946	1,139	0,775	1,004	1,139	0,825	1,062	1,126	0,894
0,715	1,086	0,626	0,773	1,104	0,661	0,831	1,119	0,696	0,889	1,128	0,735	0,947	1,139	0,776	1,005	1,139	0,826	1,063	1,125	0,896
0,716	1,086	0,627	0,774	1,104	0,662	0,832	1,119	0,696	0,890	1,128	0,736	0,948	1,139	0,777	1,006	1,139	0,827	1,064	1,125	0,897
0,717	1,086	0,628	0,775	1,104	0,662	0,833	1,120	0,697	0,891	1,128	0,737	0,949	1,139	0,777	1,007	1,139	0,828	1,065	1,124	0,899
0,718	1,087	0,628	0,776	1,105	0,663	0,834	1,120	0,698	0,892	1,129	0,738	0,950	1,139	0,778	1,008	1,139	0,829	1,066	1,123	0,902
0,720	1,087	0,629	0,777	1,105	0,664	0,835	1,120	0,698	0,893	1,129	0,738	0,951	1,139	0,779	1,009	1,139	0,830	1,067	1,121	0,905
0,721	1,087	0,629	0,779	1,105	0,664	0,836	1,121	0,699	0,894	1,129	0,739	0,952	1,139	0,780	1,010	1,139	0,831	1,068	1,119	0,909
0,722	1,088	0,630	0,780	1,106	0,665	0,838	1,121	0,700	0,895	1,129	0,740	0,953	1,139	0,781	1,011	1,139	0,832	1,069	1,117	0,913
0,723	1,088	0,631	0,781	1,106	0,665	0,839	1,121	0,700	0,897	1,129	0,741	0,954	1,139	0,782	1,012	1,139	0,833	1,070	1,116	0,916
0,724	1,089	0,631	0,782	1,106	0,666	0,840	1,121	0,701	0,898	1,129	0,741	0,955	1,139	0,783	1,013	1,139	0,834	1,071	1,114	0,920
0,725	1,089	0,632	0,783	1,106	0,667	0,841	1,121	0,702	0,899	1,129	0,742	0,957	1,139	0,784	1,014	1,139	0,835			
0,726	1,089	0,633	0,784	1,107	0,667	0,842	1,122	0,703	0,900	1,130	0,743	0,958	1,139	0,785	1,016	1,139	0,836			
0,727	1,090	0,633	0,785	1,107	0,668	0,843	1,122	0,703	0,901	1,130	0,744	0,959	1,139	0,786	1,017	1,139	0,837			
0,728	1,090	0,634	0,786	1,107	0,669	0,844	1,122	0,704	0,902	1,130	0,744	0,960	1,139	0,787	1,018	1,139	0,838			
0,729	1,090	0,635	0,787	1,108	0,669	0,845	1,122	0,705	0,903	1,130	0,745	0,961	1,139	0,788	1,019	1,139	0,839			
0,730	1,091	0,635	0,788	1,108	0,670	0,846	1,122	0,706	0,904	1,130	0,746	0,962	1,139	0,789	1,020	1,139	0,840			
0,731	1,091	0,636	0,789	1,108	0,671	0,847	1,122	0,706	0,905	1,130	0,747	0,963	1,139	0,789	1,021	1,139	0,841			
0,732	1,091	0,636	0,790	1,108	0,671	0,848	1,122	0,707	0,906	1,130	0,747	0,964	1,139	0,790	1,022	1,139	0,842			
0,733	1,092	0,637	0,791	1,109	0,672	0,849	1,123	0,708	0,907	1,131	0,748	0,965	1,139	0,791	1,023	1,139	0,843			
0,735	1,092	0,638	0,792	1,109	0,673	0,850	1,123	0,709	0,908	1,131	0,749	0,966	1,139	0,792	1,024	1,139	0,844			
0,736	1,093	0,638	0,794	1,109	0,673	0,851	1,123	0,709	0,909	1,131	0,750	0,967	1,139	0,793	1,025	1,139	0,845			
0,737	1,093	0,639	0,795	1,109	0,674	0,853	1,123	0,710	0,910	1,131	0,750	0,968	1,139	0,794	1,026	1,139	0,846			
0,738	1,093	0,640	0,796	1,110	0,674	0,854	1,123	0,711	0,912	1,131	0,751	0,969	1,139	0,795	1,027	1,139	0,847			
0,739	1,094	0,640	0,797	1,110	0,675	0,855	1,123	0,712	0,913	1,132	0,752	0,970	1,139	0,796	1,028	1,139	0,848			
0,740	1,094	0,641	0,798	1,110	0,676	0,856	1,123	0,712	0,914	1,132	0,753	0,972	1,139	0,797	1,029	1,139	0,849			
0,741	1,094	0,642	0,799	1,111	0,676	0,857	1,124	0,713	0,915	1,132	0,753	0,973	1,139	0,798	1,031	1,139	0,850			
0,742	1,095	0,642	0,800	1,111	0,677	0,858	1,124	0,714	0,916	1,132	0,754	0,974	1,139	0,799	1,032	1,139	0,851			
0,743	1,095	0,643	0,801	1,111	0,678	0,859	1,124	0,715	0,917	1,133	0,755	0,975	1,139	0,800	1,033	1,138	0,853			
0,744	1,095	0,644	0,802	1,111	0,678	0,860	1,124	0,715	0,918	1,133	0,756	0,976	1,139	0,800	1,034	1,138	0,854			
0,745	1,096	0,644	0,803	1,112	0,679	0,861	1,124	0,716	0,919	1,133	0,756	0,977	1,139	0,801	1,035	1,137	0,856			
0,746	1,096	0,645	0,804	1,112	0,680	0,862	1,124	0,717	0,920	1,133	0,757	0,978	1,139	0,802	1,036	1,137	0,857			
0,747	1,096	0,645	0,805	1,112	0,680	0,863	1,125	0,718	0,921	1,133	0,758	0,979	1,139	0,803	1,037	1,136	0,859			

ANNEXE D

Les épaisseurs minimales de les couches d'assise

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

(e en mètres)

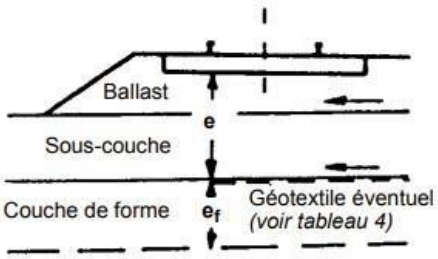


Fig. 9 - Calcul de l'épaisseur minimale "e" des couches d'assise

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

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

ANNEXE E

Fiche 7 de la norme ST N°590

SPECIFICATION TECHNIQUE N° 590B	CHAPITRE 2	SPECIFICATIONS TECHNIQUES	EDITION mars-99	PAGE 26

ARTICLE 9	SPECIFICATIONS

Fiche n° 7 : Matériaux de zone inondable

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

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

[1] si D <= 200 mm : P[D] = 99 à 85 % (Dmax = 1,25 D)
si D > 200 mm : P[D] >= 99 % (D = Dmax)

[2] mesuré sur la fraction 0/50

[3] voir recommandations d'emploi en annexes 1 et 2

Axe en plan 1/1000

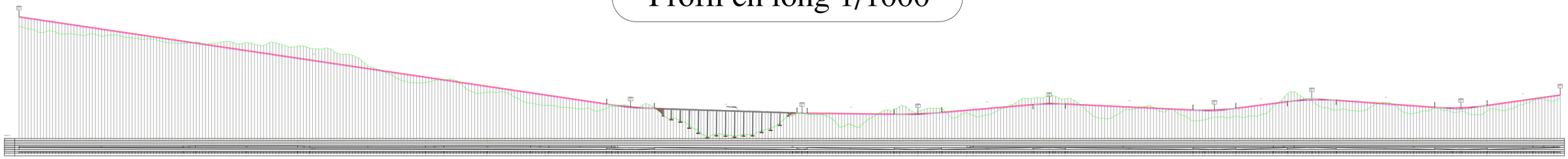


ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

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

PROJET	Réalisé par	Encadré par	Département	ELEMENT	Année universitaire
Etude En APD de La Nouvelle Ligne Ferroviaire à Voie Unique Relizane-Tiaret-Tissemsilt, Tronçon Tiaret-Tissemsilt de PK170+000 à PK182+600	EL KEBIR Med Islam SAHNOUNE Yassine	MEBARKI Rabah	DIB	Axe en plan	2024 / 2025

Profil en long 1/1000



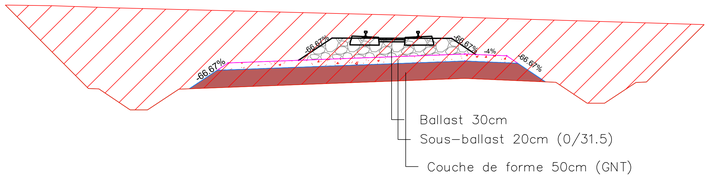
ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

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

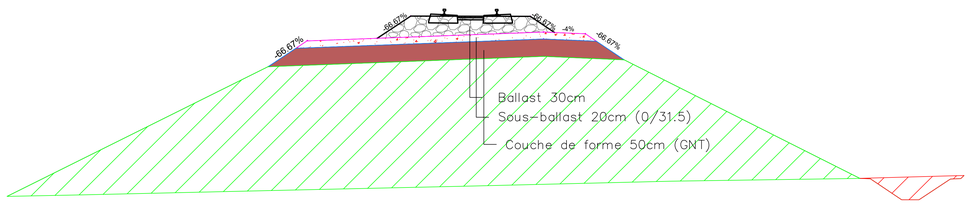
PROJET	Réalisé par	Encadré par	Département	ELEMENT	Année universitaire
Etude En APD de La Nouvelle Ligne Ferroviaire à Voie Unique Relizane-Tiaret-Tissemsilt, Tronçon Tiaret-Tissemsilt de PK170+000 à PK182+600	EL KEBIR Med Islam SAHNOUNE Yassine	MEBARKI Rabah	DIB	Profil en long	2024 / 2025

Profil en travers 1/50

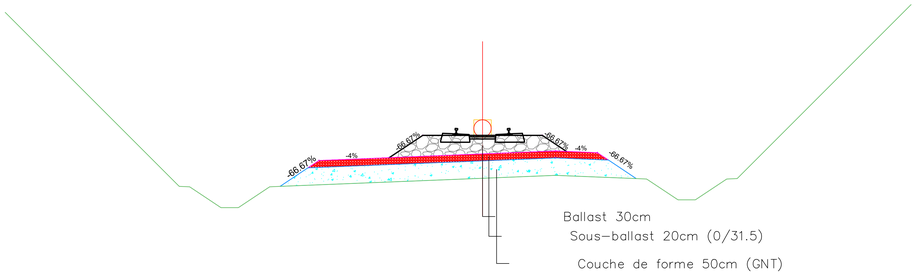
En Zone de Déblai



En Zone de Remblai



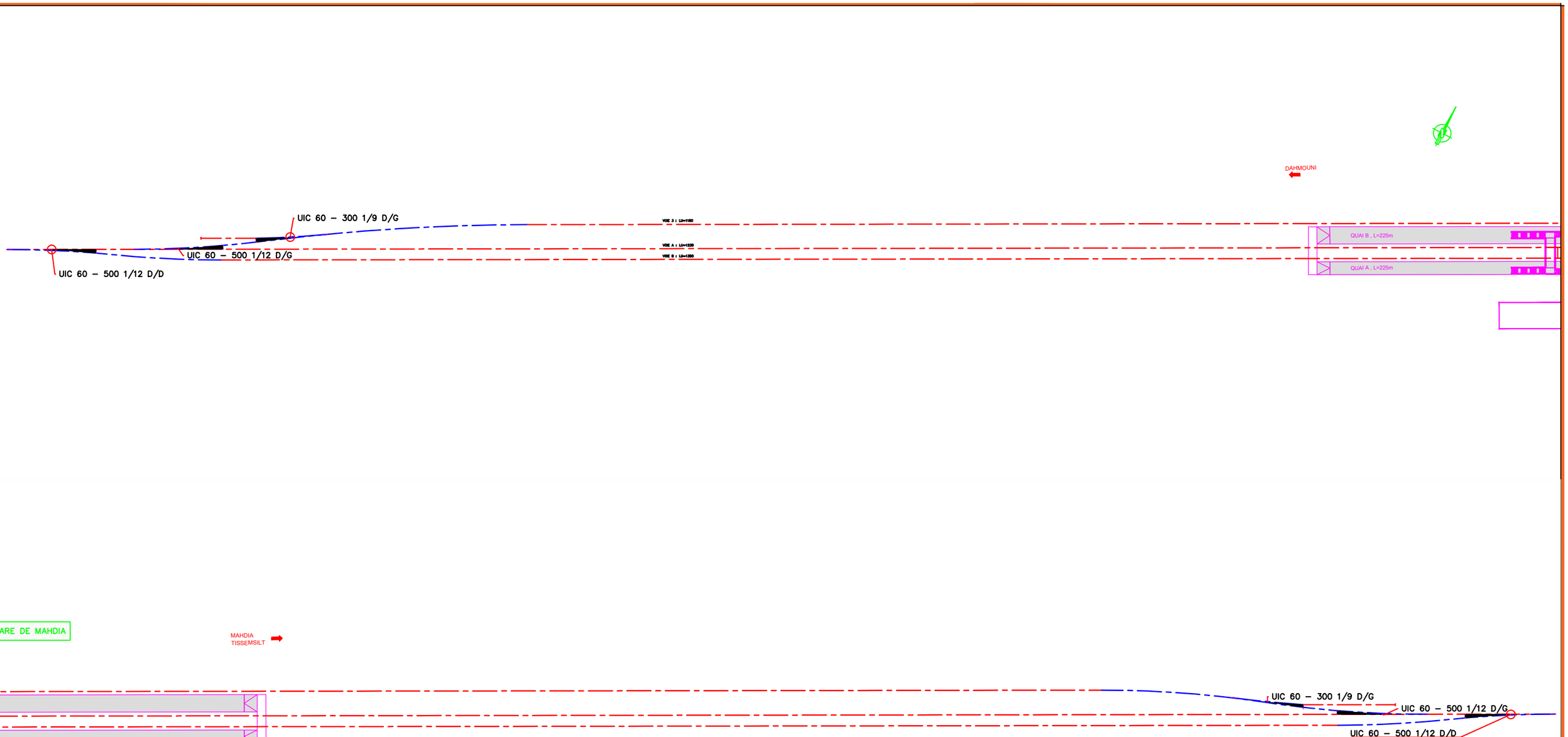
Profil en travers type 1/50



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

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

PROJET	Réalisé par	Encadré par	Département	ELEMENT	Année universitaire
Etude En APD de La Nouvelle Ligne Ferroviaire à Voie Unique Relizane-Tiaret-Tissemsilt, Tronçon Tiaret-Tissemsilt de PK170+000 à PK182+600	EL KEBIR Med Islam SAHNOUNE Yassine	MEBARKI Rabah	DIB	Profil en travers	2024 / 2025



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

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

PROJET	Réalisé par	Encadré par	Département	ECHELLE	Année universitaire
Etude En APD de la Nouvelle Ligne Ferroviaire Relizane - Tiaret - Tissemsilt: Tronçon Tiaret - Tiseemsilt de PK170 à PK182+600 avec l'aménagement de la gare de mahdia	ELKEBIR Med Islam SAHNOUNE Yassine	Ing. MEBARKI Rabah	DIB	1/100	2024 / 2025