République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية

فرنسيس جانسون

Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Béchar-Tindouf-Gara Djebilet du pk430+000 au pk450+500 avec l'aménagement et la conception de la gare de HASSI KHEBI

Présenté par :

- BENDJEDI Zineb
- LAHLOUH Asma

Encadré par :

Mr. OUALI Adel
Mr. RAHMANI Douadi

Promotion 2023/2024

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

Remerciement :

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

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

Nous souhaitons également remercier M. Rahmani pour la qualité de son enseignement et ses précieux conseils, qui ont grandement enrichi nos connaissances et compétences.

Nous sommes également reconnaissantes à SETIRAIL pour nous avoir offert l'opportunité de réaliser ce projet au sein de leur structure. Un merci particulier à BOUGUERRA Abdenacer, LATER Ibrahim et CHERIAF Reda 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 KHELIFI Ayoub, BENOMRANE Takieddine et ALLALOU Rania. Vos contributions ont été déterminantes pour la réussite de ce travail.

Nous souhaitons exprimer notre gratitude au service de scolarité DIB, en particulier à Mme MAKOUDI Imane, Mme BOUREBIA Mehdia, Mme. BOUMAHREZ Nada, Mme. LOUNAS Sabrina, et Mme. KOBTANE Nassima 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, I would like to praise Allah the Almighty, the Most Gracious, and the Most Merciful for His blessing given to me during my study and in completing this thesis.

To my parents,

I know that we don't get to choose our parents, but if I had the opportunity to choose mine, I'd choose you a million times and in a heartbeat.

To my dear mom, Malika, whose love and warmth fill our home with boundless joy. Thank you for being not just the best mom in the world, but my guiding light. Your heartfelt prayers are my strength; I can't imagine where I'd be without them. Your constant presence in my life is a blessing beyond measure.

To my beloved dad, Akli, my hero, whose kind heart, patience, understanding, and wisdom illuminate our home with love and fill my heart with endless gratitude and admiration. Your love, guidance, and support have shaped me into who I am today. I am forever grateful for your presence in my life.

To my sister, Lamia, the embodiment of everything I aspire to be. You are the best sister anyone could ever ask for. If I were dying on my knees, you would be the one to rescue me. And if you were drowned at sea, I'd give you my lungs so you could breathe. And if we hit on troubled water, I'll be the one to keep you warm and safe and we'll be carrying each other, Until we say goodbye on our dying day.

To my spoiled and cherished kitty, thank you for your comforting presence and warmth, always by my side during long hours of study.

To my loving grandparents Mani Djamila and Djedou Mohand may allah have mercy on his kind soul, Mani Ouardia and Djedou Arezki.

To my uncles, aunts, and cousins, thank you for your support.

To the family that I got to choose, my friends, who have raised the standards in friendship to new heights ; Maria BELHAMISSI, Aya BENDILA, Meriem SAHBANE, Chaima DAMOUS, Yasmine TABET, Selsabil BENDAAS, Sami FARADJI, Mohamed DJABOUB, Amine BENNACER, Yassine SAHNOUNE, Abderrahmane AMMALI. Thank you for the countless memories we have shared, and to many more in the future.

To my classmates: Feriel RABAHI, Kawtar BOUREGA, Maissa HAFSAOUI, Besma BENSEBAA, Aymen BALI, Othmane HADJAB, Salah ZAAF Anis MANALLAH, Imad HACHID and Tarek BOUAROURI.

And last but not least, to my partner on this ride, Zineb BENDJEDI, thank you for filling these past 4 months with hysterical laughter, love, and a sense of calm amidst all the challenges. I am deeply grateful for the opportunity to work on this thesis with you, and I wouldn't want to be partners with anyone else but you. Your presence has brought so much joy and warmth into my life, and I cherish our bond more than words can express. I can’t help but wish we had met sooner. You have made this past year so much brighter. I am also thankful for your kind parents, your lovely sisters, and your Uncle Fethi's late-night rides.We made it without derailing… well, mostly!

Asma.

Dédicace

Au nom d'Allah, le Clément et Miséricordieux, je remercie Allah le Tout-Puissant de m'avoir motivé à réaliser ce modeste travail.

J'ai l'immense honneur de dédier ce modeste travail à :

À ma très chère mère, qui a tout sacrifié pour mon bien-être et ma réussite. Ta tendresse et ton dévouement sont inégalables. Tu es et resteras la première femme de ma vie, ma raison d'être. Puisse Dieu te bénir et te préserver en bonne santé pour moi.

À mon très cher père, mon modèle et ma source d'inspiration. Ta sagesse et ton soutien indéfectible m'ont guidée tout au long de mon parcours. Puisse Dieu te combler de ses bénédictions et te maintenir en bonne santé.

À mes frères et sœurs bien-aimés, Hana, Karima, Bilel,
Vous êtes mes premiers amis et mes alliés pour toujours. Votre compréhension et votre soutien ont été une source de force tout au long du chemin. Merci d'avoir toujours été là avec une oreille attentive et un cœur solidaire.

À mes chers grands-parents, Yema Hefsa et Baba Saad, qui m'ont soutenue tout au long de mes études. Je prie Dieu de vous accorder une longue vie, ainsi qu'une santé et un bien-être constants.

Que Dieu ait en sa miséricorde mon grand-père et ma grand-mère, Ahmed et Zineb, et les accueille dans son vaste paradis.

À mon cher oncle Fethi qui m'a soutenu tout au long de mon parcours, aucun remerciement ne suffit pour exprimer ma gratitude envers vous.

À mon binôme Asma,

Je tiens à te remercier du fond du cœur pour ton dévouement et ta rigueur tout au long de ce projet. Alors que de nombreux binômes se disputent durant les projets de fin d'études, tu as été un choix exceptionnel, tant par ton expertise que par ta gentillesse et ta compréhension. Je suis profondément reconnaissante d'avoir travaillé avec toi. Tu es bien plus qu'un simple binôme : tu es une amie précieuse. Que Dieu protège tes parents, qui t'ont élevée avec tant de valeurs. J'espère de tout cœur que notre amitié durera pour toujours, ma chère compagne de ce chemin difficile.

À mes chers amis, Kahina, Selma, Ashraf, Imad, Ryad, Marwa, Issam, Yasmine, Yasmine, Irama, Amira , Zinou,
Votre amitié a enrichi ma vie d'une manière que je ne saurais exprimer pleinement. Merci d'avoir été à mes côtés, pour les rires et les moments partagés qui ont rendu même les périodes les plus difficiles plus lumineuses. Votre confiance en moi a été une source d'inspiration constante.

À tous ceux qui ont été partie prenante de ce parcours, Anis, Selsabil, Feriel, Besma, Maissa, Moh, Othman, Salah et Tarek merci pour votre aide précieuse.

Good bye ENSTP see you next year……

Or not ;(

Zineb

Résumé :

Le présent mémoire porte sur une étude en Avant-Projet Détaillé (APD) de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique de Béchar à Tindouf, avec extension jusqu'à Gara Djebilet, du PK 430+000 au PK 450+500, incluant l'aménagement et la conception de la gare de Hassi Khebi. Ce projet est une première en Algérie et suit 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 partie géotechnique a été adaptée pour accueillir une charge par essieu de 32.5 tonnes, nécessaire pour supporter le transport prévu jusqu'à 50 millions de tonnes par an. Les logiciels utilisés pour ce projet incluent AutoCAD, InfraWorks, SketchUp, ArchiCad et Lumion.

Summary :

This thesis focuses on a Detailed Preliminary Study (APD) of the new single-track railway line from Bechar to Tindouf, with an extension to Gara Djebilet, from PK 430+000 to PK 450+500, including the development and design of Hassi Khebi station. This project marks a first in Algeria and complies with the standards of the International Union of Railways (UIC), as well as specific recommendations from the Algerian National Railway Company (SNTF). The geotechnical aspect has been adapted to accommodate an axle load of 32.5 tons, necessary to support the planned transport of up to 50 million tons per year. The softwares used for this project include AutoCAD, InfraWorks, SketchUp, ArchiCAD, and Lumion.

ملخص:

تركز هذه المذكرة على إجراء دراسة تفصيلية أولية (APD) لقسم من الخط الحديدي الجديد ذو المسار الواحد من بشار إلى تندوف، مع امتداد إلى غارة جبيلات، من النقطة الكيلومترية PK 430+000 إلى PK 450+500، بما في ذلك تطوير وتصميم محطة حاسي خبي. يمثل هذا المشروع الأول من نوعه في الجزائر ويتوافق مع معايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC)، بالإضافة إلى توصيات محددة من الشركة الوطنية للسكك الحديدية الجزائرية (SNTF). تم تعديل الجانب الجيوتقني لاستيعاب حمل محوري يبلغ 32.5 طنًا، وهو ضروري لدعم النقل المخطط له حتى 50 مليون طن سنويًا. تشمل البرامج المستخدمة في هذا المشروع Civil 3D، InfraWorks، AutoCAD، SketchUp، ArchiCad وLumion.

Symboles et Abréviations :

ANESRIF : Agence Nationale d'Etude et Suivi des Investissements Ferroviaires
SNTF : Société Nationale des Transports Ferroviaires.
SETIRAIL : Société d'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
LIDAR : Light Detection and Ranging
GPS: Global Positioning System
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 MATIERES

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale……...…1

CHAPITRE I : GENERALITES

I. Chapitre I : Généralités..... 3
I.1 LE SYSTEME FERROVIAIRE : 3
I.2 LA VOIE FERREE..... 3
I.3 SUPERSTRUCTURE 3
I.3.1 L'ARMEMENET DE LA VOIE : 3
I.3.1.1 Le rail : 3
I.3.1.2 Les traverses : 4
I.3.1.3 Les attaches : 4
I.3.1.4 Les semelles : 4
I.3.1.5 Le ballast : 5
I.3.2 CARACTÉRISRTIQUES DES DISPOSITIFS DE LIAISON : 5
I.3.2.1 L'appareil de voie : 5
I.3.3 POSE DE VOIE : 5
I.4 CONCLUSION : 6
II. Chapitre II : Recherche Bibliographique..... 7
II.1 INTRODUCTION :..... 7
II.2 OBJECTIFS DE L'ETUDE :..... 7
II.3 FONDEMENTS THEORIQUES DES VIBRATIONS FERROVIAIRES : 7
II.3.1 Génération des vibrations par le trafic ferroviaire :..... 7
II.3.2 Facteurs influençant les vibrations : 8
II.4 LES CAUSES : 8
II.4.1 Caractéristiques des trains : 8
II.4.2 Irrégularités de la voie : 8
II.4.3 Interaction roue-rail : 8
II.4.4 Flexibilité de la voie : 8
II.4.5 Conditions du sol :..... 8
II.4.6 Effets atmosphériques : 8
II.4.7 Équipements auxiliaires : 8
II.5 LES CONSEQUENCES : 8
II.5.1 Fatigue des matériaux :..... 8
II.5.2 Dégradation des voies ferrées :..... 9
II.5.3 Rupture des équipements :..... 9
II.5.4 Déstabilisation des sols : 9
II.5.5 Inconfort et nuisances pour les passagers :..... 9
II.5.6 Impact sur la sécurité :..... 9
II.5.7 Augmentation des coûts de maintenance : 9
II.6 DES SOLUTIONS POUR REDUIRE LA TRANSMISSION DES VIBRATIONS :..... 9

TABLE DES MATIERES

II.7 CONCLUSION : 10
III. CHAPITRE III : Présentation du Projet 11
III.1 INTRODUCTION 11
III.2 PRESENTATION DU PROJET : 11
III.2.1 RELIEF : 12
III.2.2 CLIMAT : 12
III.2.3 SISMICITÉ : 12
III.3 PRESENTATION DU PROJET ETUDIE : 12
III.4 LES CARACTÉRISTIQUES DU PROJET : 13
III.5 LES CARACTÉRISTIQUES DE LA VOIE : 13
III.5.1 Écartement : 13
III.5.2 Charges à l'essieu : 13
III.5.3 Vitesses : 13
III.5.4 Plate-forme de voie : 13
III.5.5 Gabarit : 13
III.6 LES CARACTÉRISTIQUES DE LA SUPERSTRUCTURE : 13
III.6.1 Rails : 13
III.6.2 Traverse : 14
III.6.3 Attache : 14
III.6.4 Semelle : 14
III.6.5 Appareils de voie : 14
III.6.6 BALLAST : 15
III.7 LA TOPOGRAPHIE : 15
III.7.1 Préparation et Matérialisation de la Polygonale Principale 16
III.7.2 Levé Topographique 16
III.7.3 Traitement des Données 16
III.7.4 Présentation des Résultats 16
III.7.5 Réseau de Base 16
III.7.6 6. Référentiel Géodésique 16
Calcul des Coordonnées Planimétriques : 16
III.7.7 Altimétrie 17
III.7.8 Toponymie 17
III.7.9 Vérification et Validation 17
III.7.10 Moyens Humains et Matériels 17
III.8 PLAN DE TRANSPORT : 17
III.8.1 Description des données d'entrée 18
III.8.2 Récapitulation générale. 19
III.9 CONCLUSION : 20
IV. Chapitre IV : Etude Géométrique 21
IV.1 INTRODUCTION : 21

TABLE DES MATIERES

IV.2 TRACÉ EN PLAN : 21
IV.2.1 CONDITIONS ET RÈGLES À RESPECTER DANS LE TRACÉ EN PLAN : 21
IV.2.2 CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES : 22
IV.2.2.1 Les doucines 23
IV.2.3 APPLICATION SUR LE PROJET : 23
IV.3 PROFIL EN LONG : 25
IV.3.1 LES ÉLÉMENTS DE COMPOSITION DU PROFIL EN LONG : 26
IV.3.1.1 LES ALIGNEMENTS DROITS : 26
IV.3.1.2 LES RACCORDEMENTS : 27
IV.3.2 APPLICATION SUR LE PROJET : 28
IV.4 CONCLUSION : 28
V. Chapitre V : Etude Hydrologique et Hydraulique 29
V.1 INTRODUCTION : 29
V.2 ÉTUDE HYDROLOGIQUE : 29
V.2.1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE : 29
V.2.2 LES CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES ET PLUVIOMÉTRIQUES : 31
V.2.2.1 LE CLIMAT : 31
V.2.2.2 LA TEMPÉRATURE : 31
V.2.2.3 LA PRÉCIPITATION : 31
V.2.2.4 LE VENT : 33
V.2.3 LES CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES BASSINS VERSANTS... 33
V.2.4 CALCUL DE DEBIT MAXIMAL DANS LES BASSINS VERSANTS (DEBIT DE CRUE) : 34
V.2.4.1 Formule rationnelle (A<10 km²) 34
V.2.4.2 CALCUL DU TEMPS DE CONCENTRATION 36
V.2.5 RESULTATS DE CALCUL DES DEBITS : 37
V.3 ETUDE HYDRAULIQUE : 37
V.3.1 Dimensionnement des ouvrages transversaux : 37
V.3.1.1 DIMENSIONNEMENT DES BUSES : 37
V.3.2 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES LONGITUDINAUX (FOSSÉS) : 39
V.4 CONCLUSION : 41
VI. Chapitre VI : Etude Géologique et Géotechnique 42
VI.1 INTRODUCTION : 42
VI.2 ETUDE GEOLOGIQUE : 42
VI.2.1 APERÇU GEOLOGIQUE REGIONAL : 42
VI.2.2 APERÇU GEOLOGIQUE LOCAL 43
VI.2.3 RISQUE GEOLOGIQUE : 44
VI.3 ETUDE GEOTECHNIQUE : 44
VI.3.1 PROGRAMME D'INVESTIGATION GEOTECHNIQUE : 44
VI.3.1.1 LOT TRACE : 45

TABLE DES MATIERES

VI.3.1.2 Résultats des essais de laboratoire 47
VI.3.2 UNITES GEOTECHNIQUES : 48
VI.3.3 EMPRUNT ET DÉPÔT : 48
VI.3.3.1 IDENTIFICATION DES GITES À MATÉRIAUX : 48
VI.3.3.2 IDENTIFICATION DES ZONES DE DÉPÔT : 49
VI.4 CONCLUSION : 49
VII. Chapitre VII : Assise Ferroviaire 50
VII.1 INTRODUCTION : 50
VII.2 LES COUCHES D'ASSISE FERROVIAIRE : 50
VII.2.1 SOUS-COUCHE : 50
VII.2.2 SOUS-BALLAST : 51
VII.2.3 COUCHE DE FONDATION : 51
VII.2.4 PLATE-FORME : 51
VII.3 CLASSIFICATION DES SOLS POUR LA PLATE-FORME : 51
VII.4 CLASSE DE PORTANCE : 52
VII.4.1 PLATE-FORME PROPOSEE : 53
VII.4.2 COUCHE DE FORME : 53
VII.5 CALCUL DES EPAISSEURS MINIMAUX DE LA COUCHE D'ASSISE : 53
VII.6 EXIGENCES SUR LES CONSTITUANTS DE BALLAST 54
VII.7 EXIGENCES SUR LES CONSTITUANTS DE L'ASSISE : 55
VII.7.1 Couche de sous-ballast : 55
VII.7.2 Couche de fondation 55
VII.7.3 Couche de forme de qualité QS3 : 55
VII.8 CONCLUSION : 55
VIII. Chapitre VIII : Terrassement 56
VIII.1 INTRODUCTION 56
VIII.2 TERRASSEMENTS : 56
VIII.2.1 CONDITIONS DE REALISATION DES REMBLAIS 56
VIII.2.2 CONDITIONS D'EXCAVATION DES DEBLAIS : 57
VIII.2.3 STABILITE DES TALUS : 57
VIII.2.4 TASSEMENT : 58
VIII.2.5 PENTES DES TALUS : 58
VIII.2.6 COMPACTAGE : 58
VIII.3 LES OUVRAGES : 59
VIII.3.1 Les obstacles à franchir 59
VIII.3.2 LES OUVRAGES D'ART POUR NOTRE PROJET : 60
VIII.3.2.1 Rétablissement routier : 60
VIII.3.2.2 Piste à supprimer : 60
VIII.3.2.3 Les ouvrages hydrauliques : 61
VIII.4 Conclusion 61

TABLE DES MATIERES

IX. Chapitre IX : Profil en Travers Type 62
IX.1 INTRODUCTION : 62
IX.2 LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS 62
IX.2.1 Éléments de la superstructure : 62
IX.2.2 Éléments de l'infrastructure : 62
IX.2.3 Éléments des talus : 62
IX.2.4 Éléments d'assainissement : 62
IX.3 PROFIL EN TRAVERS DU PROJET ETUDIE : 62
IX.4 CALCUL DES CUBATURES 63
IX.5 CONCLUSION 63
X. Chapitre X : Conception et Aménagement de la gare 64
X.1 INTRODUCTION : 64
X.2 TYPE DE GARE : 64
X.3 ÉTUDE DU PLAN DE MASSE DE LA GARE : 64
X.4 AMÉNAGEMENT DE LA GARE: 65
X.4.1 INSTALLATION D'UNE GARE À VOYAGEUR : 65
X.4.2 SCHÉMA DE PRINCIPE DE LA GARE : 65
X.4.3 PLAN DE VOIE DE LA GARE : 65
X.4.3.1 LES APPAREILS DE VOIE : 66
X.4.3.2 RÈGLES D'IMPLANATATION DES APPAREILS DE VOIE : 66
X.4.3.3 GARAGE FRANC : 67
X.4.3.4 HEURTOIR : 67
X.4.3.5 LONGUEUR UTILE : 67
X.5 CARACTÉRISTIQUES GÉOMETRIQUES DES GARES : 68
X.5.1 DECLIVITE DANS LES GARES : 68
X.5.2 QUAI : 68
X.5.2.1 La longueur des quais (normes SNTF) : 68
X.5.2.2 La largeur des quais : 68
X.5.2.3 Hauteur des quais : 68
X.5.2.4 La distance à l'axe de la voie : 69
X.6 MODÉLISATION DE LA GARE DE HASSI KHEBI EN UTILISANT LES LOGICIELS BIM : 69
X.6.1 LOGICIELS UTILISÉS : 70
X.6.2 COLLABORATIONS ENTRE LES LOGICIELS DE BIM : 70
X.6.3 RÉSULTATS DE LA COLLLABORATION : 71
X.7 CONCLUSION : 71
XI. Chapitre XI : Drainage et Assainissement de la Gare 73
XI.1 INTRODUCTION 73
XI.2 CONSIDERATION GENERALE ET CONCEPTION DE SYSTEME 73
XI.3 Calcul des débites affluentes au système de drainage longitudinal : 73
XI.3.1 Les différents bassins à délimiter : 73

TABLE DES MATIERES

XI.3.2 Les caractéristiques des drains : 74
XI.3.2.1 Drains longitudinaux : 74
XI.3.2.2 Drains transversaux : 75
XI.3.3 Dimensionnement des drains : 75
XI.4 Conclusion : 77
XII. Chapitre XII : Signalisation Ferroviaire 78
XII.1 INTRODUCTION : 78
XII.2 OBJET DE LA SIGNALISATION FERROVIAIRE : 78
XII.3 LES SIGNAUX : 78
XII.4 LES DIFFÉRENTS TYPES DE BLOCS : 79
XII.5 LE CANTONNEMENT : 79
XII.6 ASPECTS DES SIGNAUX : 80
XII.7 LE PRINCIPE DU SYSTÈME DE SIGNALISATION ERTMS : 82
XII.7.1 LES FONCTIONS DE L'ERTMS : 82
XII.8 APPLICATION SUR NOTRE PROJET : 82
XII.9 CONCLUSION : 83
XIII. Chapitre XIII : Etude d'Impact sur l'Environnement 84
XIII.1 INTRODUCTION : 84
XIII.2 OBJECTIF DE L'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT : 84
XIII.3 ETAT INITIAL DE LA ZONE D'ETUDE : 84
XIII.3.1 SITUATION DE LA ZONE D'ETUDE : 84
XIII.3.2 MILIEU PHYSIQUE 84
XIII.3.2.1 TOPOGRAPHIE 84
XIII.3.2.2 CLIMAT 85
XIII.3.2.3 TEMPERATURE 85
XIII.3.2.4 PRECIPITATION 85
XIII.3.2.5 VENT 85
XIII.3.2.6 QUALITE DE L'AIR 85
XIII.3.2.7 GEOLOGIE 85
XIII.3.2.8 TECTONIQUE 85
XIII.3.2.9 HYDROLOGIE 85
XIII.3.3 MILIEU BIOLOGIQUE : 86
XIII.3.3.1 LA FAUNE 86
XIII.3.4 PATRIMOINE HISTORIQUE ET ARCHEOLOGIQUE : 86
XIII.3.5 MILIEU HUMAIN 87
XIII.3.5.1 DEMOGRAPHIE 87
XIII.3.5.2 AGRICULTURE 87
XIII.4 EVALUATION DES IMPACTS 87
XIII.4.1 IMPACTS NEGATIFS : 87
XIII.4.1.1 IMPACTS EN PHASE DE CHANITER : 87

TABLE DES MATIERES

XIII.4.1.2 IMPACT EN PHASE D'EXPLOITATION : 87
XIII.4.2 MESURES PRISES POUR MINIMISER LES IMPACTS : 87
XIII.4.2.1 MESURES EN PHASE DE CHANTIER : 87
XIII.4.2.2 MESURES EN PHASE D'EXPLOITATION : 88
XIII.4.3 LES IMPACTS POSITIFS : 88
XIII.5 CONCLUSION : 88
XIV. Chapitre XIV : Devis Quantitatif et Estimatif 89
XV. Chapitre XV : Planification du Projet 91
XV.1 INTRODUCTION 91
XV.2 PLANIFICATION 91
XV.2.1 Objectif de la Planification 91
XV.3 DIAGRAMME DE GANTT 91
XV.4 APPLICATION SUR NOTRE PROJET : 92
XVI. Conclusion générale 93

LISTE DES FIGURES

Figure I.1-Composants de la section transversale du rail. *4*
Figure III.1-Plan synoptique de la ligne minière *11*
Figure III.2-Carte zonage sismique de l'Algérie avec l'implantation du projet *12*
Figure III.3-Rail UIC60 E1. ..... *13*
Figure III.4-Attache Elastique Renforcé. *14*
Figure III.5-Appareil de voie UIC 60 E1 500 1/12 ..... *14*
Figure III.6-Appareil de voie UIC 60 E1 500 1/9 ..... *14*
Figure III.7-Ballast *15*
Figure IV.1-Elément de tracé en plan *19*
Figure V.1-Figure V.1-Carte des bassins hydrographiques de l'Algérie. *26*
Figure V.2-Carte des sous bassins versants du Sahara Algérien. *27*
Figure V.3-Localisation géographique du projet *27*
Figure V.4-Carte des étages bioclimatiques de l'Algérie. *28*
Figure V.5-Délimitation des bassins versants du projet d'étude. *30*
Figure VI.1-Apperçu géologique régional. *40*
Figure VI.2-Apperçu géologique local. *40*
Figure VII.1-Assise Ferroviaire. *51*
Figure VIII.1-Passages supérieurs projetés dans notre projet. *57*
Figure VIII.2-Buses Projetées dans notre projet. *58*
Figure X.1-Schéma illustratif du garage franc *64*
Figure X.2-Heurtoir *65*
Figure X.3-Schéma illustrative de la longueur utile *65*
Figure X.4-La hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie *66*

LISTE DES TABLEAUX

Table III.1-Tableau Récapitulatif du Plan de Transport 15
Table IV.1-Vitesse des trains maximale 19
Table IV.2-Paramètres géométriques de tracé en plan (SNTF). 19
Table IV.3-Tableau récapitulatif des paramètres du tracé 20
Table IV.4-Tableau récapitulatif des paramètres du tracé 22
Table IV.5-Rayon vertical 22
Table IV.6-Paramètres géométriques de profil en long (SNTF). 23
Table V.1-Températures mesurées à Tindouf pour la période (1992-2020) 27
Table V.2-Pluviométrie mensuelle moyenne de la période (1992 – 2020) 27
Table V.3-Les précipitations annuelles. 27
Table V.4-Les précipitations mensuelles et saisonnières. 28
Table V.5-Les caractéristiques morphologiques des bassins versants 29
Table V.6-Coefficient de ruissellement C1 30
Table V.7-Coefficient de ruissellement C2 30
Table V.8-Coefficient de ruissellement C3 31
Table V.9-Les valeurs des paramètres de Montana pour les différentes périodes de retour. 31
Table V.10-Résultats de Calcul du temps de concentration par les 3 méthodes 32
Table V.11-Résultats de calcul de débit pour une période de 100ans avec la méthode rationnelle. 32
Table V.12-Condition d'auto-curage pour le BV N°6 34
Table V.13-Liste globale des ouvrages busés à projeter 34
Table V.14-Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai. 36
Table V.15-Dimensionnement du fossé proposé 36
Table VI.1-Programme d'investigation sur les 20km de notre zone d'étude 38
Table VI.2-Programme d'investigation du Lot tracé 39
Table VI.3-La lithologie des puits de reconnaissance. 40
Table VI.4-Résumé des résultats des essais de laboratoire réalisés sur les échantillons des puits de reconnaissance. 41
Table VI.5-Résumé des résultats de l'essai du pénétromètre dynamique. 41
Table VI.6-Interprétation des résultats du programme d'investigation géotechnique. 42
Table VI.7-Liste des gites d'emprunt et leurs fiches techniques. 43
Table VI.8-Plan de localisation des zones de dépôt 43
Table VII.1-Classification UIC 47
Table VII.2-Epaisseur de la CDF selon la qualité du sol support et la classe de portance. 48
Table VII.3-Exigences sur le Ballast 49
Table VIII.1-Obstacles à franchir 54
Table VIII.2-Liste de rétablissement routier 55
Table VIII.3-Liste des ouvrages hydrauliques 55
Table IX.1-Section du profil en travers 57
Table IX.2-Cubatures de terrassement 57
Table IX.3-Cubatures de la couche d'assise 57
Table X.1-Les longueurs minimales de l'appareil de voie. 60
Table X.2-Les longueurs des voies utiles de la gare. 62
Table X.3-Tableau récapitulatif sur les quais. 63
Table XI.1-Caractéristiques du BV1 68
Table XI.2-Caractéristiques du BV2 68
Table XI.3-Caractéristiques du BV3 68
Table XI.4-Caractéristiques du BV4 68
Table XI.5-Caractéristiques des Buses 69
Table XI.6-Dimension du drain du BV1 70
Table XI.7-Dimension du drain du BV2 70
Table XI.8-Dimension du drain du BV3 70
Table XI.9-Dimension du drain du BV4 70
Table XI.10-Dimensions des Buses Transversales 71
Table XII.1-Les principaux signaux ferroviaires et leurs indications 74
Table XIII.1-Estimation de la population et de la densité dans les communes concernées par le projet pour l'année 2020. (Source Monographie 2020) 81

Introduction Générale :

La voie ferrée en Algérie présente un aperçu historique du développement des chemins de fer dans le pays. Le premier chemin de fer en Algérie a été inauguré en 1857, reliant la ville d'Alger à Blida. Par la suite, d'autres lignes ont été construites, créant un réseau ferroviaire qui s'étendait à travers le pays. Ces chemins de fer ont joué un rôle important dans le développement économique de l'Algérie, en permettant le transport de marchandises, de passagers et de matières premières. Les défis et les opportunités auxquels le secteur ferroviaire algérien est confronté actuellement, ainsi que les efforts déployés pour moderniser et étendre le réseau ferroviaire dans le pays.

Les infrastructures de transport, notamment la voie ferrée, jouent un rôle essentiel dans la connectivité et la mobilité des personnes et des marchandises. Elles servent de base pour le fonctionnement efficace du système de transport d'un pays. Cette première section vise à introduire l'importance des infrastructures de transport et à mettre en lumière les défis auxquels elles sont confrontées. Elle abordera également les perspectives d'amélioration pour garantir un réseau ferroviaire moderne, performant et durable.

Le transport ferroviaire, qui propose des services concurrentiels aux voyageurs et aux expéditeurs à travers tout le pays, constitue un pilier fondamental de la compétitivité et de l'attrait, tant au niveau national que local. Il revêt désormais une importance économique, sociale et environnementale majeure, compte tenu de ses multiples avantages par rapport au transport routier. De plus, il se distingue par sa capacité à acheminer d'importantes quantités de marchandises sur de longues distances.

Ce projet s'inscrit dans le cadre de la relance économique et des objectifs fixés par les pouvoirs publics, notamment la valorisation du gisement de Gara Djebilet. Il aura des retombées économiques significatives pour le pays, tant à court qu'à long terme. Sa rentabilité dépend de la réalisation de la nouvelle ligne minière Ouest Béchar-Tindouf-GARA DJEBILET, s'étendant sur 950 km dans une première phase, avec une prolongation prévue vers le port d'Arzew.

Notre étude se focalise sur un tronçon de 20km débutant avant l'arrivé à la ville de HASSI KHEBI au pk 430+000 au pk 450+500, avec la conception et l'aménagement de la gare de HASSI KHEBI à l'environ du pk 440+000.

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 Béchar-Tindouf-GARA DJEBILET.

Notre étude se concentre sur une Etude d'Avant-Projet Détaillé (APD), et le travail est constitué de plusieurs chapitres portant :

- Des généralités sur la voie ferrée ;
- Une recherche bibliographique sur les vibrations dues à la circulation des trains sur le sol ;
- Une présentation du projet ;
- Etude géométrique, hydrologique et hydraulique ainsi qu'une étude géologique et géotechnique ;
- Un dimensionnement de la couche d'assise à partir des résultats de l'étude géologique et géotechnique ;
- Réalisation des terrassements et définition du profil en travers type, assurant la stabilité et la qualité de la voie ferrée à travers les phases de déblai, remblai et conditions de mise en œuvre.
- Conception, aménagement et modélisation de la gare de Hassi Khebi en utilisant le BIM pour un design efficace, incluant le dimensionnement des systèmes de drainage et d'assainissement pour assurer la gestion optimale des eaux de la gare ;
- Installation des systèmes de signalisation pour assurer la sécurité et la régulation du trafic ferroviaire ;
- Étude d'impact environnemental pour évaluer les implications écologiques et sociales du projet ;
- Une estimation des coûts du projet et coordination globale pour une mise en œuvre efficace et réussie.

Nous concluons ce travail en soulignant l'acquisition de connaissances, de compétences et d'expériences précieuses tirées de ce projet, qui enrichiront notre parcours professionnel à venir.

Chapitre I : Généralités.

I. Chapitre I : Généralités

I.1 LE SYSTEME FERROVIAIRE :

Le système ferroviaire englobe l'ensemble des infrastructures, des équipements et des opérations associées au transport ferroviaire. Il comprend plusieurs éléments interdépendants, tels que les voies ferrées, les gares, les trains, les systèmes de signalisation, les installations de maintenance, et les réglementations qui régissent leur fonctionnement.

Son fonctionnement repose sur une coordination complexe entre les différentes parties prenantes, y compris les autorités de régulation, les compagnies ferroviaires, les fournisseurs d'équipements et les usagers du transport ferroviaire.

I.2 LA VOIE FERREE

La voie ferrée est un réseau d'infrastructures linéaires conçu pour guider et sécuriser le déplacement des trains. Elle représente l'ossature fondamentale du système ferroviaire, offrant un trajet spécifique pour les convois à travers un territoire donné. En tant que composante essentielle de l'ingénierie ferroviaire, la voie ferrée assure la continuité des opérations de transport tout en permettant l'acheminement efficace des passagers et des marchandises.

I.3 SUPERSTRUCTURE

La superstructure ferroviaire est essentielle pour le bon fonctionnement du transport ferroviaire. Composée de rails, traverses, fixations, ballast, aiguillages et signaux, elle supporte le poids des trains et guide leur mouvement. Elle doit résister aux charges statiques et dynamiques des trains, ainsi qu'aux conditions environnementales. Pour assurer la sécurité et la fluidité du trafic, une maintenance régulière est nécessaire, incluant le remplacement des composants usés et des inspections périodiques pour détecter les défaillances. Les entreprises ferroviaires et les gestionnaires d'infrastructures doivent donc se concentrer sur la mise à jour et l'entretien de cette superstructure pour garantir un transport fiable et sécurisé.

I.3.1 L'ARMEMENET DE LA VOIE :

I.3.1.1 Le rail :

Les rails sont des éléments en acier posés sur des traverses en bois ou en béton, forment la voie ferrée avec un écartement standard de 1435mm. Inclinés à 1/20 pour centrer les roues, ils supportent les charges, guident les trains et transmettent le courant électrique.

Les composants du rail incluent le patin, le champignon, l'âme et la table de roulement.

Les rails, produits en longueurs de 18 à 36 mètres, sont assemblés par deux méthodes : éclisses et soudures (aluminothermique et électrique). Ces techniques garantissent la durabilité et la sécurité des voies ferrées.

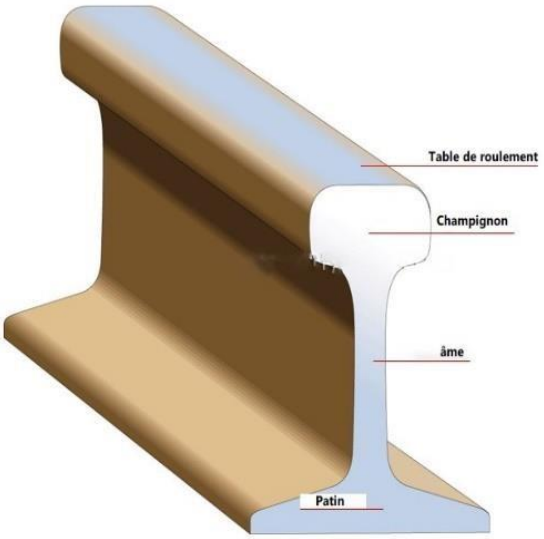


Figure I.1-Composants de la section transversale du rail.

I.3.1.2 Les traverses :

En Algérie, les traverses en béton sont les plus courantes pour la construction des voies ferrées:

- Traverses bibloc : Deux blocs de béton reliés par une entretoise en acier, utilisées pour les voies à faible trafic.
- Traverses monobloc : Poutres en béton précontraint offrant une meilleure résistance et répartition des charges, idéales pour les voies à fort trafic.

Les traverses en bois, moins utilisées aujourd'hui en raison de leur coût et de leur durée de vie limitée, sont encore employées pour des applications spécifiques comme les appareils de voie.

Les traverses transmettent les efforts entre le rail et le ballast, maintiennent l'écartement et l'inclinaison des rails, et répartissent uniformément les charges pour assurer la stabilité et la durabilité de la voie.

I.3.1.3 Les attaches :

Les attaches travers-rail sont des pièces métalliques fixant le rail à la traverse avec une certaine élasticité verticale et horizontale. Elles sont fixées à la traverse à l'aide de tire-fond, des boulons spécialement conçus pour ce type de fixation. Le choix des attaches dépend du type de traverse (bois ou béton) et des caractéristiques du rail.

L'utilisation d'une semelle d'élastomère cannelée de 9 mm d'épaisseur entre le rail et la traverse permet d'absorber les vibrations, réduisant ainsi les nuisances sonores et les vibrations ressenties par les voyageurs. Les attaches travers-rail sont donc cruciales pour la sécurité et le confort des passagers.

I.3.1.4 Les semelles :

Les semelles sont des éléments plats et souvent isolants placés entre les rails et les traverses.

Elles servent à réduire les vibrations et les bruits, protéger les traverses contre l'usure, assurer

une isolation électrique et répartir les charges uniformément sur les traverses. Elles peuvent être fabriquées en caoutchouc, plastique ou métal selon les besoins spécifiques de la voie ferrée.

I.3.1.5 Le ballast :

Le ballast est un ensemble de pierres concassées disposées sous et autour des traverses des voies ferrées. Son rôle principal est d'assurer la stabilité de la voie en maintenant les traverses en place et en facilitant le drainage de l'eau. Le ballast aide également à absorber les vibrations causées par le passage des trains, ce qui prolonge la durée de vie des traverses et des rails. Les pierres utilisées pour le ballast sont généralement dures et résistantes, comme le granit ou le basalte, pour garantir leur efficacité et leur durabilité.

I.3.2 CARACTÉRISRTIQUES DES DISPOSITIFS DE LIAISON :

Les dispositifs de liaison ferroviaires jouent un rôle important dans la sécurité et la stabilité des trains. Leur robustesse, leur adaptabilité aux conditions variables, leur résistance aux intempéries, leur entretien facile, leur capacité à absorber les chocs, leur fiabilité et leur conformité aux normes sont autant d'aspects essentiels à leur fonctionnement optimal.

I.3.2.1 L'appareil de voie :

L'appareil de voie permet aux trains de changer de voie en toute sécurité. Les aiguillages, commandés électriquement ou manuellement, dirigent le train via des croisements de rail et des aiguilles. Ils ne peuvent pas être posés en dévers et ne permettent pas de courbes de raccordement. Le rayon des aiguillages dépend de la vitesse pour assurer la sécurité.

Les appareils de voie comprennent différents types, tels que :

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

Ils se distinguent par :

- Le type de rail.
- Le rayon.
- La tangente.
- Le type de lame.
- Le type de traverses.
- Le type de cœur de croisement.

I.3.3 POSE DE VOIE :

La pose de voie ferroviaire est une étape critique dans la construction et l'entretien des infrastructures ferroviaires. Ce processus méticuleux comprend plusieurs phases essentielles, depuis le soudage des rails jusqu'à la stabilisation finale de la voie. Chaque étape est

soigneusement orchestrée pour assurer la sécurité, la durabilité et la performance optimale du réseau ferroviaire.

Le processus commence par l'utilisation d'une soudeuse électrique pour assembler des barres de 18 mètres en un long rail soudé (LRS) de 288 mètres. Ensuite, les traverses sont positionnées à l'aide d'un palonnier traveleur, et les LRS sont fixés aux traverses avec des systèmes d'attache appropriés.

Les travaux mécanisés incluent le bourrage, le nivellement et le dressage de la voie ferrée. Après le déchargement du ballast sur le lit de la voie, le premier relevage est effectué avec la bourreuse pour ajuster la hauteur de la voie. Ensuite, le nivellement précis du ballast est réalisé avec la régaleuse, suivi d'un deuxième relevage pour ajuster des rails. La stabilisation initiale est assurée ensuite en utilisant le locotracteur et les wagons chargés au maximum, ce qui permet de compacter le ballast et de stabiliser la voie. Un troisième et dernier relevage est ensuite effectué, suivi de la dernière stabilisation pour garantir la solidité de l'ensemble de la voie. Enfin, un nivellement final avec la régaleuse est réalisé pour assurer une surface plane et uniforme sur toute la longueur de la voie.

Pour la libération des contraintes, la température de la voie est mesurée afin de déterminer les zones d'ancrage, fixées de 50 à 100 mètres sans dépasser 1200 mètres. On réalise le déboutonage et on coupe le rail dans les 2 fils (gauche et droit), et des frappeurs sont utilisés pour permettre au rail de s'allonger ou de se raccourcir selon les besoins. Enfin, une soudure aluminothermique est réalisée après l'utilisation de vérins hydrauliques pour forcer l'allongement du rail et obtenir un joint de soudure de 25 mm.

I.4 CONCLUSION :

Le système ferroviaire est un réseau complexe et interconnecté nécessitant une coordination minutieuse entre divers éléments comme les voies ferrées et les gares. La voie ferrée, composée de rails, traverses, fixations, ballast et aiguillages, doit être régulièrement entretenue pour assurer la sécurité et l'efficacité du transport. Les dispositifs de liaison ferroviaires, grâce à leur robustesse et adaptabilité, jouent également un rôle important pour maintenir la stabilité et la sécurité des trains. En somme, chaque composant du système ferroviaire contribue à la fiabilité et à la sécurité des opérations, soulignant l'importance de l'entretien et de la modernisation continue.

Chapitre II : Recherche Bibliographique.

II. Chapitre II : Recherche Bibliographique
Les vibrations dues à la circulation des trains sur le sol

II.1 INTRODUCTION :

Dans de nombreuses régions du monde, le transport ferroviaire est un élément clé de l'infrastructure de transport, offrant ainsi un moyen efficace de transporter des personnes et des marchandises. Toutefois, l'exploitation intensive des chemins de fer peut causer des effets secondaires indésirables, notamment en provoquant des vibrations du sol. Les vibrations produites par le passage des trains sur les voies ferrées peuvent avoir des conséquences majeures sur l'environnement, la santé humaine et les structures avoisinantes.

Les contraintes cycliques et dynamiques liées au transport ferroviaire affectent la structure de la voie, ainsi que le sol et l'environnement qui la supportent. L'analyse de ces contraintes et des effets induits (ex. vibrations, ondes, etc.) est essentielle pour évaluer leur ampleur et corriger leurs éventuelles conséquences (tassements, nuisances, etc.).

Les vibrations dues aux trains peuvent avoir différentes causes, notamment les caractéristiques des trains eux-mêmes, l'état du sol et de l'infrastructure ferroviaire, ainsi que les facteurs environnementaux. Ces vibrations peuvent avoir des effets néfastes sur les structures, la santé humaine et l'environnement. Par conséquent, il est important de mettre en place des mesures de réduction des vibrations, telles que des solutions techniques, des politiques de régulation et des actions de sensibilisation et d'information. Cette étude examine ces différents aspects afin de mieux comprendre et gérer les vibrations dues à la circulation des trains sur le sol.

II.2 OBJECTIFS DE L'ETUDE :

L'objectif de cette étude est d'acquérir une compréhension approfondie des vibrations ferroviaires et de suggérer des stratégies d'atténuation efficaces pour minimiser leurs effets néfastes. En identifiant les zones sensibles aux vibrations et en mettant en œuvre des mesures préventives et correctives appropriées, nous visons à favoriser le développement durable du réseau ferroviaire tout en protégeant la qualité de vie des riverains.

A travers notre exploration des vibrations provoquées par le trafic ferroviaire, nous aspirons à contribuer à une gestion plus responsable et éclairée des infrastructures de transport, tout en respectant les exigences environnementales et les besoins des communautés locales.

II.3 FONDEMENTS THEORIQUES DES VIBRATIONS FERROVIAIRES :

Les vibrations provoquées par le trafic ferroviaire sont le résultat de divers mécanismes complexes qui interagissent entre les trains, les rails et le sol environnant. Pour évaluer et atténuer les effets des vibrations sur l'environnement et les structures environnantes, il est indispensable de comprendre ces mécanismes.

II.3.1 Génération des vibrations par le trafic ferroviaire :

1) Mécanisme générateur : Les principales sources de vibrations sont le roulement des roues sur les rails, l'impact des roues sur les joints des rails et les défauts de surface, ainsi que les vibrations provoquées par les moteurs et le matériel ferroviaire.

2) Interaction roue-rail-sol : Lorsqu'un train traverse la voie, des ondes de choc et des vibrations sont générées. Ces ondes de choc et vibrations se propagent au sol environnant à travers les

rails et le ballast, se dissipent au sol et se propagent sous forme d'ondes de surface ou d'ondes de compression.

II.3.2 Facteurs influençant les vibrations :

1) Facteurs environnementaux : La composition, la densité, l'humidité et la structure géologique du sol affectent toutes la propagation des vibrations. Les sols argileux ont la capacité d'amortir les vibrations, tandis que les sols rocheux peuvent les transmettre de manière plus efficace.

2) Les facteurs opérationnels tels que la vitesse du train, la charge par essieu, le type de véhicule et la géométrie de la voie ont un impact sur l'intensité et la fréquence des vibrations générées.

II.4 LES CAUSES :

II.4.1 Caractéristiques des trains :

Les vibrations sont générées par les forces dynamiques induites par les trains, incluant leur poids, leur vitesse, leur configuration d'essieux et leur système de propulsion.

II.4.2 Irrégularités de la voie :

Les défauts géométriques de la voie, tels que les variations de hauteur, les joints de rails et les imperfections de surface, engendrent des oscillations lors du passage des trains.

II.4.3 Interaction roue-rail :

Les forces résultant de l'interaction entre les roues des trains et les rails, incluant l'adhérence, le contact dynamique et les phénomènes d'instabilité, produisent des vibrations.

II.4.4 Flexibilité de la voie :

La flexion et l'élasticité des éléments de la voie, comprenant les traverses et les fixations, amplifient les vibrations en permettant une déformation sous la charge des trains.

II.4.5 Conditions du sol :

Les caractéristiques géotechniques du sol sous-jacent, telles que sa composition, sa densité et sa cohérence, influent sur la transmission des vibrations, avec des sols rigides transmettant davantage les vibrations que des sols souples ou absorbants.

II.4.6 Effets atmosphériques :

Les conditions météorologiques, notamment le vent, la pluie et les variations de température, modifient les propriétés mécaniques de la voie et du sol, affectant ainsi la propagation des vibrations.

II.4.7 Équipements auxiliaires :

Les vibrations peuvent également être engendrées par les dispositifs annexes aux voies ferrées, tels que les dispositifs d'aiguillage, les systèmes de signalisation et les équipements de sécurité, lors de leur fonctionnement normal.

II.5 LES CONSEQUENCES :

II.5.1 Fatigue des matériaux :

Les vibrations récurrentes peuvent entraîner une fatigue des matériaux structurels, générant des microfissures, des déformations plastiques et une dégradation progressive de la résistance mécanique des composants, notamment des rails, des traverses et des éléments de voie.

II.5.2 Dégradation des voies ferrées :
Les vibrations répétées peuvent induire une usure prématurée des voies ferrées, causant des phénomènes tels que le poinçonnement des rails, l'abrasion des traverses et la détérioration des liaisons mécaniques entre les composants, ce qui nécessite des opérations fréquentes de réparation et de remplacement.

II.5.3 Rupture des équipements :
Les vibrations excessives peuvent altérer la stabilité des équipements ferroviaires, entraînant des défaillances mécaniques, des ruptures de composants et des dysfonctionnements des systèmes critiques tels que les dispositifs de signalisation, les caténaires et les mécanismes d'aiguillage.

II.5.4 Déstabilisation des sols :
Les vibrations répétées peuvent compromettre la cohésion des sols adjacents aux voies ferrées, favorisant des phénomènes géotechniques tels que l'affaissement différentiel, l'érosion des remblais et les glissements de terrain, ce qui compromet la stabilité des infrastructures environnantes.

II.5.5 Inconfort et nuisances pour les passagers :
Les vibrations transmises à l'intérieur des trains peuvent induire un inconfort physique et psychologique chez les passagers, affectant leur expérience de voyage et leur bien-être, en particulier lors de trajets prolongés ou à haute vitesse.

II.5.6 Impact sur la sécurité :
Les vibrations excessives peuvent compromettre l'intégrité structurelle des voies ferrées et des équipements associés, augmentant ainsi les risques de défaillance catastrophique, de déraillement des trains et de mise en danger des passagers et du personnel.

II.5.7 Augmentation des coûts de maintenance :
Les dommages et l'usure prématurée causés par les vibrations nécessitent des interventions régulières de maintenance corrective et préventive, entraînant des coûts opérationnels supplémentaires et une gestion complexe des ressources matérielles et humaines.

II.6 DES SOLUTIONS POUR REDUIRE LA TRANSMISSION DES VIBRATIONS :
L'isolation des voies ferrées implique l'utilisation de matériaux spécifiques conçus pour réduire la transmission des vibrations entre les rails et le sol. Parmi ces matériaux, l'élastomère est souvent employé sous forme de coussins entre les rails et les traverses, tandis que le caoutchouc recyclé est utilisé comme sous-couche entre les traverses et le ballast. De même, les géotextiles peuvent être intégrés comme une couche supplémentaire. Ces méthodes visent à atténuer les vibrations et à améliorer le confort des riverains.

L'amortissement des rails consiste à installer des dispositifs spéciaux sur les rails eux-mêmes, qui absorbent une partie des vibrations générées par le passage des trains. Ces dispositifs peuvent varier en fonction de leur conception et de leur emplacement le long des voies ferrées.

L'entretien régulier des voies ferrées est important pour réduire les irrégularités qui peuvent amplifier les vibrations. Cela inclut la réparation des rails et du ballast, ainsi que le nivellement périodique des voies pour assurer une surface de roulement lisse.

La technologie de suspension des trains, notamment avec l'intégration de l'intelligence artificielle, joue un rôle important dans la réduction des vibrations transmises au sol. Les systèmes de suspension avancés des trains sont conçus pour absorber les chocs et les vibrations, améliorant ainsi le confort des passagers et réduisant les impacts sur les infrastructures environnantes.

La régulation de la vitesse des trains dans les zones sensibles est une mesure clé pour minimiser l'impact des vibrations. En limitant la vitesse des trains, on réduit la force exercée sur les rails et donc les vibrations émises.

La consultation communautaire est essentielle pour impliquer les habitants et les parties prenantes locales dans le processus décisionnel. Cela permet d'identifier les besoins spécifiques de chaque communauté affectée et de trouver des solutions adaptées qui répondent à leurs préoccupations.

La mise en place d'un système de surveillance des vibrations permet d'évaluer l'efficacité des mesures d'atténuation mises en œuvre. Cela permet de détecter les problèmes potentiels et d'ajuster les stratégies d'atténuation au besoin, assurant ainsi une gestion efficace des vibrations liées à la circulation des trains.

II.7 CONCLUSION :

En résumé, les vibrations induites par la circulation des trains représentent un défi technique complexe, influencé par une gamme de variables incluant les caractéristiques des trains, l'état de la voie ferrée et des sols, ainsi que les facteurs environnementaux. Leur impact se manifeste par des phénomènes de fatigue des matériaux, de dégradation des infrastructures, de risques sécuritaires et de nuisances pour les populations avoisinantes, entraînant des coûts additionnels de maintenance et de réparation.

Pour contrer ces effets, des solutions telles que l'amélioration de l'infrastructure, l'adoption de technologies anti-vibrations, la gestion des propriétés géotechniques du sol et l'intégration de politiques d'urbanisme appropriées sont essentielles. Une sensibilisation accrue et une participation active des parties prenantes sont également essentielles pour une approche intégrée de gestion des vibrations ferroviaires.

En mettant en œuvre ces stratégies de manière cohérente, il est possible de réduire efficacement les vibrations ferroviaires, préservant ainsi l'intégrité des infrastructures, l'environnement local et la qualité de vie des populations affectées. Cela garantira un réseau ferroviaire sûr, performant et durable pour les générations à venir.

Chapitre III :
Présentation du Projet.

III. CHAPITRE III : Présentation du Projet

III.1 INTRODUCTION

Le projet de chemin de fer Béchar-Tindouf-Gara Djebilet est essentiel pour l'économie algérienne. En reliant les gisements de minerai de fer sur 950 kilomètres, il favorise la croissance économique en permettant un transport efficace des marchandises vers les centres de transformation et les ports d'expédition. Le minerai de fer extrait est transporté jusqu'au port d'Arzew, jouant un rôle stratégique dans l'exportation vers les marchés internationaux.

III.2 PRESENTATION DU PROJET :

Le projet s'étend sur 950 km, réparti en cinq (5) tronçons de 200 km chacun et couvre sept (7) communes et trois (3) wilayas :

- La wilaya de Béchar (communes de : Béchar, Abadla et Hammaguir)
- La wilaya de Beni Abès (commune de : Tabelbala)
- La wilaya de Tindouf (communes de : Hassi Khebi, Oum El Assel et Tindouf)

Ces wilayas se localisent au Sud-Ouest du pays, avec des superficies totales respectives de 5 050 km², 101 350 km² et 70 009 km². La wilaya de Béchar est composée de 6 daïras et 11 communes, la wilaya de Béni Abbes de 6 daïras et 10 communes, et la wilaya de Tindouf d'une seule daïra et 3 communes.

Le tracé du projet passe par les trois wilayas de Béchar, Beni Abbes et Tindouf, et il est limité au nord par la wilaya de Nâama, à l'ouest par le Maroc, le Sahara Occidental et la Mauritanie, à l'est par les wilayas de Ghardaïa et Timimoun, et au sud par la wilaya d'Adrar. Notre projet se situe dans le tronçon 3 (PK400+000 au PK600+000), avec la zone d'étude spécifiquement située dans la wilaya de Tindouf.

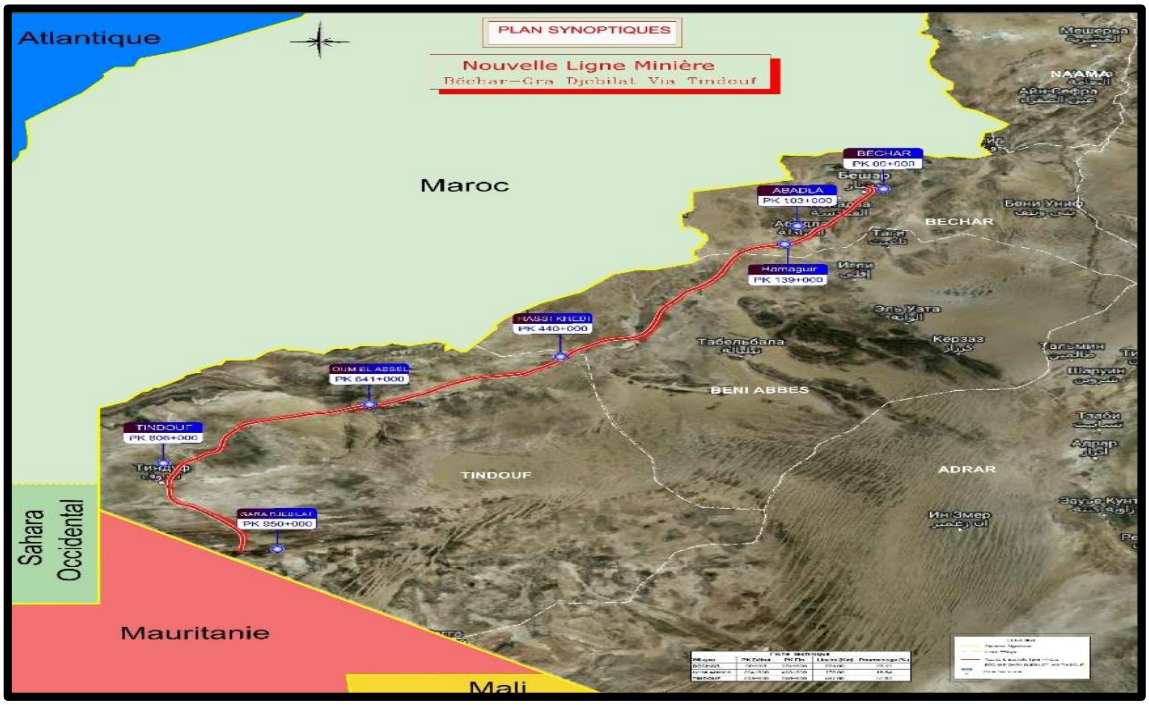


Figure III.1-Plan synoptique de la ligne minière

III.2.1 RELIEF :

Le relief de la zone d'étude est principalement désertique, comprenant des plateaux, des montagnes, des plaines désertiques et des oueds asséchés, avec une altitude moyenne d'environ 800m. Le relief du site étudie est globalement plat.

III.2.2 CLIMAT :

La zone d'étude, se caractérise par un climat désertique chaud, caractérisé par des températures élevées, des précipitations rares et des écarts de température importants entre le jour et la nuit.

III.2.3 SISMICITÉ :

D'après le RPOA2008 / version 2008 du Ministère des Travaux Publics les règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art, la wilaya de Béchar, Béni Abbes et la wilaya de Tindouf sont classées en **zone 0** ; c'est-à-dire zone à **sismicité négligeable**.

Le document technique réglementaire cité ci-avant divise le territoire algérien en cinq (5) zones de sismicité croissante, soit :

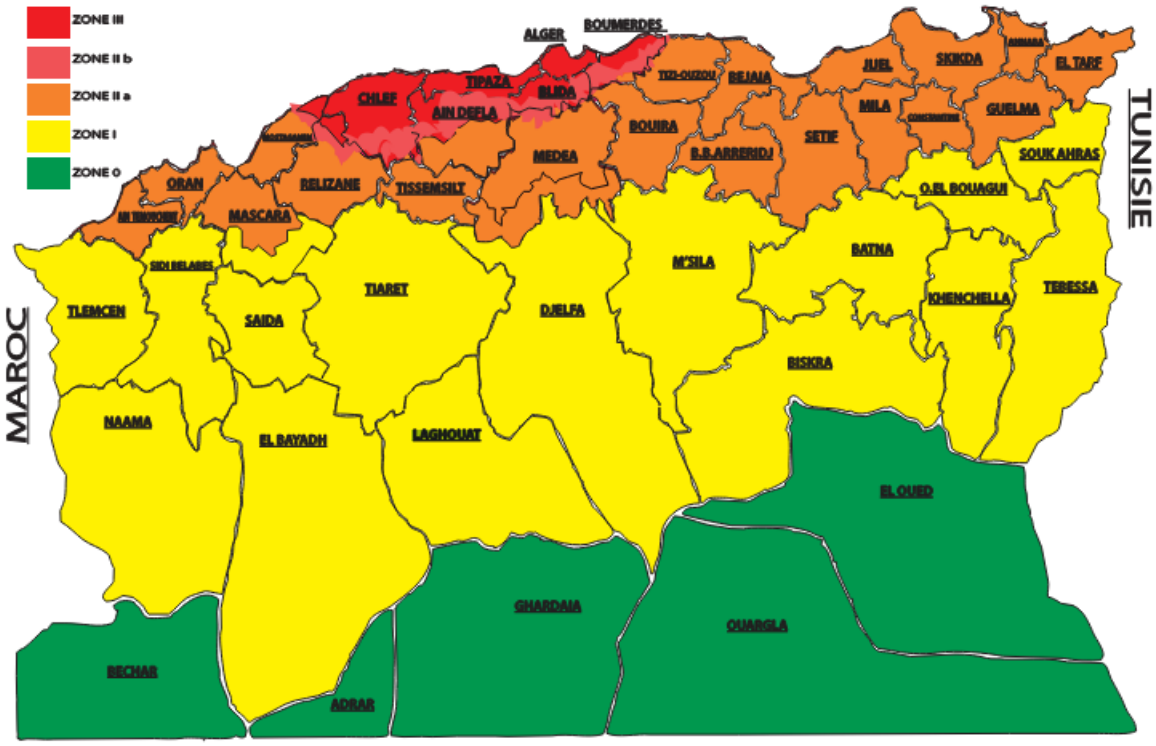


Figure III.2-Carte zonage sismique de l'Algérie avec l'implantation du projet

III.3 PRESENTATION DU PROJET ETUDIE :

Le présent projet vise à réaliser l'étude d'Avant-projet détaillé (APD) pour la section de la nouvelle ligne minière de 950 km reliant Béchar à Gara Djebilet, couvrant les points kilométriques pk 430+000 au pk 450+500. Cette initiative s'inscrit dans le cadre du développement de l'industrie minière en Algérie, visant à faciliter le transport du minerai de fer extrait de Gara Djebilet vers le port d'Arzew pour l'exportation.

Pour accompagner cette infrastructure, des installations telles que des quais, des abris de quais, des bâtiments et des ouvrages d'art seront également intégrées pour soutenir les opérations ferroviaires. Le projet comprend des gares principales : la gare de Béchar, Abadla, Hammaguir,

Tabelbala, Hassi Khebi, Oum Laasel , Tindouf et enfin la gare de marchandises de Gara Djebilet. Ces gares joueront un rôle important dans le fonctionnement efficace de la ligne minière, en assurant la gestion des passagers et des marchandises tout au long du trajet. La gare de Béchar servira de point de départ stratégique, tandis que la gare de Hassi Khebi assurera une transition fluide vers la région de Gara Djebilet. Enfin, la gare de marchandises de Gara Djebilet sera un point névralgique pour le chargement du minerai de fer extrait de la mine.

III.4 LES CARACTÉRISTIQUES DU PROJET :

- Caractéristiques de base :
  - Longueur 20 Km.
  - Caractéristiques géométriques selon les recommandations de la SNTF et les standards UIC.
  - Trafic mixte voyageurs et marchandises (Prédominance minière)
  - Mode de traction : diesel (possibilité de futur électrification)

III.5 LES CARACTÉRISTIQUES DE LA VOIE :

III.5.1 Écartement :

- e= 1435 mm en alignement.

III.5.2 Charges à l'essieu :

- Pleine voie 32.5 t.
- Ouvrages d'art 32.5t

III.5.3 Vitesses :

- Vitesse maximale 160 km/h.
- Vitesse marchandises : 70 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.

III.6 LES CARACTÉRISTIQUES DE LA SUPERSTRUCTURE :

III.6.1 Rails :

En pleine voie et en gares, rail UIC 60 E1.
Les dimensions sont en millimètre.

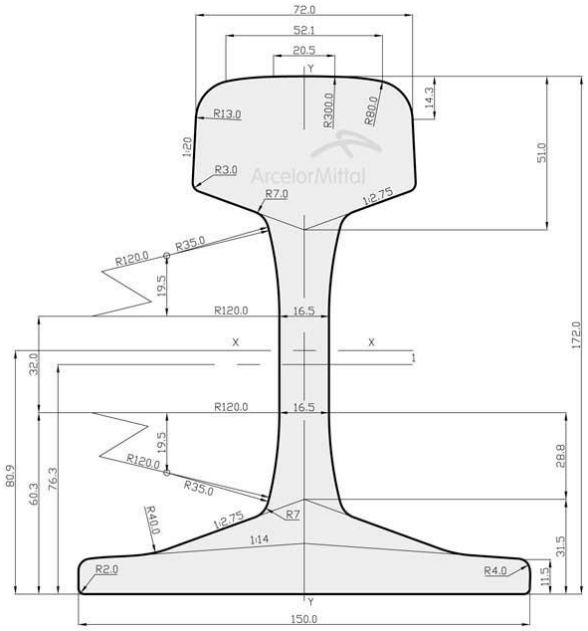


Figure III.3-Rail UIC60 E1.

III.6.2 Traverse :

- Traverses mono-bloc en béton armé précontraint en pleine voie.

III.6.3 Attache :

- Attaches élastiques armées (renforcées).



Figure III.4-Attache Elastique Renforcé.

Ce sont de nouvelles attaches utilisées pour la première fois en Algérie. La différence entre ces attaches et les attaches élastiques ordinaires réside dans l'ajout de matériaux pour les renforcer, comme la résine (de couleur verte), c'est-à-dire une butée entre la lame et la partie métallique (ressort), ainsi que des chevilles armées à l'extérieur (renforcées). La figure ci-après représente tous les éléments de ces attaches.

III.6.4 Semelle :

Semelle élastique en élastomère d'une épaisseur de 9 mm, collé sur la table d'appui des traverses.

III.6.5 Appareils de voie :

Choisis dans la gamme ci-après :

- UIC 60 E1 500 1/12 avec une vitesse de 65km/h (Voie dévié)

- UIC 60 E1 300 1/9 avec une vitesse de 50km/h (Voie dévié)

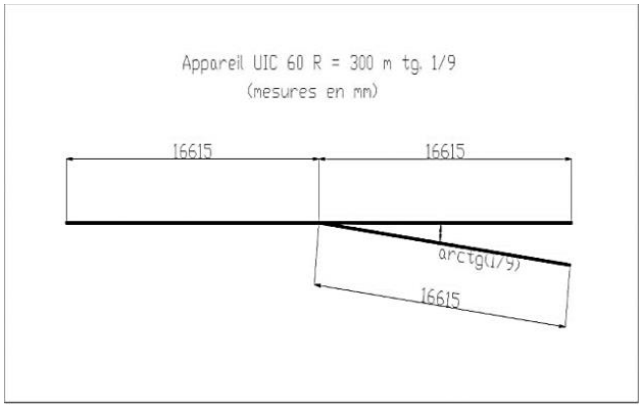


Figure III.6-Appareil de voie UIC 60 E1 300 1/9

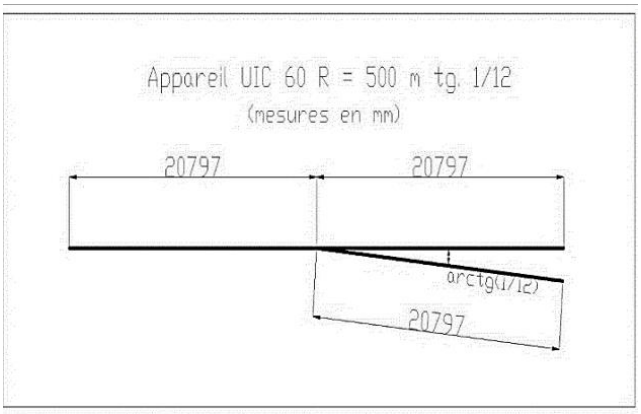


Figure III.5-Appareil de voie UIC 60 E1 500 1/12

III.6.6 BALLAST :

Le ballast est un matériau granulaire concassé, utilisé dans la construction des voies ferrées, dont la surface est entièrement broyée. Il remplit plusieurs fonctions essentielles pour la voie ferrée :

- Il transmet les forces générées par le passage des trains au sol, empêchant ainsi toute déformation par tassement.
- Il assure un drainage efficace grâce à sa granulométrie spécifique, permettant l'évacuation des eaux de surface.
- Il agit comme un amortisseur de vibrations très efficace grâce à sa propriété rhéologique, dissipant l'énergie des vibrations par frottement entre les éléments.

Les caractéristiques du ballast sont les suivantes selon le référentiel technique de la SNTF et la norme NF P53-695 :

- Matériau : Pierre rocheuse dure concassée.
- Résistance à la compression : ≥ 12 kN/cm².
- Taille des grains : 22,4/63 mm.
- Proportion de grains de taille intermédiaire (31,5-50 mm) : 50 %.
- Résistance à l'érosion (coefficient Los Angeles) : ≤ 15 %.
- Granulométrie : Classe de 25 à 50 mm (pierre concassée).



Figure III.7-Ballast

III.7 LA TOPOGRAPHIE :

Les levés topographiques sont essentiels pour la construction de voies ferrées. Pour le projet de ligne de Béchar, Tindouf et Gara Djebilet, voici les étapes à suivre pour réaliser un levé complet et précis, assurant ainsi une base solide pour le projet.

III.7.1 Préparation et Matérialisation de la Polygonale Principale

- **Installation des Bornes :**

✓ Installer des bornes aux dimensions de 0.8x0.8x0.8 m.
✓ Positionner les bornes conformément aux termes de référence, en s'assurant qu'elles sont bien ancrées et visibles.

III.7.2 Levé Topographique

- **Utilisation de LIDAR (Vol Aéroporté) :**

✓ Effectuer un survol de la zone à l'aide de LIDAR pour capturer des données précises sur le terrain.
✓ Lever tous les détails environnementaux et infrastructurels : dunes, pipelines, arbres, ravins, habitations, caniveaux, poteaux et lignes électriques, etc.

III.7.3 Traitement des Données

- **Calculs Topométriques :**

✓ Importer les données LIDAR dans des logiciels spécialisés comme COVADIS et CIVIL 3D.
✓ Effectuer les calculs nécessaires pour déterminer les coordonnées exactes des points relevés.

- **Report des Points et Redessin :**

✓ Reporter les points visés sur un plan numérique.
✓ Redessiner le tracé de la route et les objets relevés.
✓ Utiliser les outils de ces logiciels pour créer un modèle numérique de terrain (MNT).

III.7.4 Présentation des Résultats

- **Formats des Résultats :**

✓ Produire des tirages papier au format A0 pour une visualisation à grande échelle.
✓ Générer des fichiers numériques en formats Autocad et PDF pour une exploitation et un partage facile par le client.

III.7.5 Réseau de Base

- **Méthodologie Adoptée :**

✓ Utiliser LIDAR et GPS Leica GS18 pour mesurer et enregistrer les points sur le terrain.
✓ Implanter une polygonale principale tous les 25 km pour une couverture complète de la zone d'étude.
✓ Effectuer les calculs en post-traitement avec les logiciels Leica Infinity et Spectra Précision Survey Office version 3.6.

- **Caractéristiques des Bornes :**

✓ Dimensions : 0.8x0.8x0.8 m.
✓ Assurer la stabilité et la durabilité des bornes pour des mesures précises.

III.7.6 6. Référentiel Géodésique

- **Systèmes Utilisés :**

✓ Système géodésique WGS84 (UTM 30 et UTM29).
✓ Paramètres géodésiques et de projection (ex. : faux Est, faux Nord, facteur d'échelle, unités en mètres).

Calcul des Coordonnées Planimétriques :

✓ Raccorder les coordonnées au réseau national géodésique.
✓ Diviser les sections selon les systèmes UTM30 WGS 84 (PK+000 au PK600+000) et UTM29 WGS 84 (PK600+000 au PK950+000).

III.7.7 Altimétrie

- **Modèle Numérique de Terrain (MNT) :**

✓ Représenter les courbes de niveau avec une équidistance de base de 5 m.
✓ Compléter par des points cotés supplémentaires pour définir les formes remarquables du relief (sommets, points bâtis, thalwegs, etc.).

III.7.8 Toponymie

- **Noms et Numéros :**

✓ Identifier et noter les noms des oueds traversés, voies ferrées, routes nationales, chemins de wilaya.
✓ Noter les caractéristiques des lignes électriques et leurs emplacements.

III.7.9 Vérification et Validation

- **Coordonnées Planimétriques et Altitudes :**

✓ Vérifier les coordonnées et altitudes par rapport au réseau national géodésique et aux points de référence.
✓ S'assurer de la précision et de la cohérence des données relevées et calculées.

III.7.10 Moyens Humains et Matériels

- **Équipe** :

✓ 1 ingénieur topographe senior pour les calculs et le suivi.
✓ 1 ingénieur topographe chef de mission pour la construction, les observations et l'encadrement.
✓ 2 techniciens topographes pour l'assistance sur le terrain et les relevés.

- **Matériel** :

✓ 2 véhicules tout-terrain pour assurer la mobilité et l'accès aux différentes zones de relevé.

Les levés topographiques sont essentiels pour la construction de lignes ferroviaires. En suivant ces étapes méthodiques, incluant l'installation des bornes, l'utilisation du LIDAR, le traitement des données avec COVADIS et CIVIL 3D, et en respectant les normes du système géodésique WGS84, nous assurons une base solide et précise pour le projet.

III.8 PLAN DE TRANSPORT :

L'étude du plan de transport nous donne la stratégie qui permet de coordonner, optimiser les rotations de trains et l'occupation des voies en gares, et présente la planification efficiente pour répondre aux besoins de transport de personnes et de fret, sur un périmètre déterminé.

Le plan de transport repose sur une exploitation synchronisée, chronologique de ressources hétérogènes telles que les sillons, les ressources matérielles (engins ferroviaires) et les ressources humaines.

L'amélioration de la gestion globale des ressources et l'efficacité du processus de production nécessite une planification séquentielle dans laquelle la vérification de la faisabilité du tracé proposé, l'analyse des performances de service trains, la confection des mailles horaires de circulation des trains, permet aussi d'optimiser le dimensionnement et la configuration des installations ferroviaires, l'analyse les capacités offertes, les conditions d'exploitation, le couplage des installations fixes ferroviaires et la dynamique de déplacement des trains, sur la base d'hypothèses techniques et commerciales.

Les résultats énumérés ci-après reprend l'étude du plan de transport pour la construction de cette ligne ferroviaire de 950 Km, à vocation prédominante de transport de minerai de fer depuis les gisements de Gara Djebilet (Tindouf), dans une première étape puis la continuité vers le Nord de Béchar dans une seconde étape.

La simulation permet d'analyser de manière exhaustive l'ensemble des facteurs qui déterminent la circulation des trains, parvenant ainsi à un ensemble de valeurs qui caractérisent la capacité offerte de la nouvelle ligne et la manière dont le fonctionnement et d'estimer les niveaux de performances des services trains effectués.

III.8.1 Description des données d'entrée

Conformément au mandat attribué, le bureau d'études a entamé les études sous chronologie de missions et sous-missions ; en commençant par les études d'exploitation et plan de transport, qui sont déterminante en vue d'identifier les infrastructures ferroviaires (Caractéristiques techniques et opérationnelles les mieux adaptées) requises pour répondre aux besoins de transport minier, et de vérifier l'adéquation entre l'offre ferroviaire et la demande fluctuante et prédominante de transport de marchandises (minerai de fer brut).

L'objectif principal de cette étude est de quantifier la capacité future de la ligne étudiée et de décrire le niveau de performance des nouveaux services au moyen de leur simulation informatique basée sur les principales données initiales fournies :

- Les données d'entrées relatives à l'infrastructure et les installations fixes du tracé ;
- Les caractéristiques des matériels roulants à utiliser dans les modélisations ;
- Les conditions de circulation des trains ;
- Le modèle d'exploitation attendu.

Ces données d'entrées sont reprises succinctement, ci-après.

- Infrastructures et installations fixes du tracé.
- Caractéristiques techniques des matériels modélisés.
- Conditions de circulation des trains.
- Analyse de la demande de transport.
- Planification d'exploitation de la ligne
- Etudes de trafic
- Simulations de la marche des trains
- Conception de la maille horaire
- Configuration de l'infrastructure
- Schéma directeur des installations de maintenance
- Localisation des postes ATR.

III.8.2 Récapitulation générale.

Table III.1-Tableau Récapitulatif du Plan de Transport

Paramètres de références	Critères d'opérations	
Catégorie de ligne	- Voie Unique - Catégorie 1 à trafic mixte	
Ecartement	- Standard - 1 435 mm	
Points remarquables	• 10 Gares • 28 PCG	
Vitesse de fond	• Vitesse d'exploitation maximale train de voyageurs 160 km/h • Vitesse d'exploitation maximale permise 70 km/h • Vitesse limite dans la cour/boucle de chargement ou déchargement ne dépassant pas 30 km/h (suivant dispositions locales des centres de chargement/déchargement)	
Trafic annuel Fret	50 millions de tonnes – Minerai de fer concassé, répartie en 2 destinations 26 MTPA pour le terminal de déchargement de Béchar 24 MTPA destinés pour les sites des tronçons Nord, via Toumiat	
Charge par essieu	32,5 tonnes pour les trains à destination Du complexe de Toumiat (Béchar) 25 tonnes pour les trains en transit vers le Nord, via Toumiat	
Mode de traction	- Diesel	
Composition de train privilégiée	- 4 locomotives + 170 wagons	
Longueurs de trains	- 170 wagons + 4 locomotives (2 130 m)	
Wagonnage projeté aux simulations	- Wagon-tombereau à minerai à 2 boggies (2*2 essieux)	
Wagon de minerai de fer (2 types de wagons)	Poids à vide 25 t Poids brut 130 t Poids net 105 t Longueur du wagon 11,39 m	Poids à vide 20 t Poids brut 90 t Poids net 70 t Longueur du wagon 11,39 m
Circulations envisagées	Train de minerai de fer concassé Train fret (diverses marchandises vrac ou conditionné)	
Trains prévus	1 train de voyageurs/sens 4 trains Fret lourd à option de 32,5 t par essieu/sens 6 trains Fret lourd à option de 25 t par essieu/sens - 1 train Fret léger/sens	
Longueur de voie d'évitement et de garage	- Distance de dégagement de la voie d'évitement adjacente à la voie principale 2400 m	
Aiguillages	ADV tg1/12 et tg1/9 Fonctionnement électrique (Contrôle double) sur la ligne principale aux voies de jalonnement/évitement et gares	
Système d'exploitation	Cantonnement de gare à gare Signalisation de base sur VP (Voie principale) et sur VE (voies d'évitement) Contrôle de trains à l'aide de la commande centralisée des circulations – PCC	
Schéma de desserte	Une année d'opérations de 350 jours - 7 jours/semaine à 20 h/j Contingence pour maintenance planifiés de 3 à 5 heures/jour par section de ligne	

III.9 CONCLUSION :

Le projet de chemin de fer Béchar-Tindouf-Gara Djebilet présente une importance capitale pour l'Algérie, tant sur le plan économique que technique. S'étendant sur 950 kilomètres, cette ligne ferroviaire permettra un transport efficace des marchandises, avec des vitesses pouvant atteindre 70 km/h, ainsi que des passagers, avec une vitesse maximale de 160 km/h. Grâce à l'intégration de normes modernes et de technologies de pointe, telles que la traction diesel, ce projet favorisera un développement économique durable

Chapitre IV :
Étude Géométrique.

IV. Chapitre IV : Etude Géométrique

IV.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. Cette analyse approfondie des courbes, des pentes et des dénivelés cherche à réduire les effets des forces centrifuges et à maintenir une vitesse stable des trains.

Parallèlement, des considérations pratiques telles que l'espacement entre les voies, la largeur des plateformes et la disposition des aiguillages sont prises en compte pour permettre une circulation efficace et sécurisée des trains.

Cette étude est réalisée selon une méthodologie rigoureuse, conformément aux normes établies par la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) et les normes internationales du secteur ferroviaire. Son objectif principal est de concevoir un tracé économique répondant aux exigences de qualité et de sécurité.

IV.2 TRACÉ EN PLAN :

Le tracé en plan d'une voie ferrée représente la projection orthogonale de l'axe de la voie sur un plan horizontal. Il se compose typiquement d'alignements droits et de courbes circulaires. Chaque portion de voie est adaptée à deux vitesses spécifiques :

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

Ces vitesses définissent la conception du tracé en plan, influençant la géométrie des courbes et des transitions afin de garantir des conditions de circulation optimales pour différents types de services ferroviaires.

IV.2.1 CONDITIONS ET RÈGLES À RESPECTER DANS LE TRACÉ EN PLAN :

Les normes exigées pour notre projet, telles que résumées dans la fiche UIC703R, définissent des exigences pertinentes pour la conception d'un tracé ferroviaire optimal :

- Adaptation au Relief : Respecter les territoires traversés en s'adaptant au relief existant (topographie) pour minimiser les travaux de terrassement et les impacts environnementaux.
- Franchissement des Oueds et des Routes : Éviter autant que possible le franchissement des oueds et des routes afin de limiter la construction d'ouvrages d'art. En cas de nécessité, le franchissement doit être réalisé perpendiculairement au cours d'eau ou dans des passages étroits.

- Évitement de Zones Sensibles : Éviter le passage sur des terrains agricoles, des zones forestières et les propriétés privées pour préserver ces environnements sensibles.
- Suivi des Courbes de Niveau : Suivre les courbes de niveau du terrain pour réduire les volumes de terrassement nécessaires à la construction du tracé.
- Utilisation d'Alignements Droits : Favoriser l'utilisation d'alignements droits autant que possible pour optimiser le tracé et minimiser les coûts de construction.
- Sécurité et Confort des Usagers : Assurer la sécurité et le confort des usagers en concevant un tracé adapté aux normes de sécurité ferroviaire.
- Évitement des Problèmes Géologiques : Éviter les sites sujets à des problèmes géologiques tels que les zones instables ou les terrains fissurés pour garantir la stabilité du tracé à long terme.
- Gestion des Talus :
    - ✓ Pour les talus en déblai, prendre en compte la présence de nappes phréatiques, de terrains plastiques ou de roches fissurées.
    - ✓ Pour les talus en remblai, éviter les terrains instables et les sols très compressibles qui pourraient compromettre la stabilité du tracé.

IV.2.2 CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES :

Comme déjà mentionné précédemment Les caractéristiques géométriques d'un tracé ferroviaire comprennent des sections droites favorisant les vitesses élevées, des courbes de rayon contrôlé pour les virages, des raccordements progressifs entre les alignements droits et les courbes, ainsi que des pentes et un dévers calculé pour assurer la stabilité et la sécurité des trains. Ces éléments sont essentiels pour optimiser les performances et garantir la fiabilité du réseau ferroviaire.

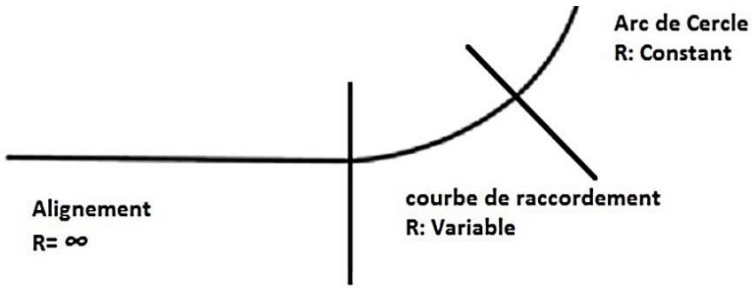


Figure IV.1-Elément de tracé en plan

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.

Table IV.1-Vitesse des trains maximale

Vitesse voyageurs V_y	160 km/h
Vitesse marchandises V_m	70km/h

Table IV.2-Paramètres géométriques de tracé en plan (SNTF).

		D_{max} (mm)	L_{min}(m)	I_{max} (mm)	E_{max} (mm)	R_{min} (m)	$(dd/dl)_{max}$ (mm/m)	$(dI/dt)_{max}$ (mm/s)	$(dd/dt)_{max}$ (mm/s)
Formule	**Normal**	-	$\frac{Vmax}{2}$	-	-	$\frac{11{,}8Vmax^2}{Dmax + Imax}$	$\frac{180}{Vmax}$	-	-
	Exceptionnel	-	$\frac{Vmax}{3}$	-	-	$\frac{11{,}8Vmax^2}{Dmax + Imax}$	$\frac{216}{Vmax}$	-	-
Application	**Normal**	160	80	150	110	974	1.125	75	50
	Exceptionnel	180	54	160	130	888	1.350	90	60

Avec :

- **D_{max} :** Le dévers pratique maximal.
- **L_{min} :** La longueur minimale des éléments de tracé (alignement, pleines courbes)
- **I_{max} :** L'insuffisance de dévers admissibles.
- **E_{max} :** L'excès de dévers admissibles.
- $\left(dd/dl\right)_{max}$: La limite de la variation de dévers par rapport à la longueur.
- $(dI/dt)_{max}$ **:** La limite de la variation d'insuffisance de dévers par rapport au temps
- $dd/dt)_{max}$: La limite de la variation de dévers par rapport au temps

IV.2.2.1 Les doucines

Au changement de pente du rail haut entre un raccordement progressif et un élément de tracé constant (alignement ou pleine courbe), le véhicule subit une accélération du mouvement de roulis. Pour limiter cette accélération, il est nécessaire d'introduire un raccordement circulaire entre les pentes du rail haut centré sur le point de rupture de pente (ORP ou FRP). Du fait de la proportionnalité dévers / courbure, ce raccord se traduit dans le diagramme des flèches par des arrondis appelés doucines.

Lorsque la vitesse des trains de voyageurs est supérieure ou égale à 60 km/h et la variation de dévers significative (supérieure à 60/V), il est nécessaire d'insérer des doucines axées sur les extrémités des RP.

IV.2.3 APPLICATION SUR LE PROJET :

Notre projet qui relie Béchar – Gara djebilat débute au PK 430+000 jusqu'au PK 450+500 avec une longueur 20 Km.

Le tracé commence en alignement droit et se termine par une courbe de rayon de 2500 m, il se développe dans une extension de 20000 mètres et comprend 5 courbes horizontales dont leur rayon se situe entre 2300 m et 4500 m.

Selon la SNTF et pour une vitesse de 160 km/h le rayon minimum est de 974 m, donc tous les rayons de notre tracé doivent être supérieure au $Rmin = 974\ m$.

On prend un exemple de calcul pour un rayon de 2500 m, juste pour illustrer les différentes étapes de calcul pour la détermination du devers et tous les paramètres correspondant à ce dernier.

- $\boldsymbol{R = 2500\ m}$
  - **Dévers théorique :** $\mathbf{d_{th}} = \frac{11.8 \times Vmax^2}{R} = \frac{11.8 \times 160^2}{2500} = 120.83\ \boldsymbol{mm}$
  - **Le coefficient de dévers :** $\mathbf{C = 0{,}006 \times V_{max}{}^2 = 0{,}006 \times 160^2 = 153{,}6}$

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 \times Vmax^2} < 0.7 \ldots\ldots\ldots\

$$\frac{dd}{dt} = \frac{dp}{Lrp} \times \frac{Vmax}{3.6} = \frac{70}{100} \times \frac{160}{3.6} = 31.11\ \boldsymbol{mm/s}$$

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

Table IV.3-Tableau récapitulatif des paramètres du tracé

		Formule	1	2	3
Rayon (m)		-	**2300**	**2500**	**4500**
Vitesse km/h	Min	-	**70**	**70**	**70**
	Max	-	**160**	**160**	**160**
d_{th} (mm)		$\frac{11.8 \times Vmax^2}{R}$	**131.34**	**120.83**	**67.13**
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)		$\frac{1000 \times C}{R}$	**71.74**	**66**	**36.67**
d_p adopté		-	**80**	**70**	**40**
I (mm)		d_{th}-d_p	**51.34**	**50.83**	**27.13**
E (mm)		d_p-$\frac{11.8 \times Vmin^2}{R}$	**54.86**	**46.87**	**27.15**
L_{rp} (m)		$\frac{dp}{dd/dl}$	**71.11**	**62.22**	**35.56**
L_{rp} adopté		-	**100**	**100**	**100**
dd/dl (mm/m)		$\frac{dp}{Lrp}$	**0.8**	**0.7**	**0.4**
dI/dt (mm/s)		$\frac{I}{Lrp} \times \frac{Vmax}{3.6}$	**22.82**	**22.59**	**12.06**
dd/dt (mm/s)		$\frac{dp}{Lrp} \times \frac{Vmax}{3.6}$	**35.55**	**31.11**	**17.77**

Nous avons réalisé le tracé à l'aide de Civil 3D. Pour des détails supplémentaires, veuillez consulter l'annexe.

IV.3 PROFIL EN LONG :

Le profil en long d'une voie ferrée est essentiel pour la planification technique, financière et économique des projets ferroviaires. Il représente l'élévation de la voie le long de son tracé, montrant les variations d'altitude et les pentes. Il est essentiel pour déterminer les caractéristiques topographiques du terrain et concevoir des pentes appropriées qui permettent aux trains de gravir ou de descendre des niveaux de manière sécurisée et efficace.

En optimisant le profil en long, on favorise des vitesses constantes et un roulement fluide des trains, ce qui améliore l'efficacité opérationnelle et le confort des passagers. De plus, le profil

en long est important pour estimer avec précision les coûts de construction, en identifiant les besoins en terrassement et les ouvrages d'art nécessaires.

En résumé, le profil en long joue un rôle fondamental dans la conception ferroviaire en assurant un tracé adapté au terrain, sécuritaire et rentable pour les projets de voies ferrées.

IV.3.1 LES ÉLÉMENTS DE COMPOSITION DU PROFIL EN LONG :

IV.3.1.1 LES ALIGNEMENTS DROITS :

Dans le profil en long d'une voie ferrée, les alignements droits sont des sections rectilignes sans courbe. Leur déclivité constante ou progressive assure des vitesses stables et sécuritaires pour les trains, en évitant les oscillations indésirables des véhicules. L'emplacement précis des alignements droits est planifié pour minimiser les travaux de terrassement et assurer un profil en long efficace et stable, en accord avec les normes de sécurité ferroviaire.

La Société nationale des transports ferroviaires (SNTF) a établi des normes strictes concernant les déclivités des tronçons droits pour assurer la sécurité et le confort des passagers. L'implantation des gares comprend généralement un palier d'une longueur supérieure à 1200 mètres, avec les déclivités maximales suivantes :

- ✓ Pour les tronçons de longueur inférieure à 3000 mètres, la déclivité ne doit pas dépasser 16‰, avec une tolérance exceptionnelle jusqu'à 18‰.
- ✓ Pour les tronçons de 3000 mètres à 15000 mètres de longueur, la déclivité diminue progressivement de 16‰ à 13‰, ou exceptionnellement de 18‰ à 15‰.
- ✓ Pour les tronçons de plus de 15000 mètres de longueur, la déclivité maximale ne doit pas dépasser 13‰, avec une tolérance exceptionnelle jusqu'à 15‰.

NOTE : Selon le plan de transport fait par le logiciel Open Track, une déclivité maximale de 6‰ a été exigée pour le sens chargé et une déclivité de 8‰ pour le sens vide du train de marchandises.

La détermination de la position des lignes droites dans le profil en long d'une voie ferrée est complexe et nécessite une considération minutieuse de plusieurs facteurs :

- ✓ Équilibre des remblais et déblais pour minimiser les mouvements de terres.
- ✓ Prévention des pointes basses pour éviter les problèmes de drainage.
- ✓ Stratégies de conception : surélévation des points bas ou atténuation des déclivités.
- ✓ Gestion des zones inondables : profil en remblais adapté pour la sécurité.
- ✓ Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en déclivité pour maintenir l'intégrité opérationnelle.

- ✓ Coordination entre le tracé en plan et le profil en long pour une intégration harmonieuse dans l'environnement.

Table IV.4-Tableau récapitulatif des paramètres du tracé

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

IV.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

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

Table IV.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 tel que :

- 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

IV.3.2 APPLICATION SUR LE PROJET :

Table IV.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 V^2	V/2
	Exceptionnel	-	-	-	-	0.25 V^2	V/2,5
Application	Normal	16 ‰	16 ‰ à 13 ‰	13 ‰	0	8960	80
	Exceptionnel	18 ‰	18 ‰ à 15 ‰	15 ‰	0	6400	64

IV.4 CONCLUSION :

L'étude géométrique dans le domaine ferroviaire combine des principes mathématiques et d'ingénierie pour garantir une performance optimale des voies, la sécurité des passagers et des marchandises, ainsi qu'une efficacité maximale du réseau. Au cours de ce chapitre, nous avons exploré les aspects clés de cette discipline, y compris la détermination des alignements horizontaux et verticaux, le calcul des courbes et des transitions, et la prise en compte des pentes et des dévers.

Les outils modernes tels que le logiciel de CAO (Civil 3D) et les simulations numériques permettent aux ingénieurs d'analyser et d'optimiser les tracés avec une précision accrue, améliorant ainsi les performances tout en réduisant les coûts de maintenance.

L'étude géométrique approfondie, combinant le tracé en plan et le profil en long, est indispensable pour concevoir des réseaux routiers et ferroviaires sûrs et efficaces, répondant ainsi aux besoins de mobilité et d'accessibilité de la société moderne.

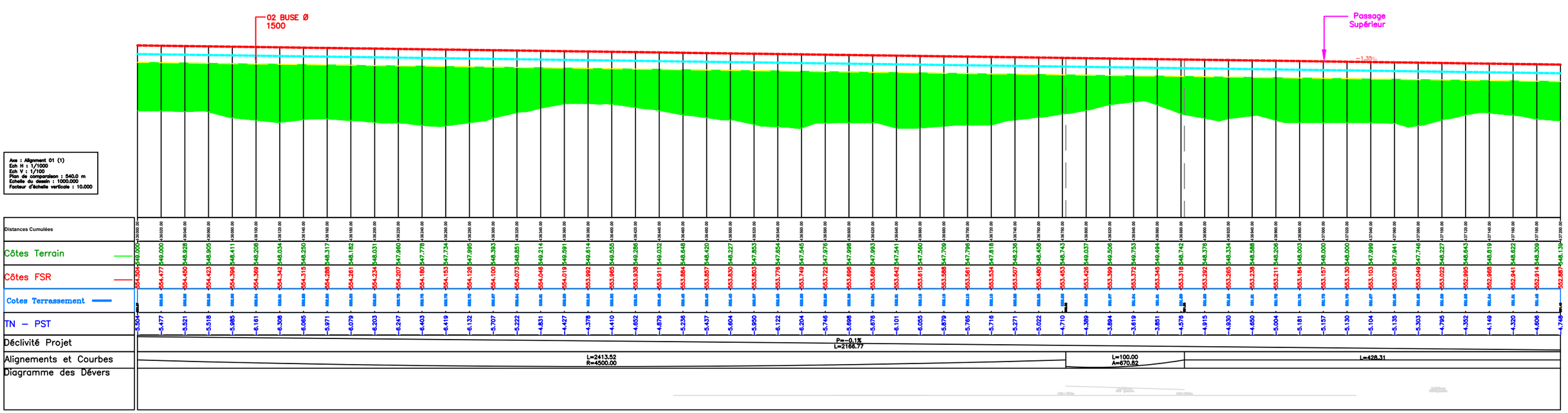
N

vers Béchar

vers Tindouf

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Bechar-Tindouf au pk430+000 au pk450+500 avec la conception de la gare de HASSI KHEBI	Bendjedi Zineb Lahlouh Asma	OUALI Adel	1/100	Trace en plan du pk 434+700 au pk 440+360	2023/2024



Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger

Fax : (023) 70 19 38 **Site web** : www.enstp.edu.dz

Tel : (023) 70 19 04 **E-mail** : enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Bechar-Tindouf au pk430+000 au pk450+500 avec la conception de la gare de HASSI KHEBI	Bendjedi Zineb Lahlouh Asma	OUALI Adel	1/100	Profil en long du pk 436+000 au pk 437+200	2023/2024

Chapitre V : Étude Hydrologique et Hydraulique.

V. Chapitre V : Etude Hydrologique et Hydraulique

V.1 INTRODUCTION :

Dans le cadre du projet de conception de la nouvelle ligne minière Gara Djebilet (Tindouf / Bechar), une étude hydrologique et hydraulique est essentielle pour évaluer l'impact de la nouvelle infrastructure sur les écoulements des cours d'eau et pour dimensionner les ouvrages hydrauliques nécessaires. Cette étude vise à déterminer les débits de crues et à prévoir les mesures d'aménagement hydraulique les plus appropriées pour assurer la sécurité et la durabilité de la ligne ferroviaire.

Bien que le risque d'inondation à Tindouf soit généralement faible, il est toujours important de prendre des mesures de précaution, une analyse approfondie des conditions hydrologiques et hydrauliques est indispensable pour concevoir une infrastructure résiliente et adaptée aux conditions locales.

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.

V.2 ÉTUDE HYDROLOGIQUE :

L'hydrologie est une discipline clé dans les projets ferroviaires, visant à comprendre les caractéristiques des eaux, leur mouvement et leur impact sur l'environnement. Cette étude permet d'évaluer les risques d'inondations et de sécheresse, assurant ainsi la durabilité des nouvelles lignes tout en minimisant les impacts sur les écosystèmes aquatiques. Les ingénieurs intègrent ces connaissances pour concevoir des systèmes de drainage efficaces et des mesures d'atténuation appropriées, garantissant ainsi le respect des normes environnementales et la fiabilité des infrastructures ferroviaires.

V.2.1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE :

D'un point de vue hydrologique, le tracé de la ligne ferroviaire entre Béchar et Tindouf s'inscrit dans le bassin versant N°13 (Sahara), tel que défini par la carte établie selon le découpage hydrologique adopté par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).
Le projet de la voie ferrée reliant Béchar à Gara Djebilet traverse deux sous-bassins du Sahara algérien : le sous-bassin versant N°01, correspondant au Bassin versant de l'Oued Saoura, et le sous-bassin versant N°02, correspondant au Bassin versant de l'Iguidi Draa.

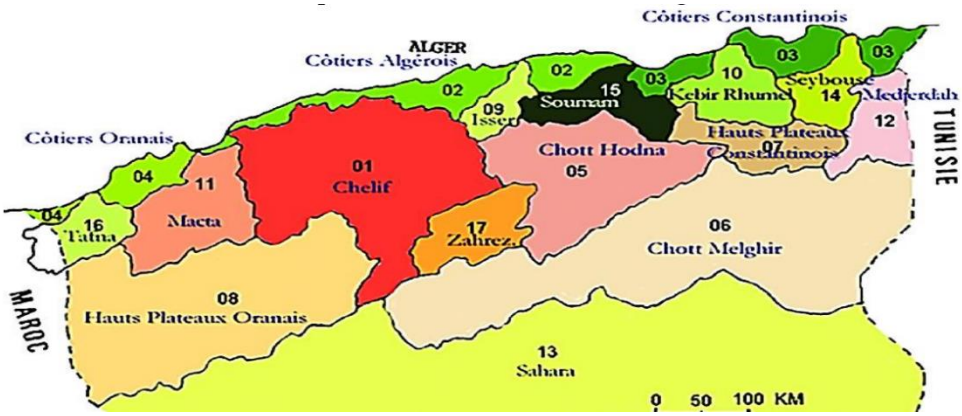


Figure V.1-Figure V.1-Carte des bassins hydrographiques de l'Algérie.

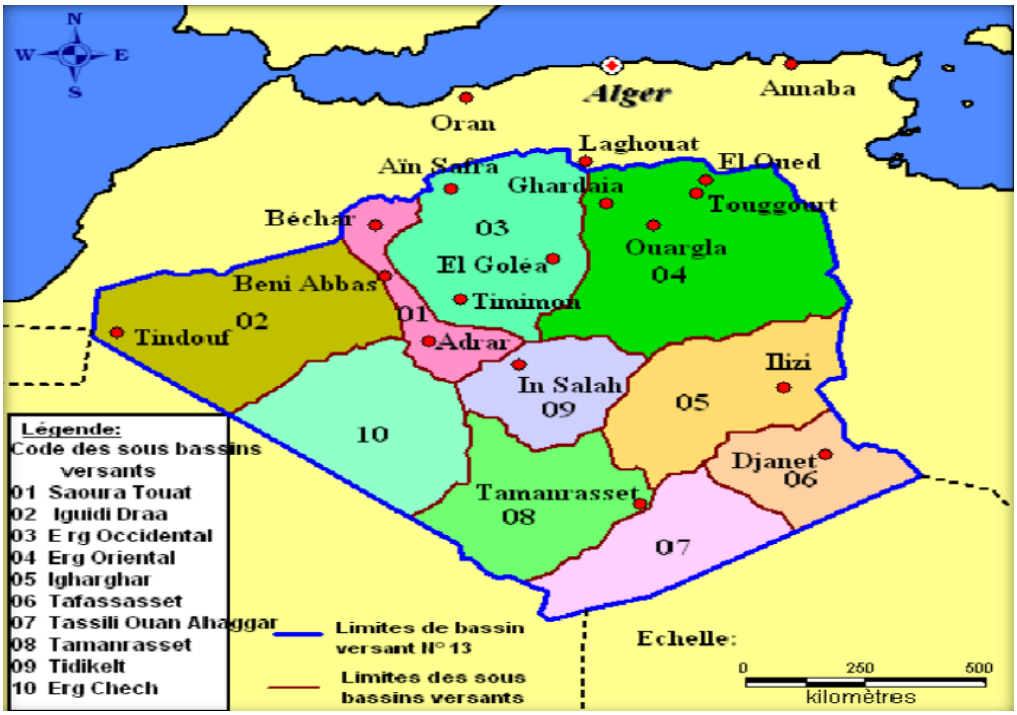


Figure V.2-Carte des sous bassins versants du Sahara Algérien.

Le bassin versant d'Oued Saoura débute à Igli, alimenté par les eaux provenant du Haut Atlas Marocain et de l'Atlas Saharien. Les écoulements se dirigent vers l'aval, passant par Béni Abbés, puis rejoignent la cuvette de la Sebkha el Mellah via l'oued Es Souireg.

Le bassin d'Iguidi Draa, situé dans le Sud-Ouest de l'Algérie, est essentiel pour la région. Il comprend divers cours d'eau alimentés par les précipitations et les eaux de ruissellement des montagnes avoisinantes, dont l'Atlas saharien. Ce bassin présente une géographie variée, des montagnes aux vastes plaines désertiques.

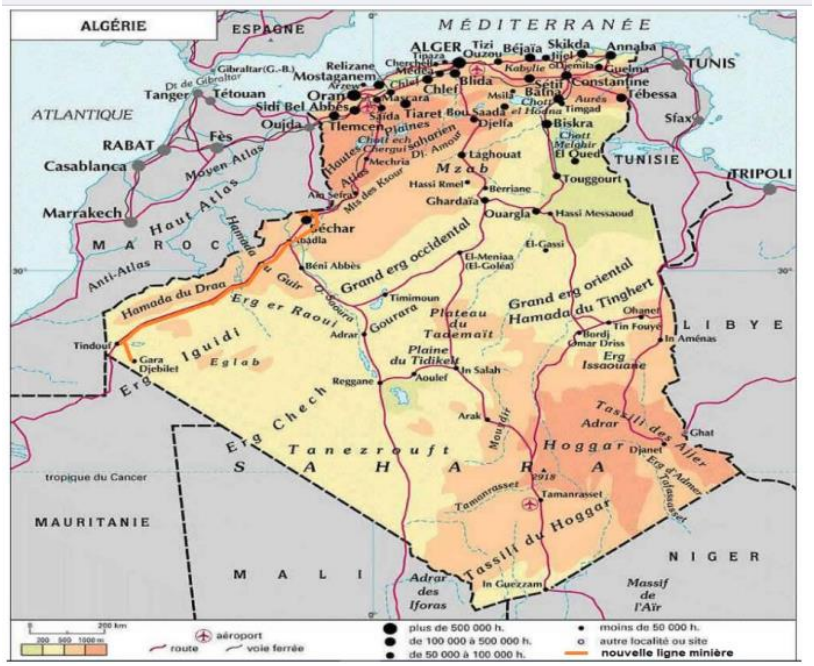


Figure V.3-Localisation géographique du projet

V.2.2 LES CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES ET PLUVIOMÉTRIQUES :

V.2.2.1 LE CLIMAT :

La zone d'étude appartient au domaine bioclimatique saharien, caractérisé par un climat désertique chaud typique. Les précipitations annuelles sont extrêmement faibles, ce qui influence fortement la végétation locale et pose des défis pour l'approvisionnement en eau et l'agriculture.

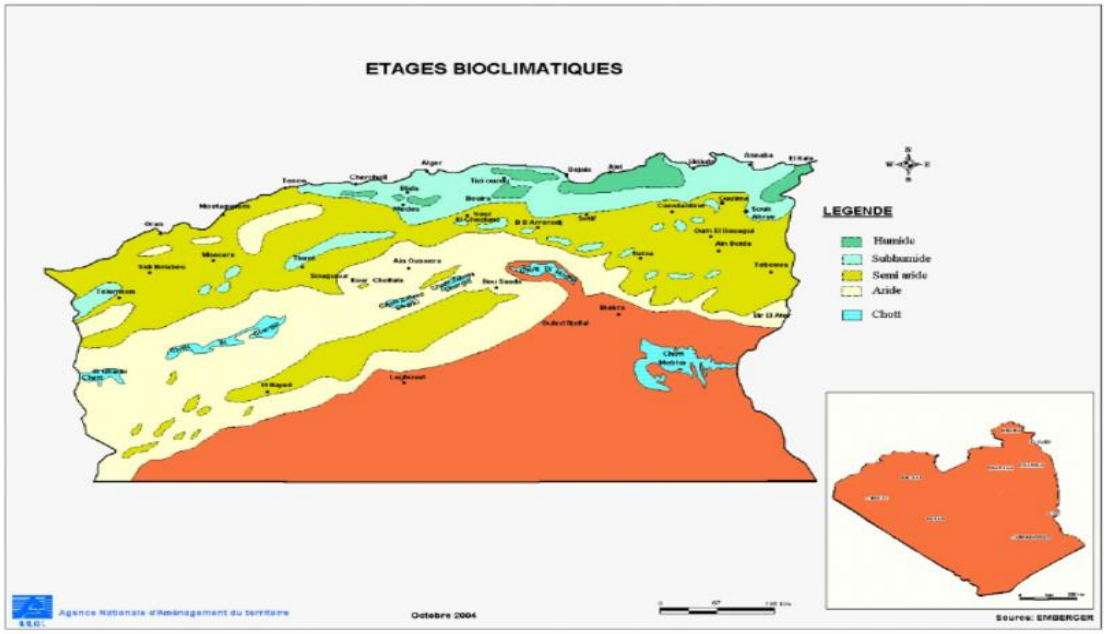


Figure V.4-Carte des étages bioclimatiques de l'Algérie.

V.2.2.2 LA TEMPÉRATURE :

Les données des températures mesurées à Tindouf pour la période (1992-2020) sont illustrées dans le tableau ci-dessous.

Table V.1-Températures mesurées à Tindouf pour la période (1992-2020)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	0	N	D
T_{min}	7	9	12	15	17	21	27	27	23	18	12	8
T_{moy}	13.8	16.3	20.2	23.1	26.1	30.2	35.5	35	30.4	25.3	19.1	14.8
T_{max}	21	24	28	31	35	39	44	43	38	32	26	22

L'analyse du tableau montre que la région de Tindouf présente des températures moyennes élevées tout au long de l'année. Le mois le plus chaud est juillet, avec des températures maximales dépassant souvent les 40°C. En revanche, janvier est le mois le plus froid, avec des températures minimales autour de 7°C. La période la plus chaude de l'année s'étend sur quatre mois, de juin à septembre, où les températures sont particulièrement élevées.

V.2.2.3 LA PRÉCIPITATION :

En raison de son emplacement dans le désert du Sahara, Tindouf présente des précipitations annuelles très limitées, généralement inférieures à 100 millimètres. Ces précipitations sont principalement concentrées pendant les mois les plus frais de l'hiver. Les variations d'une année à l'autre sont importantes, mais dans l'ensemble, Tindouf est caractérisée par des conditions très sèches et arides.

Table V.2-Pluviométrie mensuelle moyenne de la période (1992 – 2020)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	0	N	D	Total
Pluies (mm)	2	7	3	1	7	1	1	8	14	13	4	4	65

Il est observé que les mois de mai, juin, juillet et août sont les plus secs, avec des précipitations inférieures à 1mm. Les niveaux de précipitations maximales sont enregistrés pendant les mois de septembre et novembre, atteignant environ 15mm. En général, les précipitations dans la région sont peu abondantes, ce qui caractérise un climat sec.

a. Les précipitations annuelles :

Notre tronçon allant du PK430+000 au PK450+500 fait partie de la wilaya de Tindouf, où la valeur des précipitations est de $\mathbf{P_{moy}}$ **=86.42mm.**

Table V.3-Les précipitations annuelles.

Année	Pj.max (mm)	Année	Pj.max (mm)	Année	Pj.max (mm)
1993	8	2003	50.90	2013	7.50
1994	90	2004	5.60	2014	23.60
1995	2.30	2005	15.10	2015	44.80
1996	21.10	2006	47.90	2016	22.90
1997	4.60	2007	2	2017	4.80
1998	10	2008	9.10	2018	34.50
1999	27.60	2009	32	2019	22.80
2000	20	2010	27.30	2020	4.80
2001	5	2011	22.80	2021	9.40
2002	14.20	2012	7.80	2022	3.90

b. Les précipitations mensuelles et saisonnières :

Table V.4-Les précipitations mensuelles et saisonnières.

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil	Aôut
$\mathbf{P_{mensuelle}}$ **mm**	2	7	3	1	7	1	1	8	14	13	4	4
$\mathbf{P_{mensuelle}}$ **%**	3	8	4	2	8	2	2	10	16	15	5	5
Saison	**Automne**			**Hiver**			**Printemps**			**Été**		
$\mathbf{P_{saisonnière}}$ **mm**	**12**			**9**			**23**			**21**		
$\mathbf{P_{saisonnière}}$ **%**	**14**			**11**			**27**			**25**		

En observant les données mensuelles de précipitations, nous constatons une variation significative tout au long de l'année. Les mois les plus pluvieux sont mai, juin et juillet, avec des niveaux de précipitations respectifs de 14 mm, 13 mm et 13 mm, ce qui représente une période où les précipitations sont les plus abondantes.

En examinant les pourcentages de précipitations par rapport à l'année, nous notons que les mois de mai (16%), juin (15%) et juillet (15%) contribuent de manière substantielle aux précipitations totales annuelles.

En termes de saisonnalité, le printemps (mars à mai) se démarque comme la saison la plus pluvieuse, avec un total de 23 mm représentant 27% de l'année. L'été (juin à août) suit de près avec 21 mm (25% de l'année).

Cette analyse souligne une concentration des précipitations pendant le printemps et les mois d'été, en particulier en mai, juin et juillet. Ces mois jouent un rôle clé dans le bilan hydrique

annuel et peuvent avoir un impact significatif sur les conditions environnementales et agricoles locales.

V.2.2.4 LE VENT :

La région de Tindouf, située dans le sud-ouest de l'Algérie, est caractérisée par un climat désertique où le vent joue un rôle important dans la vie quotidienne et l'environnement. Les vents dominants viennent de l'ouest pendant la nuit et en fin de matinée, tandis que l'après-midi, ils tendent à venir du sud-ouest. La vitesse moyenne du vent dans cette région est de 16 km/h, avec des rafales pouvant occasionnellement atteindre 35 km/h. Ces conditions venteuses sont particulièrement notables durant les mois chauds, où les températures peuvent monter considérablement. La présence de ces vents peut contribuer à la dispersion de la chaleur et offrir un léger répit de la canicule intense typique de cette région. Cependant, ils peuvent également soulever des tempêtes de sable, influençant ainsi la visibilité et les conditions de vie des habitants et de la faune locale.

V.2.3 LES CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES BASSINS VERSANTS

Le bassin versant d'une section d'un cours d'eau est défini comme la surface drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de la section considérée, appelée exutoire. Tout écoulement issu de cette surface doit traverser l'exutoire pour continuer son trajet vers l'aval. Les limites du bassin versant sont déterminées par des lignes de crêtes et des lignes de plus grande pente.

Après avoir assemblé différentes cartes à l'échelle 1/50 000ème (état-major) et effectué des visites sur le terrain, le tracé de la future voie ferrée est projeté sur les cartes, ce qui permet ensuite la délimitation précise du bassin versant.

La détermination des caractéristiques morphologiques des bassins versants consiste à calculer, et/ou à évaluer, les paramètres explicatifs, indispensables à l'évaluation des débits de crues.

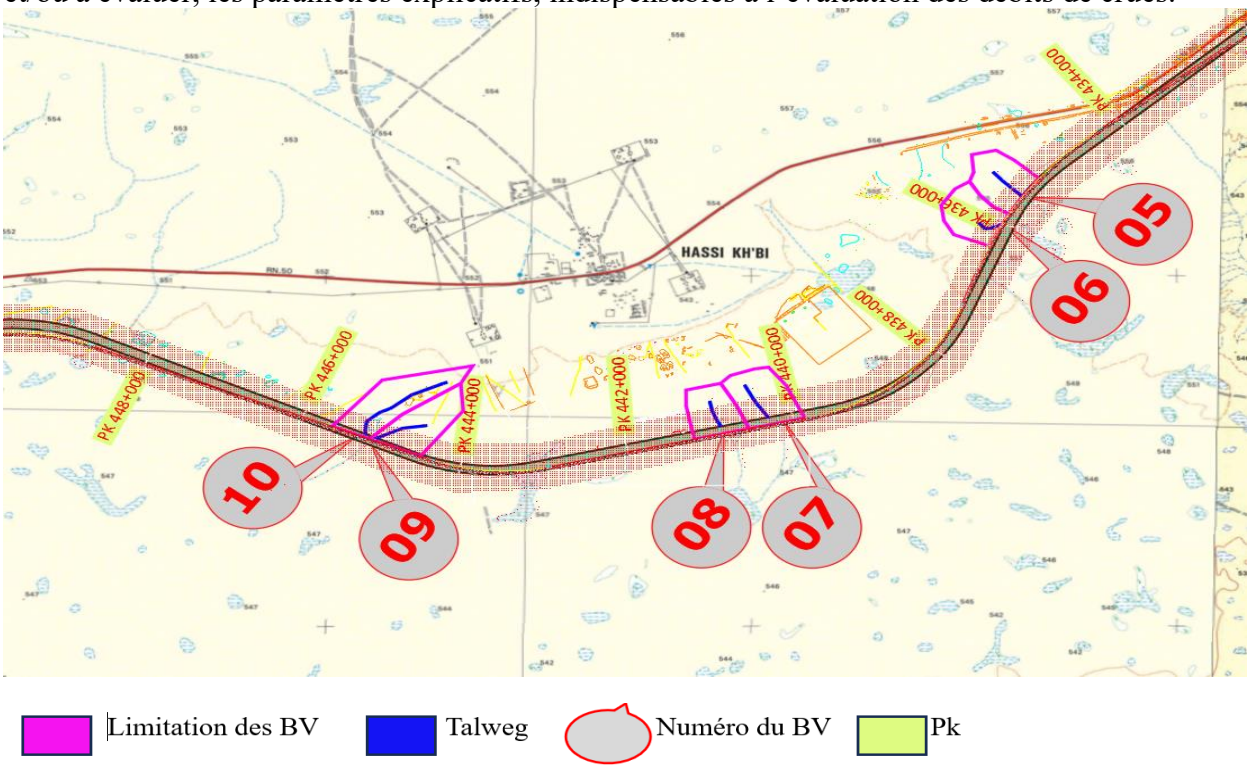


Figure V.5-Délimitation des bassins versants du projet d'étude.

- La surface du bassin versant S en (Km²).
- Le périmètre P en (Km).

- La longueur du talweg L en (Km).
- L'altitude max H_{max} en (m).
- L'altitude min H_{min} en (m).
- La pente moyenne P en (% ou en m/m).
- Le coefficient de compacité de Gravelius K_c
- La différence entre l'altitude maximale et minimale du bassin Δh en m

Table V.5-Les caractéristiques morphologiques des bassins versants

N° BV	PK	S (Km2)	P (Km)	Kc	L	Hmax (m)	Hmin (m)	Hmoy (m)	Δh	P(m/m)
5	435+640	0,45	2,62	1,09	0,493	553,207	551,235	552,221	1,972	0,004
6	436+100	0,42	2,56	1,11	0,313	549,77	548,208	548,989	1,562	0,005
7	440+300	0,52	2,87	1,11	0,653	544,602	543,296	543,949	1,306	0,002
8	440+880	0,4	2,52	1,12	0,455	544,556	544,511	544,5335	0,045	0,000
9	445+160	0,51	3,19	1,25	0,679	551,831	551,152	551,4915	0,679	0,001
10	445+250	0,67	4,07	1,39	1,341	552,044	549,362	550,703	2,682	0,002

V.2.4 CALCUL DE DEBIT MAXIMAL DANS LES BASSINS VERSANTS (DEBIT DE CRUE) :

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

Lorsqu'on projette la réalisation d'importants aménagements, on doit déterminer le maximum probable de la crue pour lequel l'ouvrage devra protéger.

Pour évaluer les débits max des bassins versants aux sites des franchissements, on utilisera les formules empiriques qui sont élaborées en fonction de la pluie et des caractéristiques physiques des bassins versants.

Le débit de projet pris en compte pour les calculs hydrauliques permettant de définir les ouvrages, est le débit égal à la plus grande crue connue ou de fréquence au moins centennale.

V.2.4.1 Formule rationnelle (A<10 km²)

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

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 concentration en (mm/h)

A : surface de bassin versant en (km²)

- **<u>Coefficient de ruissellement : C</u>**

Le coefficient de ruissellement C, est un paramètre exprimant la fonction de ruissellement d'eau sur un sol saturé d'eau par rapport aux précipitations totales tombées sur le bassin. Dans la méthode Kenessey le coefficient « C » est la somme des trois composantes (C_1 ; C_2 et C_3), détaillé comme suit :

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

C_1 : 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.

Table V.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.

Table V.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.

Table V.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 pluie :**

La loi Intensité-Durée-Fréquence est établie à partir des relevés des pluviographes, ensuite traitée par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) par des méthodes statistiques.

L'ajustement de ces séries de données et les pluies journalières se fait avec la loi de Gumbel.

L'intensité I(T,tc) moyenne de la pluie sur le temps de concentration t_c pour une période de retour T est représentée par la formule suivante :

- **Pour les périodes de retour de 10 ans jusqu'à 50 ans :**

$$I(T, t_c) = {a(T)}/{t^b}$$

Avec :

- ✓ I(t,T) : Intensité de pluie en mm/h
- ✓ T : période de retour

- ✓ t : temps en heures.
- ✓ a et b : paramètres de Montana

Table V.9-Les valeurs des paramètres de Montana pour les différentes périodes de retour.

Coefficient de Montana	Temps de retour					
	2ans	5ans	10ans	20ans	50ans	100
b	0.83	0.83	0.84	0.84	0.84	0.84
a	10.21	20.64	27.54	34.16	42.7	50.17

- **Temps de concentration :**

C'est la durée que met une goutte d'eau qui tombe du point le plus élevé du bassin versant pour atteindre l'exutoire, il est exprimé par les formules suivantes qui varient selon la superficie du bassin versant :

- **Formule des petits bassins :**

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

- ✓ Tc : temps de concentration en (h)
- ✓ S : surface du bassin versant en (km²)
- ✓ J : pente brute du bassin en (m/m)

- **Formule de l'ANRH :**

$$T_c = 3\left(\frac{SL}{(10I)^{\frac{3}{2}}}\right)^{1/4}$$

- ✓ Tc : temps de concentration en (h)
- ✓ S : surface du bassin versant en (km²)
- ✓ L : longueur du Talweg en (km)
- ✓ I : pente du bassin versant en (m/m)

- **Formule de Kirpich :**

$$T_c = 0.06628\left(\frac{L^{0.77}}{J^{0.385}}\right)$$

- ✓ Tc : temps de concentration en (h)
- ✓ L : longueur du Talweg en (km)
- ✓ J : pente brute du bassin en (m/m)

V.2.4.2 CALCUL DU TEMPS DE CONCENTRATION

Table V.10-Résultats de Calcul du temps de concentration par les 3 méthodes

N° BV	S (Km²)	P (m/m)	Tc (h) (PB)	Tc (h) (ANRH)	Tc (h) (KIR)
5	0,45	0,004	1,347	6,884	0.322
6	0,42	0,005	1,164	5,553	0.208
7	0,52	0,002	2,048	9,930	0.522
8	0,4	0,0001	8,032	26,128	1.253
9	0,51	0,001	2,868	12,942	0.703
10	0,67	0,002	2,324	12,665	0.909

V.2.5 RESULTATS DE CALCUL DES DEBITS :

Le tableau ci-dessous représente les résultats de tous les paramètres nécessaires pour calculer les débits.

Table V.11-Résultats de calcul de débit pour une période de 100ans avec la méthode rationnelle.

N° BV	PK	S(Km2)	Tc(h)	I mm/h	C	Q(m3/s)
5	435+640	0,45	0.322	129.970	0,21	3.411
6	436+100	0,42	0.208	187.616	0,21	4.596
7	440+300	0,52	0.522	86.616	0,21	2.627
8	440+880	0,4	1.253	41.511	0,21	0.968
9	445+160	0,51	0.703	67.453	0,21	2.006
10	445+250	0,67	0.909	54.356	0,21	2.124

V.3 ETUDE HYDRAULIQUE :

La ligne ferroviaire franchit des talwegs qui seront rétablis à l'aide d'ouvrages hydrauliques conçus et dimensionnés pour perturber le moins possible les écoulements, et ne générer aucune menace pour l'infrastructure, la sécurité des voyageurs et les riverains.

Les écoulements superficiels interceptés par l'infrastructure ferroviaire seront rétablis par la mise en place d'ouvrages hydrauliques adaptés et réalisés dans les règles de l'art.

V.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.

$$\boldsymbol{Q_s = K_s \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} = V_{ecoulement} \times S_m}$$

$$\text{Avec} \quad \boldsymbol{R_h = \frac{Sm}{Pm}}$$

- ✓ Q_s : Débit de saturation de l'ouvrage en (m^3/s)
- ✓ K_s : Coefficient de rugosité des parois du canal.

  Pour le béton : Ks = 70.
- ✓ S_m : Section mouillée en (m^2)
- ✓ Pm : Périmètre mouillé en (m)
- ✓ Rh : Rayon hydraulique en (mm)
- ✓ I : Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).

V.3.1.1 DIMENSIONNEMENT DES BUSES :

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

$Q_s = 0.75 Q_{max}$

Avec :

$S_m = \frac{\pi D^2}{4}$ X 0,8 si D<1m

$S_m = \frac{\pi D^2}{4}$ X 0,5 si D>1m

$R_h = \frac{D}{4}$ $\quad D = 4^{5/8} \left(\frac{Qmax(100)}{Ks\pi\sqrt{I}}\right)^{3/8}$

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

✓ La vitesse d'écoulement V > 1.00 m/s et ne dépasse pas 4.00 m/s.

✓ Soit la vitesse d'écoulement calculée comme précédemment, à partir de

$Q = 0.1Qps \longrightarrow V > 0.6$ m/s.

✓ Soit la vitesse d'écoulement calculée comme précédemment, à partir de

$Q = 0.01Qps \longrightarrow V > 0.3$ m/s.

- **<u>Application numérique :</u>**

On prend un exemple du BV N°06 du pk436+100 avec un $Q_{max(100)} = 4.596$ m^3/s :

Avec $K_s = 70$ et I=0.005

$D = 4^{5/8}\left(\frac{5,916}{70\pi\sqrt{0.05}}\right)^{3/8} = 1.506$ m

On prend 2 buses de diamètre commercial de 1500 mm

$\boldsymbol{Q_{ps} = K_s \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}} = 70\left(\frac{\pi(2)^2}{4}\right)\left(\frac{2}{4}\right)^{2/3}(0.005)^{1/2} = 9.794$ m^3/s

$\boldsymbol{V_{ps} = \frac{Qps}{Sm}} = \frac{9,8}{3.141} = 3.118$ m/s

$\boldsymbol{R_q = \frac{Qmax}{Qps}} \longrightarrow \boldsymbol{V = R_v\, V_{ps}} \longrightarrow \boldsymbol{H = R_h\, D}$

$Q_{max} = 4.596$ m^3/s $\quad$ Qps = 9.794 m^3/s $\quad$ Vps = 3,118 m/s

- Rq = 0,603 $\quad$ Rv = 0,984 $\quad$ V= 3,0681 m/s
- Rh = 0,482 $\quad$ H=946 mm

(Le tableau de rapport des vitesses est joint en annexe)

La vérification des conditions d'auto-curage de l'ouvrage busé pour le BV N°06 est mentionnée sur le tableau ci-dessous :

Table V.12-Condition d'auto-curage pour le BV N°6

Condition	R_q	R_v	V	Vérification
$1\ m/s < V < 4\ m/s$	0,603	1,045	3,2583	OK
$V > 0.6\ m/s$	0,1	0,64	1,996	OK
$V > 0.3\ m/s$	0,01	0,32	0,998	OK

Table V.13-Liste globale des ouvrages busés à projeter

Bassin	05	06	07	08	09	10
PK	435+640	436+100	440+300	440+880	445+160	445+250
$Q_{max\ (100ans)}$ (m^3)	3.412	4.597	2.627	0.969	2.007	2.124
Rugosité Ks	70	70	70	70	70	70
Pente (m/m)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Diamètre théorique	1347	1506	1221	840	1104	1128
Diamètre retenu	1500	2×1500	1500	1500	1500	1500
Vps	2.574	3.118	2.574	2.574	2.574	2.574
Qps	4.548	9.794	4.548	4.548	4.548	4.548
Qps ex	4,446	9,575	4,446	4,446	4,446	4,446
$Rq = Q/Qps$ex	0.75021	0.469369	0.57308	0.211387	0.437827	0.46335
$1\ m/s < V < 4\ m/s$	2.8159	3.0681	2.6589	2.12097	2.4864	2.5225
$V > 0.6\ m/s$	1.647	1.996	1.647	1.647	1.647	1.647
$V > 0.3\ m/s$	0.824	0.998	0.824	0.824	0.824	0.824
Hauteur de remplissage (mm)	970.5	964	814.5	505.5	693	717
Vérification	OK	OK	OK	OK	OK	OK

V.3.2 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES LONGITUDINAUX (FOSSÉS) :

Le dimensionnement des ouvrages longitudinaux est essentiel pour la gestion efficace des eaux de ruissellement le long des infrastructures ferroviaires. Ce processus prend en compte plusieurs éléments clés pour assurer la stabilité et la durabilité des ouvrages.

Pour le dimensionnement des fossés, il est essentiel de commencer par une analyse détaillée du terrain naturel et du profil en travers. Dans le cadre de notre projet, nous allons calculer le débit d'apport, qui représente la somme des débits provenant de la plateforme, du talus et des bermes. Cependant, compte tenu de la faible hauteur des talus dans notre projet, les bermes ne seront pas nécessaires. En conséquence, nous n'inclurons pas les bermes dans nos calculs de débit. Cette approche nous permettra de concentrer nos efforts sur les éléments essentiels tout en garantissant une gestion efficace des eaux de ruissellement.

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

- **Calcul des débits d'apport :**

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

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

Où :

- ✓ La surface mouillée : $Sm = (b + z \times h) \times h$
- ✓ Le périmètre mouillé : $Pm = b + 2h \times \sqrt{1 + z^2}$
- ✓ Le rayon hydraulique : $Rh = Sm/Pm$
- ✓ 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 en long de la voie.
- Les fossés sont construits selon une forme trapézoïdale avec un talus présentant une pente de 3/2 (H/V).
- Le débit à évacuer est la somme des trois débits provenant de la plate-forme et des talus : **Qa = Qpf + Qt.**
- Les débits sont calculés dans le scénario le plus défavorable, où il y a un remblai ou un déblai s'étendant sur une grande longueur et avec une hauteur importante.

Chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle :

$$Q = 0.278CIA$$

Avec :

- ✓ 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).

- **Application sur notre projet :**

Table V.14-Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai.

		CAS REMBLAI	CAS DÉBLAI
		Le cas plus défavorable : Longueur = 1940 m H_{talus} = 5,357 m Largeur de la plateforme = 6.8 m	Le cas plus défavorable : Longueur = 1520 m H_{talus} = 3,526 m Largeur de la plateforme = 6.8 m
Plate-forme	C_r	0.9	0.9
	P(m/m)	0.04	0.04
	A(Km2)	0.013192	0.010336
	T_c(h)	0.25h	
	I (mm/h)	$I = a \times t_c^{-b}$ avec a = 27,54 b = 0,84	
		88.2458	
	Q_{pf} (m3/s)	$Q = 0.278\ C_r\ I\ A$	
		0.291267	0.2282
Talus	C_r	0.7	0.7
	P(m/m)	1/2	1/4
	A(Km2)	0,00662	0,0038526
	T_c(h)	0.25h	
	I (mm/h)	$I = a \times t_c^{-b}$ avec a = 27,54 b = 0,84	
		88.2458	
	Q_T (m3/s)	$Q = 0.278 \times C_r \times I \times A$	
		0,11368	0,06615
Q_a (m3/s) (totale)		**$Q_{pf} + Q_T$ = 0.40494**	$Q_{pf} + Q_T$ =0.29435

Remarque : Il convient de noter que notre plateforme ferroviaire est conçue selon une disposition en forme de chapeau chinois, avec une largeur de 6,8 m à gauche et de 1,2 m à droite. Par conséquent, il est nécessaire de dimensionner le fossé situé à gauche, car il représente le cas le plus contraignant en termes de conception et de drainage.

Le choix du type de fossé se fait en fonction du débit à évacuer rapporté par la plate-forme et les talus.

Table V.15-Dimensionnement du fossé proposé

I(m/m)	z	b	h	S_m	P_m	R_h	K_s	Q_s
0.005	1.5	0.4	0.5	0.575	1.203	0.261	70	0.879

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

Qa < Qs

En conclusion, les types des fossés adoptés pour notre projet de forme trapézoïdal (**b=0.4m, h=0.5 m, z=1.5m).**

V.4 CONCLUSION :

L'étude hydrologique et hydraulique du projet de la nouvelle ligne minière Gara Djebilet est essentielle pour évaluer l'impact des cours d'eau et dimensionner les ouvrages nécessaires. Les analyses montrent que le tracé, situé dans un climat désertique avec des précipitations annuelles très faibles et des températures élevées, traverse des bassins versants dont les caractéristiques varient. La détermination des débits de crues à partir de formules empiriques est primordiale pour prévoir des mesures d'aménagement adéquates, assurant ainsi la sécurité et la durabilité de la ligne ferroviaire.

Chapitre VI : Étude Géologique et Géotechnique.

VI. Chapitre VI : Etude Géologique et Géotechnique

VI.1 INTRODUCTION :

L'étude géotechnique et géologique est essentielle pour évaluer les caractéristiques du sol, de la roche et des formations géologiques qui seront rencontrées durant la construction et l'exploitation.

Cette démarche implique des investigations sur le terrain, des essais en laboratoire et une analyse des données afin de caractériser les matériaux géotechniques.

Les résultats obtenus permettent d'estimer la capacité portante du sol, sa perméabilité, sa résistance à l'érosion ainsi que d'autres paramètres importants pour concevoir les fondations, les remblais, les talus et autres structures liées à notre projet ferroviaire.

Une compréhension approfondie de la géologie et de la géotechnique est impérative pour garantir la stabilité, la durabilité et la sécurité des infrastructures ferroviaires.

VI.2 ETUDE GEOLOGIQUE :

L'étude géologique se focalise sur l'analyse des formations géologiques présentes dans la zone d'étude, visant à examiner leur composition, leur structure et leur historique. Cette analyse permet d'identifier les différentes strates géologiques, les failles, les zones à risque, les aquifères, ainsi que la présence de roches, offrant ainsi une prévision des potentiels dangers géologiques tels que les glissements de terrain, les affaissements ou les infiltrations d'eau qui pourraient impacter la conception, la construction et l'exploitation de la voie ferrée. En outre, elle contribue à réduire les impacts environnementaux en proposant des mesures d'atténuation adaptées. Il est également essentiel de distinguer les sites renfermant des matériaux pouvant être réutilisés de ceux qui sont de qualité médiocre.

VI.2.1 APERÇU GEOLOGIQUE REGIONAL :

Le projet Béchar - Tindouf traverse le sud-ouest de l'Algérie, couvrant les wilayas de Béchar et de Tindouf. Entre les PK 400+000 et 600+000, il traverse la wilaya de Tindouf, bordée par le Maroc, Béchar, le Sahara occidental, Adrar et la Mauritanie. Le tracé passe par la Hammada de Draâ, dominée par des surfaces désertiques tabulaires, et se termine au djebel Ouarkziz. La région est caractérisée par des cuestas et des écoulements temporaires des oueds issus du Haut Atlas oriental.

L'Algérie fait partie du Nord-Ouest africain et se divise en deux domaines principaux : le Sahara au sud, avec les socles précambriens du Hoggar et des Eglabs, et la zone atlasique au nord, comprenant l'Atlas saharien. La plate-forme saharienne, d'âge paléozoïque, est séparée de la zone atlasique par l'accident sud atlasique et comporte les anciens socles du Hoggar et Eglab-Yetti.

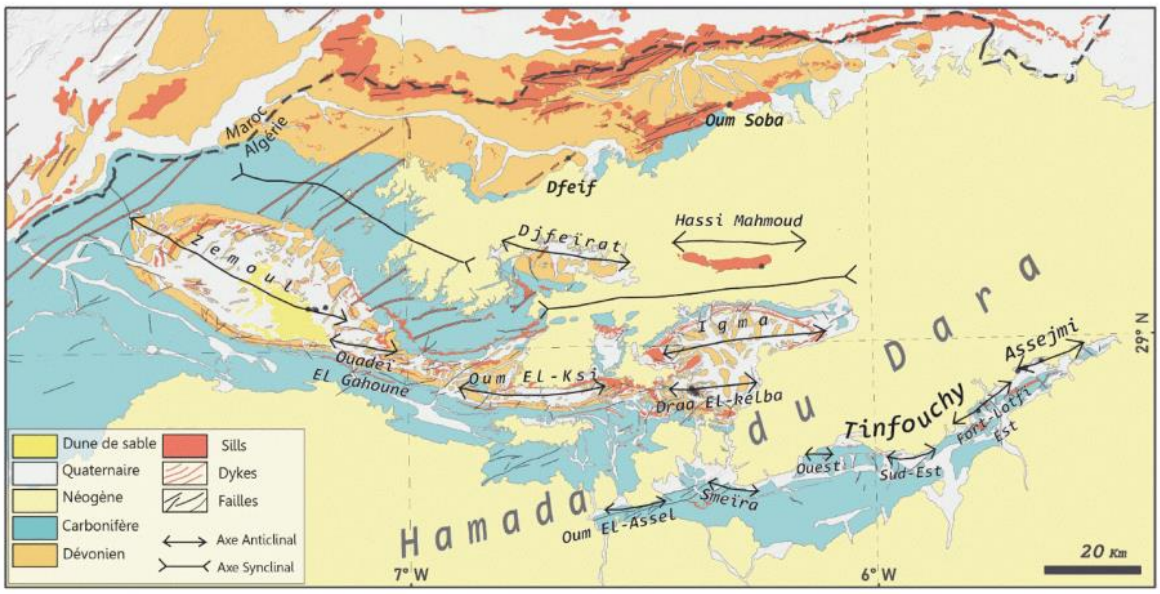


Figure VI.1-Apperçu géologique régional.

VI.2.2 APERÇU GEOLOGIQUE LOCAL

Le tracé de la ligne ferroviaire Béchar – Tindouf – Gara Djebilat traverse le nord du bassin de Tindouf, une vaste dépression de plus de 130 000 km². Ce bassin est bordé par les monts de l'Ougarta à l'est, les frontières algéro-marocaines à l'ouest, l'Anti-Atlas marocain au nord et le massif des Reguibat au sud. La série paléozoïque du flanc nord est plissée et déformée, avec des affleurements argileux du Dévonien supérieur et de vastes formations carbonifères. Le Mésozoïque a introduit des sills doléritiques. D'après la carte géologique de Tindouf au 1/500000, les formations tertiaires de la Hamada du Draâ sont composées de calcaires sableux et de grès, couvrent cette série paléozoïque. Les sondages révèlent des sables graveleux et calcaires consolidés.

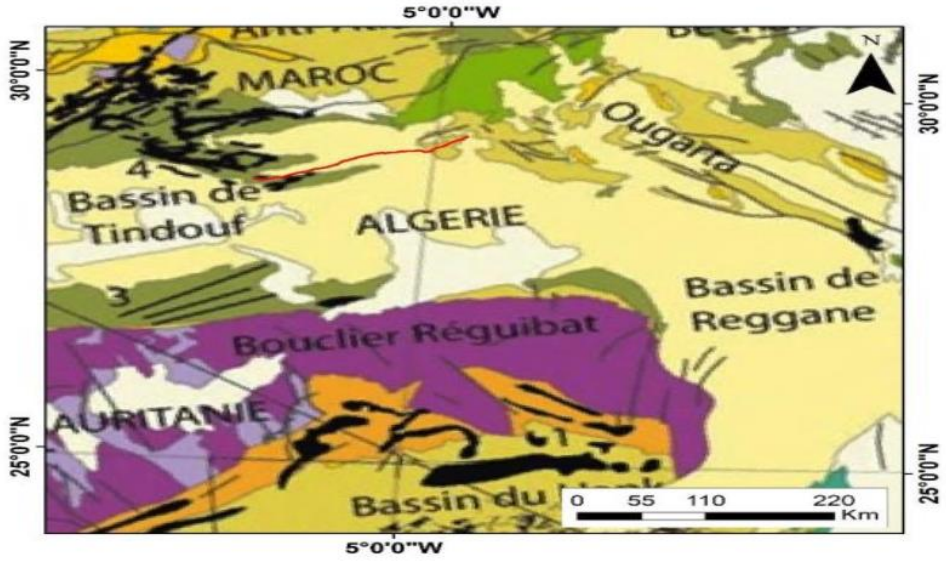


Figure VI.2-Apperçu géologique local.

VI.2.3 RISQUE GEOLOGIQUE :

D'après les règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art (RPOA, 2008) le territoire national est subdivisé en cinq (05) zones de sismicité croissante, D'après ce découpage la zone d'étude est située dans la zone 0, caractérisée par une sismicité négligeable.

La morphologie de la zone d'étude, le réseau hydrographique ainsi que le climat aride, font que la zone traversée par le tracé ne présente pas une vulnérabilité face au risque d'inondation.

Pour le risque d'ensablement, dans la zone d'étude on ne constate pas des traces de sable sous forme de pollution éolienne.

VI.3 ETUDE GEOTECHNIQUE :

La géotechnique est essentielle en construction ferroviaire, étudiant sols, roches et phénomènes géologiques pour assurer la sécurité des infrastructures. Elle guide la conception de fondations adaptées et identifie les risques comme les glissements de terrain ou l'affaissement. En optimisant les techniques de construction selon les propriétés du site, elle minimise les impacts et les coûts. Sélectionner matériaux et méthodes en fonction des conditions géotechniques garantit la durabilité des ouvrages. La géotechnique est ainsi vitale pour concevoir, construire et entretenir des infrastructures ferroviaires fiables et durables.

VI.3.1 PROGRAMME D'INVESTIGATION GEOTECHNIQUE :

Dans le cadre du projet en question le programme d'investigation géotechnique adapté aux types d'ouvrage projeté ; à savoir :

- Terrassement :
  - Plateforme
  - Remblai
  - Déblai
- Gare
- Ouvrages hydrauliques

De ce fait le programme se présente comme suit :

Table VI.1-Programme d'investigation sur les 20km de notre zone d'étude

Pk		Essai in situ	Profondeur (m)
Plateforme	PK 431+ 000	PU-171-LM/TB	4.00
Plateforme	PK 431+ 000	PDL-168-LM/TB	Refus
Plateforme	PK 432+ 500	PU-172-LM/TB	4.00
Plateforme	PK 432+ 500	PDL-169-LM/TB	Refus
Plateforme	PK 434+ 000	PU-173-LM/TB	4.00
Plateforme	PK 434+ 000	PDL-170-LM/TB	Refus
Plateforme	PK 435+ 500	PU-174-LM/TB	4.00
Plateforme	PK 435+ 500	PDL-171-LM/TB	Refus
Plateforme	PK 437+ 000	PU-175-LM/TB	4.00
Plateforme	PK 437+ 000	PDL-172-LM/TB	Refus
Plateforme	PK 438+ 500	PU-176-LM/TB	4.00
Plateforme	PK 438+ 500	PDL-173-LM/TB	Refus
Plateforme	PK 440+ 000	PU-177-LM/TB	4.00
Plateforme	PK 440+ 000	PDL-174-LM/TB	Refus
Plateforme	PK 441+ 500	PU-178-LM/TB	4.00

Plateforme	PK 441+ 500	PDL-175-LM/TB	Refus
Plateforme	PK 443+ 000	PU-179-LM/TB	4.00
Plateforme	PK 443+ 000	PDL-176-LM/TB	Refus
Plateforme	PK 444+ 500	PU-180-LM/TB	4.00
Plateforme	PK 444+ 500	PDL-177-LM/TB	Refus
Plateforme	PK 446+ 000	PU-181-LM/TB	4.00
Plateforme	PK 446+ 000	PDL-178-LM/TB	Refus
Plateforme	PK 447+ 500	PU-182-LM/TB	4.00
Plateforme	PK 447+ 500	PDL-179-LM/TB	Refus
Plateforme	PK 449+ 000	PU-183-LM/TB	4.00
Plateforme	PK 449+ 000	PDL-180-LM/TB	Refus
Plateforme	PK 450+ 500	PU-184-LM/TB	4.00
Plateforme	PK 450+ 500	PDL-181-LM/TB	Refus

L'objectif de ce programme d'investigation géotechnique dans notre zone d'étude est d'analyser le tracé projeté de la ligne ferroviaire Béchar-Tindouf-Gara Djebilet. Pour notre zone on s'intéresse que sur le lot tracé.

VI.3.1.1 LOT TRACE :

L'analyse détaillée du sol et de ses propriétés géotechniques et morphologiques pour chaque déblai et remblai est importante pour choisir une structure d'assise adaptée. Cette étape vise à évaluer les caractéristiques physiques et mécaniques du sol en place afin de réaliser les actions suivantes :

- ✓ Déterminer la capacité portante du sol pour dimensionner la couche d'assise de la voie ferrée. Cela implique l'évaluation de paramètres tels que la résistance à la compression, la cohésion, l'angle de frottement interne et la compressibilité du sol.
- ✓ Selon les propriétés du sol, l'utilisation du sol local comme matériau de remblai ou de couche de forme peut être envisagée. L'analyse doit prendre en compte des facteurs tels que la stabilité, la capacité portante et la perméabilité du sol.

- **PUITS DE RECONNAISSANCE :**

Les puits de reconnaissance sont des trous creusés dans le sol pour collecter des données géotechniques et géologiques, aidant à évaluer les conditions du sous-sol pour des projets de construction.

- **ESSAI AU LABORATOIRE :**

Table VI.2-Programme d'investigation du Lot tracé

Essais géotechniques					
Localisation		**Hauteur**	**Essais in situ**	**Prof**	**Essais au laboratoire**
PU1	**431+000**	**2.04**	**01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par co6uche.**	**0.30-1.10m**	**- Granulométrie. - Limite d'Atterberg. - Proctor modifié. - CBR imbibé. - VBS.**
PU2	**432+500**	**2.00**		**0.20-1.00m**	
PU3	**434+000**	**0.51**		**0.30-0.90m**	
PU4	**435+500**	**0.15**		**0.30-0.90m**	
PU5	**437+000**	**0.73**		**0.30-0.40m**	

PU6	**438+500**	**0.77**		**0.20-0.80m**	
PU7	**440+000**	**2.53**		**0.30-1.00m**	
PU8	**441+500**	**3.68**		**0.20.-0.60m**	
PU9	**443+000**	**4.14**		**0.20-10m**	
PU10	**444+500**	**2.42**		**0.30-1.10m**	
PU11	**446+000**	**1.84**		**0.30-1.60m**	
PU12	**447+500**	**2.55**		**0.30-1.10m**	
PU13	**449+000**	**3.53**		**0.10-0.50m**	
PU14	**450+500**	**5.10**		**0.30-1.60m**	

Table VI.3-La lithologie des puits de reconnaissance.

	Pk	**La lithologie**	
PU1	431+000	00.00-00.30^{m}	Remblais (sable)
		00.30-01.00^{m}	Grés calcaire enrobé dans une matrice sableuse argileuse
		01.00-01.10^{m}	Dalle gréseux calcaire
PU2	432+500	00.00-00.20^{m}	Remblais (sable)
		00.20-00.80^{m}	Grés calcaire enrobé dans une matrice sableuse argileuse
		00.80-01.00^{m}	Dalle gréseux calcaire
PU3	434+000	00.00-00.30^{m}	Remblais (sable)
		00.30-00.80^{m}	Grés calcaire enrobé dans une matrice sableuse argileuse
		00.80-00.90^{m}	Dalle gréseux calcaire
PU4	435+500	00.00-00.30^{m}	Remblais (sable)
		00.30-00.80^{m}	Grés calcaire enrobé dans une matrice sableuse argileuse
		00.80-00.90^{m}	Dalle gréseux calcaire
PU5	437+000	00.00-00.30^{m}	Remblais (sable)
		00.30-00.40^{m}	Dalle gréseux calcaire
PU6	438+500	00.00-00.20^{m}	Remblais (sable)
		00.20-00.70^{m}	Grés calcaire enrobé dans une matrice sableuse argileuse
		00.70-00.80^{m}	Dalle gréseux calcaire
PU7	440+000	00.00-00.30^{m}	Remblais (sable)
		00.30-00.80^{m}	Grés calcaire enrobé dans une matrice sableuse argileuse
		00.80-01.00^{m}	Dalle gréseux calcaire
PU8	441+500	00.00-00.20^{m}	Remblais (sable)
		00.20-00.50^{m}	Sable carbonaté avec passage des grés
		00.50-00.60^{m}	Dalle gréseux calcaire
PU9	443+000	00.00-00.20^{m}	Remblais (sable)
		00.20-00.80^{m}	Grés calcaire enrobé dans une matrice sableuse argileuse
		00.80-01.00^{m}	Dalle gréseux calcaire
PU10	444+500	00.00-00.30^{m}	Remblais (sable)
		00.30-01.00^{m}	Sable carbonaté avec passage des nodules de grés
		01.00-01.10^{m}	Calcaire dolomitise dans une matrice sableuse argileuse
PU11	446+000	00.00-00.30^{m}	Remblais (sable)
		00.30-01.50^{m}	Grés calcaire enrobé dans une matrice sableuse argileuse

		01.50-01.60 m	Dalle gréseux calcaire
PU12	447+500	00.00-00.30m	Remblais (sable)
		00.30-01.00 m	Grés calcaire enrobé dans une matrice sableuse limoneuse
		01.00-01.10 m	Dalle gréseux calcaire
PU13	449+000	00.00-00.10m	Remblais (sable)
		00.10-00.50 m	Dalle gréseux calcaire
PU14	450+500	00.00-00.30m	Remblais (sable)
		00.30-01.50 m	Grés calcaire enrobé dans une matrice sableuse carbonaté
		01.50-01.60 m	Dalle gréseux calcaire

VI.3.1.2 Résultats des essais de laboratoire

Table VI.4-Résumé des résultats des essais de laboratoire réalisés sur les échantillons des puits de reconnaissance.

PU N°	Prof (m)	Granulométrie			VBS	Limites d'Atterberg			Proctor modifié		CBR	GTR
		D_{max} (mm)	%< 2mm	%< 0.08mm		W_L %	W_P %	IP	ρ_{OPM} (t/m^3)	W_{OPM} %		
1	**0.2 - 1**	<50mm	-	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	-
2	**0.3 – 0.9**	<50mm	76	34	0.25	33	17	16	1.86	1.86	16.45	**B_5**
3	**0.3 – 0.9**	<50mm	69	33	0.18	31	17	14	1.85	1.85	13.11	**B_5**
4	**0.3 – 0.4**	<50mm	69	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	-
5	**0.3 – 0.4**	<50mm	52	38	0.18	40	22	18	1.85	11.5	14.16	**A_2**
6	**0.2 – 0.8**	<50mm	55	21	0.21	29	17	12	1.94	10.5	13.55	**B_5**
7	**0.3 – 1**	<50mm	71	23	0.25	29	26	3	1.93	10.1	13.74	**B_5**
8	**0.2 – 0.6**	<50mm	-	38	0.72	39	20	19	1.82	10.7	13.48	**A_2**
9	**0.2 – 1**	<50mm	-	21.55	0.36	29.53	18.37	11.16	1.80	12.7	16.14	**B_5**
10	**0.3 – 1.1**	<50mm	-	16.32	0.42	21.9	7.89	14.01	1.81	11.6	17.75	**B_5**
11	**0.3 – 1.6**	<50mm	-	20.27	0.41	26.28	11.97	14.31	1.88	10.5	29.85	**B_5**
12	**0.3 – 1.1**	<50mm	-	41.5	0.79	29.77	17.49	12.28	1.93	7.7	39.67	**A_2**
13	**0.1 – 0.5**	<50mm	-	26.15	0.56	30.45	16.19	14.26	1.84	12.6	21.69	**B_5**
14	**0.3 – 1.6**	<50mm	-	20.41	0.38	27.85	17.36	10.49	1.9	9.8	39.2	**B_5**

- **Essai de pénétromètre dynamique :**

Table VI.5-Résumé des résultats de l'essai du pénétromètre dynamique.

PK	Symbol	Résultat
431+000	PDL-1	Refus à 0.8
432+500	PDL-2	Refus à 0.4
434+000	PDL-3	Refus à 0.4
435+500	PDL-4	Refus à 0.4
437+000	PDL-5	Refus à 0.6
438+500	PDL-6	Refus à 0.6
440+000	PDL-7	Refus à 0.6
441+500	PDL-8	Refus à 0.6
443+000	PDL-9	Refus à 1
444+500	PDL-10	Refus à 1.2
446+000	PDL-11	Refus à 1.4

447+500	PDL-12	Refus à 0.8
449+000	PDL-13	Refus à 0.4
450+500	PDL-14	Refus à 0.6

- **INTERPRÉTATIONS ET OBSERVATIONS :**

Table VI.6-Interprétation des résultats du programme d'investigation géotechnique.

	Propriété	Variation	Commentaire
Propriétés physiques et mécaniques	Indice de Plasticité	**3-19**	Le sol montre une gamme de plasticité, allant de faible à élevée, ce qui indique sa capacité à se déformer sans se fissurer."
	Densité optimale	**1.8-1.94**	Le sol présente une forte densité au compactage, ce qui suggère une bonne capacité portante. De plus, la variabilité de la teneur en eau optimale indique que le sol peut s'adapter à différentes conditions pour une performance optimale.
	Teneur en eau optimale	**1.85-12.7**	
	Valeurs au bleu de méthylène	**0.18-0.79**	Le résultat suggère que le sol contient peu d'argiles expansives, ce qui peut limiter les risques de gonflement en présence d'eau.
	Indice CBR	**13.11-39.67**	Le sol présente une plage de résistance allant de faible à élevée, ce qui suggère qu'il peut supporter des charges plus lourdes.

VI.3.2 UNITES GEOTECHNIQUES :

Lors des essais pressiométriques et des puits de reconnaissance le long de notre tracé, deux unités lithologiques ont été identifiées. La caractérisation géotechnique de chacune de ces unités a été effectuée en tenant compte de la nature et de l'origine de la formation géologique, ainsi que des résultats des tests in situ et en laboratoire.

UNITE 01 : SABLE

Sable se réfère à une formation constituée principalement de particules de sable, qui sont des grains minéraux de taille comprise entre 0,063 mm et 2mm. Cette unité est présente le long du notre tracé du pk430+000 au pk450+500 avec une profondeur de 0,30m.

UNITE 02 : GRES CALCAIRE

Grès calcaire se réfère à une formation rocheuse constituée principalement de grès, qui est un type de roche sédimentaire composée de grains de sable cimentés, et de calcaire, une roche sédimentaire composée principalement de carbonate de calcium. Cette unité est présente le long du notre tracé pk430+000 au pk450+500 avec une profondeur très grande.

VI.3.3 EMPRUNT ET DÉPÔT :

VI.3.3.1 IDENTIFICATION DES GITES À MATÉRIAUX :

Le gite d'emprunt n'est pas situé dans notre zone d'étude mais il a fait l'objet de prélèvements de matériaux pour le besoin de notre projet, la fiche technique du gite est représentée ci-dessous :

Table VI.7-Liste des gites d'emprunt et leurs fiches techniques.

Gite	Près au PK	Nature géologique : Lithologie	Taux de réutilisation	Type d'utilisation
Gite 31	**PK 416+000**	00,00-00,30 : remblais	Non réutilisable	/
		00,30-01,30 : calcaire grés enrobe dans une matrice sableuse limoneuse	Réutilisable à 90%	- Couche d'assise - Couche de forme - Partie supérieure de remblai - Remblai courant - Remblai technique - Béton
		01,30-01,50 : dalle calcaire gréseux	Réutilisable à 90%	

VI.3.3.2 IDENTIFICATION DES ZONES DE DÉPÔT :

Les zones de dépôts sont des lieux désignés pour stocker des matériaux excavés ou des déchets. Une zone de dépôt temporaire permet un stockage provisoire pour faciliter les travaux avant le traitement ou le transport final, et est généralement située près du site de travail pour minimiser les coûts et le temps de transport. En revanche, une zone de dépôt définitif est destinée au stockage permanent de matériaux après la fin des travaux. Elle est choisie pour minimiser l'impact environnemental et nécessite souvent des mesures de stabilisation et de réhabilitation.

Dans le cas de notre projet, le taux de déblai est faible. Une partie est non réutilisable et doit être évacuée vers les dépôts définitifs, autrement dit les gîtes d'emprunt, tandis que l'autre partie, réutilisable, est évacuée vers des dépôts temporaires proches de la zone du projet d'étude pour faciliter le déplacement et réduire le coût et la durée du transport.

Le tableau ci-dessous représente les zones de dépôt avec le plan de localisation :

Table VI.8-Plan de localisation des zones de dépôt

Zone de dépôt		Type de déblai	Localisation
Zone	Temporaire	Réutilisable	À proximité du projet
	Définitif	Non réutilisable	Gite N°31 au pk416+000

VI.4 CONCLUSION :

L'étude géotechnique et géologique de la ligne ferroviaire Béchar - Tindouf - Gara Djebilet révèle une diversité de formations géologiques, nécessitant une adaptabilité dans les méthodes de construction. La capacité portante variable des sols, allant de faible à élevée, permet de supporter des charges lourdes dans certaines sections. Bien que les matériaux de gîte d'emprunt soient situés en dehors de la zone d'étude, leur disponibilité constitue un atout majeur pour la construction. Un programme rigoureux d'investigation, comprenant des reconnaissances sur le terrain, des échantillonnages et des tests en laboratoire, assure la sécurité et la durabilité de l'infrastructure. Ces résultats permettent une construction optimisée, garantissant une infrastructure ferroviaire fiable et durable.

Chapitre VII : Assise Ferroviaire.

VII. Chapitre VII : Assise Ferroviaire

VII.1 INTRODUCTION :

L'assise ferroviaire constitue la fondation sur laquelle repose l'ensemble de la structure des voies ferrées. Elle joue un rôle essentiel dans la stabilité et la durabilité du réseau ferroviaire, garantissant ainsi la sécurité et l'efficacité du transport ferroviaire. Conçue pour supporter les charges dynamiques et statiques des trains, l'assise ferroviaire comprend plusieurs couches de matériaux soigneusement sélectionnés et compactés, incluant généralement le ballast, les sous-couches et la plateforme de fondation. Chaque composant de l'assise est essentiel pour assurer la répartition uniforme des charges, le drainage efficace des eaux, et la résistance aux forces de cisaillement et de tassement. L'ingénierie de l'assise ferroviaire requiert une attention minutieuse aux caractéristiques géotechniques du terrain, aux conditions climatiques locales et aux exigences spécifiques du trafic ferroviaire. Plus précisément, l'assise ferroviaire est la base indispensable qui soutient la robustesse et la performance continue des infrastructures ferroviaires.

VII.2 LES COUCHES D'ASSISE FERROVIAIRE :

Les couches d'assise jouent un rôle important dans le maintien de la voie ferrée en garantissant sa rigidité, son nivellement et son drainage adéquats. L'épaisseur et la nature de ces couches dépendent de plusieurs facteurs :

- ✓ Les caractéristiques intrinsèques des sols de la plate-forme, telles que la nature, la portance, et leur sensibilité à l'eau et au gel.
- ✓ Les caractéristiques globales de la plate-forme, influencées par les propriétés des sols et les conditions hydrogéologiques du site.
- ✓ Les conditions climatiques locales.
- ✓ Le trafic ferroviaire, y compris les tonnages, les charges et les vitesses des trains.
- ✓ L'armement ferroviaire, comme le profil des rails et la nature et l'espacement des traverses.

VII.2.1 SOUS-COUCHE :

La sous-couche est une couche intermédiaire située entre la couche de ballast et la plateforme. Elle peut être composée d'une ou plusieurs couches. De haut en bas, elle comprend :

- ✓ Une couche sous-ballast en grave propre entièrement concassée (0/31,5 mm) bien graduée.
- ✓ Une couche de fondation en grave sableuse entièrement concassée, utilisée en cas de sol de mauvaise qualité.
- ✓ Une couche anti-contaminante, le cas échéant, complétée par des feuilles de géotextile de séparation.

La sous-couche est importante dans la construction des voies ferrées, assurant plusieurs fonctions essentielles :

- ✓ Amélioration de la portance et répartition des charges : Elle renforce la capacité portante de la voie et répartit efficacement les charges des trains sur la plateforme.
- ✓ Amélioration des propriétés vibratoires : La sous-couche atténue les vibrations des trains, augmentant ainsi le confort et la sécurité du système ferroviaire.

- ✓ Prévention de la contamination : Elle agit comme une barrière, empêchant les matériaux de la plateforme de contaminer le ballast et préservant ainsi ses performances.
- ✓ Protection contre l'érosion : La sous-couche protège la plateforme contre l'érosion, maintenant la stabilité de la voie.
- ✓ Drainage des eaux pluviales : Elle facilite l'évacuation des eaux de pluie, prévenant ainsi les problèmes d'inondation et maintenant l'intégrité de la voie.

VII.2.2 SOUS-BALLAST :

Le sous-ballast est une couche fondamentale dans la construction de la voie ferrée, indispensable même sur des plateformes rocheuses. Sa fonction principale est d'assurer une égalisation de la raideur de l'assise. Il est généralement composé de gravier propre bien gradué de 0 à 31,5 mm, avec au moins 30% de matériau concassé ayant un diamètre de la plus grosse roche (DRG) de ≥ 12 mm, compacté à 100% de l'Optimum Proctor Normal (OPN). En plus de son rôle d'égalisation, le sous-ballast contribue également à répartir les charges transmises sur le sol de la plateforme.

VII.2.3 COUCHE DE FONDATION :

La couche de fondation, généralement composée de grave propre bien graduée, doit être compactée à 100% de l'Optimum Proctor Normal (OPN). Elle permet de supporter la circulation des engins de chantier avant l'installation de la couche de sous-ballast. Toutefois, elle n'est pas nécessaire sur les sols de bonne qualité. Les matériaux utilisés doivent répondre à des spécifications précises, tels que le sous-produit de carrière du ballast (0/31,5 mm), proprement gradué avec un diamètre de la plus grosse roche (DRG) supérieur à 10mm.

VII.2.4 PLATE-FORME :

La partie supérieure de l'ouvrage en terre, appelée plateforme, soutient la sous-couche. Elle est constituée soit de terres rapportées pour un remblai, soit du sol naturel pour un déblai. Le sol constituant la plateforme doit remplir plusieurs fonctions essentielles :

- Répartir les charges reçues par la superstructure.
- Évacuer les eaux de ruissellement et pluviales vers le système de drainage.
- Protéger contre la pénétration du ballast par les limons et les argiles du sol.
- Amortir les vibrations causées par la circulation des véhicules.
- Abaisser le niveau des eaux souterraines.

Pour évaluer la qualité de la plateforme, les actions suivantes sont nécessaires :

- Évaluer la qualité de chaque sol constituant la plateforme.
- Évaluer la qualité de la plateforme dans son ensemble, en considérant la combinaison de la couche de forme et du sol sous-jacent.

VII.3 CLASSIFICATION DES SOLS POUR LA PLATE-FORME :

La qualité du sol dépend de sa nature géotechnique ainsi que des conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales. La nature géotechnique est déterminée par l'identification

géotechnique, tandis que les bonnes conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont définies par plusieurs critères, tels que :

- ✓ La couche supérieure du sol se trouvant au-dessus de toute nappe phréatique naturelle.
- ✓ L'absence de percolations naturelles.
- ✓ Le bon fonctionnement des dispositifs de drainage pour l'évacuation des eaux de pluie.

L'évaluation de ces paramètres permet de déterminer la qualité globale du sol, garantissant ainsi des conditions favorables sur les plans géotechnique et hydrologique. L'analyse de la fiche UIC 719 R nous permet de distinguer quatre classes de qualité de sols selon leur classification géotechnique.

(La fiche UIC 719 R est jointe en annexe)

Le tableau ci-dessus présente la classification des sols UIC pour tous les puits de reconnaissance effectués :

Table VII.1-Classification UIC

N° PU	Pk	Classification GTR		Classification UIC
		Selon la nature	Selon l'état hydrique	
01	**431+000**	B_5	B_5	QS1
02	**432+500**	B_5	B_5	QS1
03	**434+000**	B_5	B_5	QS1
04	**435+500**	B_5	B_5	QS1
05	**437+000**	A_2	A_2	QS1
06	**438+500**	B_5	B_5	QS1
07	**440+000**	B_5	B_5	QS1
08	**441+500**	A_2	A_2	QS1
09	**443+000**	B_5	B_5	QS1
10	**444+500**	B_5	B_5	QS1
11	**446+000**	B_5	B_5	QS1
12	**447+500**	A_2	A_2	QS1
13	**449+000**	B_5	B_5	QS1
14	**450+500**	B_5	B_5	QS1

A partir de la fiche UIC 719R, nous concluons que la classe de qualité du sol de la plate-forme dans la zone d'étude est de **classe QS1.**

VII.4 CLASSE DE PORTANCE :

La détermination des types de plateformes repose sur les caractéristiques des sols constituant le sommet des remblais ou les sols présents au niveau de la fondation de la plateforme en excavation. Ces caractéristiques incluent le type de sol, son état hydrique et son épaisseur. Conformément au code UIC 719R, ces facteurs permettent de définir les classes de qualité des sols, et donc la classe de portance de la plateforme.

On distingue trois classes de portant selon le code UIC 719R :

- ✓ P1 : Plate-forme de médiocre qualité
- ✓ P2 : Plate-forme de moyenne qualité

- ✓ P3 : Plate-forme de bonne qualité

La classification des plateformes selon ces classes permet de sélectionner les sols appropriés et de garantir une construction adaptée aux charges prévues.

Le tableau ci-dessus représente les épaisseurs de la couche de forme selon la qualité du sol support et la classe de portance de la plateforme :

Table VII.2-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	-

VII.4.1 PLATE-FORME PROPOSEE :

Compte tenu de ce qui précède, notamment de la classe des qualités du sol support le plus souvent rencontré le long du tracé est en majorité QS1, et en tenant compte du tonnage annuel important de **50 millions de tonnes / an,** ainsi que les prescriptions données par les UIC, nous conseillons d'opter pour une plateforme de type P3(bonne plateforme) dimensionnée préalablement pour un tel type de sol (QS3).

VII.4.2 COUCHE DE FORME :

Pour répondre à l'exigence d'une plateforme de support de qualité type P3, il a été décidé d'appliquer une couche de forme de 50 cm d'épaisseur, en utilisant un matériau de qualité de sol QS3, dans les zones où les matériaux sont de qualité de sol QS1. Cependant, pour des raisons économiques, il a été décidé d'appliquer une couche de forme de **35 cm** et une PST de 1m avec un matériau QS3 pour réduire l'épaisseur de la couche de forme et économiser les coûts. (Voir en annexe la fiche de matériau utilisé pour la couche de forme)

VII.5 CALCUL DES EPAISSEURS MINIMAUX DE LA COUCHE D'ASSISE :

(Selon la fiche UIC 719 R)

Une plateforme ferroviaire est constituée généralement par un ensemble de sous couches à savoir : Une couche de ballast, Une sous-couche qui comprend les couches de sous ballast, couche de fondation, couche anti-contaminant et géotextile. L'épaisseur de l'ensemble ballast+ sous-couche est donnée par l'expression suivante :

$$\mathbf{e = E + a + b + c + d + f + g}$$

Les caractéristiques et les valeurs de ces paramètres sont détaillés selon la fiche UIC 719R en annexe.

Alors on prend :

- ✓ **E** = 0,45 m pour une plate-forme de classe de portance P3
- ✓ **a** = 0 pour une vitesse V≥160km/h
- ✓ **b** = 0.05 m pour les traverses en béton de longueur L = 2,415 m
- ✓ **c** = 0 pour un dimensionnement normal
- ✓ **d** = +0.15 m pour une charge à l'essieu de 325kN
- ✓ **f** = 0.05
- ✓ **g** = 0 pour une couche de forme est en sol QS3

e [m] = 0.45+ 0 + 0.05 + 0 + 0.15 + 0.05 + 0 = **0.70m**

L'épaisseur des couches d'assise est alors fixée à **0,70 m**.

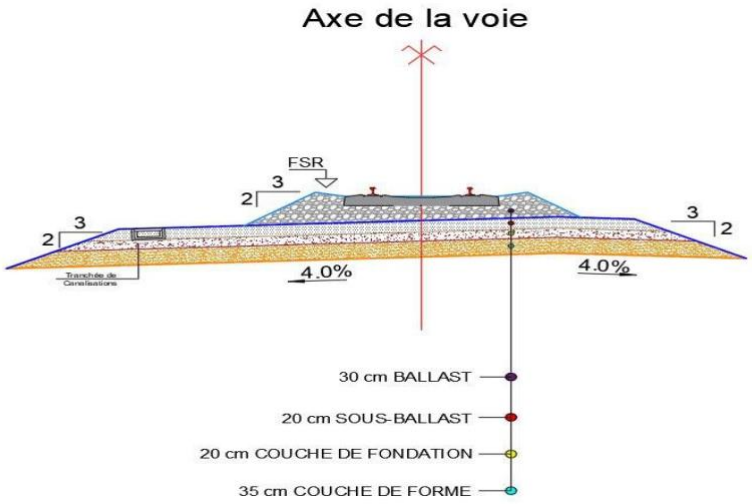


Figure VII.1-Assise Ferroviaire.

VII.6 EXIGENCES SUR LES CONSTITUANTS DE BALLAST

Table VII.3-Exigences sur le Ballast

N°	DESCRIPTION	PROPOSITION SPECIFICATION POUR L'AXE HAUT (32,5 T)
1	Type de roche Matériau	Granit ou basalte
2	Qualité de base	Le ballast doit être propre et calibrée pierre concassée avec des particules dures, denses et anguleuses, denses et anguleuses angulaires, offrant des angles vifs et des fragments cubiques avec un minimum de morceaux plats et morceaux plats et allongés. Elle doit être exempte d'impuretés organiques et résidus inorganiques.
3	Forme des particules	Le ballast doit être de forme cubique. Les particules individuelles ne doivent pas être floconneuses et ne doivent pas avoir des faces généralement plates avec au maximum deux faces arrondies/subarrondies ou sous-arrondis.
4	Mode de fabrication	Le ballast ne doit être broyé qu'à la machine.
5	Abrasion des agrégats Valeur	25%
6	Impact global Valeur	18%
7	Absorption d'eau	0.5% Maximum
8	Taille et gradation	• Retenu sur un tamis à mailles carrées de 65 mm. 30% - 50%. • Retenu sur un tamis à mailles carrées de 40mm. - 70%-90%.

		• Retenu sur un tamis de 20 mm de côté pas moins de 90%.
9	Epaisseur du ballast	30 cm
10	Largeur de l'accotement Ballast	500mm en alignement 700mm en devers

VII.7 EXIGENCES SUR LES CONSTITUANTS DE L'ASSISE :

VII.7.1 Couche de sous-ballast :

Pour la construction du sous-ballast et conformément au document des spécifications techniques (ST590B) il est prévu l'emploi de grave propre entièrement concassée (0 /31.5mm), bien graduée avec une valeur de propreté Vbg ≤1 et un coefficient de forme A ≤25.

VII.7.2 Couche de fondation

La couche de fondation conformément à la spécification technique ST590B, est exécutée en grave sableuse entièrement concassée, avec une valeur de propreté Vbg ≤1 et un coefficient de forme A≤25 et LA+MDE ≤ 50. Entre autres, les matériaux employés peuvent être issus soit des sous-produits des carrières à ballast, soit des alluvions d'oued.

VII.7.3 Couche de forme de qualité QS3 :

Conformément au document des spécifications techniques (ST590b). Elle est exécutée en grave 0/D avec une résistance LA+MDE ≤ 60 et une valeur de propreté Vbg ≤2.

Le taux de compactage et le module de déformation minimale sont : γd ≥ 100% de l'OPM, EV2≥ 80 MN/m².

VII.8 CONCLUSION :

À travers ce chapitre, nous avons examiné l'importance du dimensionnement des couches d'assise ferroviaire pour la construction de voies ferrées sures et efficaces. Nous avons souligné que le dimensionnement adéquat des couches d'assise, comprenant le ballast et la sous-couche, est essentiel pour assurer la stabilité structurelle, la résistance aux charges et la durabilité des voies.

Il est important de reconnaitre que chaque projet ferroviaire a des caractéristiques uniques et peut nécessiter une approche spécifique en fonction des conditions locales, des types de sol, et des contraintes hydrogéologiques. À cette fin, nous avons étudié les normes en vigueur et sollicite l'avis d'experts pour garantir un dimensionnement approprie des couches d'assise ferroviaire.

En conclusion, nous avons acquis la conviction qu'une bonne compréhension des principes et des méthodes de dimensionnement des couches d'assise, ainsi qu'une attention continue à leur maintenance, est essentielle pour la création et la préservation d'un réseau ferroviaire sur, durable et performant.

Chapitre VIII : Terrassement.

VIII. Chapitre VIII : Terrassement

VIII.1 INTRODUCTION

Les terrassements et ouvrages constituent la colonne vertébrale de tout projet ferroviaire ambitieux. Ils vont bien au-delà de simples travaux de construction, représentant les fondations solides sur lesquelles repose l'ensemble du système ferroviaire. Ce chapitre mettra en lumière l'importance de ces éléments clés et explorera les différentes phases, techniques et considérations nécessaires à leur réalisation réussie. Nous analyserons également les facteurs géotechniques et environnementaux qui doivent être pris en compte lors des travaux de terrassement.

VIII.2 TERRASSEMENTS :

Les terrassements sont une composante fondamentale dans la construction de projets ferroviaires, constituant l'étape initiale qui prépare le terrain pour l'installation de la voie ferrée et des infrastructures associées. Cette phase importante implique la modification de la topographie naturelle du terrain afin de créer une plateforme stable et uniforme capable de supporter les charges dynamiques et statiques imposées par les trains.

Le remblai consiste à ajouter des matériaux pour augmenter le niveau du sol existant, comblant ainsi les creux ou les dépressions du terrain. En revanche, le déblai implique de réduire le niveau du sol en retirant des matériaux, ce qui permet de diminuer les élévations ou les reliefs excessifs du terrain.

Un talus en construction est une pente formée par les travaux de terrassement. Cette surface inclinée peut être sujette à des mouvements indésirables si des mesures appropriées ne sont pas prises pour garantir sa stabilité.

Il est important de noter que lorsque les hauteurs des déblais et des remblais dépassent un certain seuil, il existe un risque de rupture, souvent sous la forme de glissements de talus.

Alors on distingue trois étapes pour réaliser les terrassements :

- ✓ Extraction des matériaux
- ✓ Transporter
- ✓ Mise en remblai ou en dépôt dans le cas de déblai

VIII.2.1 CONDITIONS DE REALISATION DES REMBLAIS

Pour garantir une qualité, une stabilité et une durabilité optimales de la couche de remblai, il est essentiel de respecter les conditions suivantes :

- ✓ Enlever la couche de terre végétale.

- ✓ Construire le remblai par couches de 30 cm d'épaisseur.
- ✓ Compacter chaque couche avec des compacteurs appropriés.
- ✓ Utiliser des matériaux de remblai adaptés.
- ✓ Prévoir une pente transversale minimale de 4% pour éviter la stagnation des eaux pluviales
- ✓ Se conformer aux prescriptions géotechniques et aux normes de terrassement.

VIII.2.2 CONDITIONS D'EXCAVATION DES DEBLAIS :

Pour garantir une excavation des déblais efficace et sécurisée, il est essentiel de suivre les conditions suivantes :

- ✓ Analyse préalable du sol : Identifier les caractéristiques géotechniques du terrain.
- ✓ Retrait de la couche végétale : Enlever la terre végétale avant l'excavation.
- ✓ Stabilisation des talus : Assurer la stabilité des pentes pour prévenir les glissements de terrain.
- ✓ Utilisation d'équipements adaptés : Employer des engins de terrassement appropriés pour le type de sol et l'ampleur des déblais.
- ✓ Gestion des eaux de ruissellement : Mettre en place des dispositifs de drainage pour évacuer l'eau de pluie et éviter l'érosion.
- ✓ Contrôle régulier : Effectuer des inspections régulières pour surveiller la sécurité et la qualité des travaux.
- ✓ Respect des normes de sécurité : Suivre les réglementations en vigueur pour assurer la sécurité des travailleurs sur le chantier.

VIII.2.3 STABILITE DES TALUS :

La stabilité des talus fait référence à la capacité d'une pente à résister aux mouvements ou à l'effondrement, ce qui est important pour la sécurité et la durabilité des infrastructures, notamment les voies ferrées.

- ✓ **Facteurs de Stabilité**

- Type de Sol et de Roche : Les caractéristiques géologiques, comme la composition du sol et la structure des roches, influencent la stabilité.
- Conditions Hydrologiques : La présence et la gestion de l'eau, qui peuvent affecter la cohésion et la résistance du sol.
- Inclinaison et Hauteur : La pente et la hauteur du talus jouent un rôle dans sa stabilité.

- ✓ **Importance**

- Sécurité : Prévenir les glissements et effondrements qui peuvent être dangereux.

- Durabilité : Assurer la longévité des infrastructures construites sur ou à proximité des talus.
- Gestion des Risques : Minimiser les risques et les coûts liés aux catastrophes naturelles.

VIII.2.4 TASSEMENT :

Lorsqu'on examine les tassements des remblais, il est essentiel de garantir que les tassements anticipés post-mise en service puissent être correctement maîtrisés. En présence de sols sensibles à l'eau ou au gel, ou en cas d'hydrologie défavorable, il est nécessaire de prendre des mesures spécifiques pour assurer la stabilité et la durabilité des remblais :

- ✓ Protéger les remblais en utilisant une couche de sol de qualité supérieure.
- ✓ Installer des drains verticaux.
- ✓ Éliminer les sols compressibles du support lorsque la profondeur est limitée.

VIII.2.5 PENTES DES TALUS :

Pour garantir la sécurité et la stabilité globale de la construction, des analyses géotechniques sont réalisées pour définir la pente idéale du talus. Cette détermination repose sur divers éléments :

- ✓ Les propriétés géotechniques des sols.
- ✓ La hauteur de la structure.
- ✓ La configuration topographique du site et les risques naturels associés.

Conformément au référentiel technique de la SNTF, les pentes de talus sont exprimées en fractions base sur hauteur.

- ✓ Pour les déblais, les pentes typiques sont de 1/2, 2/3, 1/1, 3/2, 2/1, 2,5/1 et 3/1.
- ✓ Pour les remblais, les pentes courantes sont de 3/2 et 2/1.

Les pentes de talus sont déterminées en prenant en compte les caractéristiques géotechniques, la hauteur de l'ouvrage, la topographie du site et les risques naturels, afin d'assurer la stabilité globale de la structure.

Pour notre projet d'étude on a pris :

- Pente pour déblai : 1/4
- Pente pour remblai : 2/1

VIII.2.6 COMPACTAGE :

Le compactage est essentiel pour assurer la qualité des ouvrages en terre. Les taux de compactage varient selon la nature du sol, le type de compacteur utilisé et l'humidité du sol. Il est important de déterminer l'épaisseur des couches et l'énergie de compactage nécessaire. Des

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

VIII.3 LES OUVRAGES :

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

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

VIII.3.1 Les obstacles à franchir

Table VIII.1-Obstacles à franchir

Obstacles à franchir		Pk	Ouvrage projeté/mesures prévues
PISTE	01	433+410	PASSAGE A NIVEAU/SUPERIEUR OU INFERIEUR
	02	433+677	
	03	434+092	
	04	436+934	
	05	436+964	
	06	438+000	
Oued Temporaires		435+640	OUVRAGES HYDRAULIQUES
		436+100	
		440+300	
		440+880	
		445+160	
		445+250	

Afin d'analyse cas par cas tous les types de croisements en fonction de la vitesse maximale, il est préférable de prendre en considération la nature et le débit de chaque voie traversée. Dans ce cas on prévoit :

- **Passages supérieurs :** est une structure, comme un pont ou un viaduc, permettant la voie ferrée de passer au-dessus d'une autre sans croisement direct. Il doit respecter des dimensions minimales pour assurer le passage sûr des trains, notamment une hauteur libre suffisante pour le matériel roulant et des équipements comme les caténaires.
- **Passages inférieurs :** ou souterrain, est une structure permettant à une voie de transport de passer en dessous d'une autre. Il doit également respecter des dimensions minimales pour permettre le passage sûr et efficace des véhicules sous les voies ferrées, incluant une hauteur et une largeur suffisantes pour le gabarit du trafic passant en dessous.

VIII.3.2 LES OUVRAGES D'ART POUR NOTRE PROJET :

VIII.3.2.1 Rétablissement routier :

Notre nouveau projet de la ligne minière Béchar-Tindouf-GARA DJEBILT a une intersection avec 06 pistes qui nécessitent un passage supérieur, et puisque le trafic dans cette zone d'étude est très faible donc on peut supprimer quelques pistes et les aménager en une seule piste pour chaque trois pistes et réduire la durée de réalisation du projet et le cout.

Table VIII.2-Liste de rétablissement routier

Rétablissement routier	Pk	Ouvrage d'art
Rétablissement piste	434+000	Passage Supérieur-Pont routier
Rétablissement piste	437+000	Passage Supérieur-Pont routier

Les photos ci-dessous représentent les passages supérieurs réalisés par infraworks.

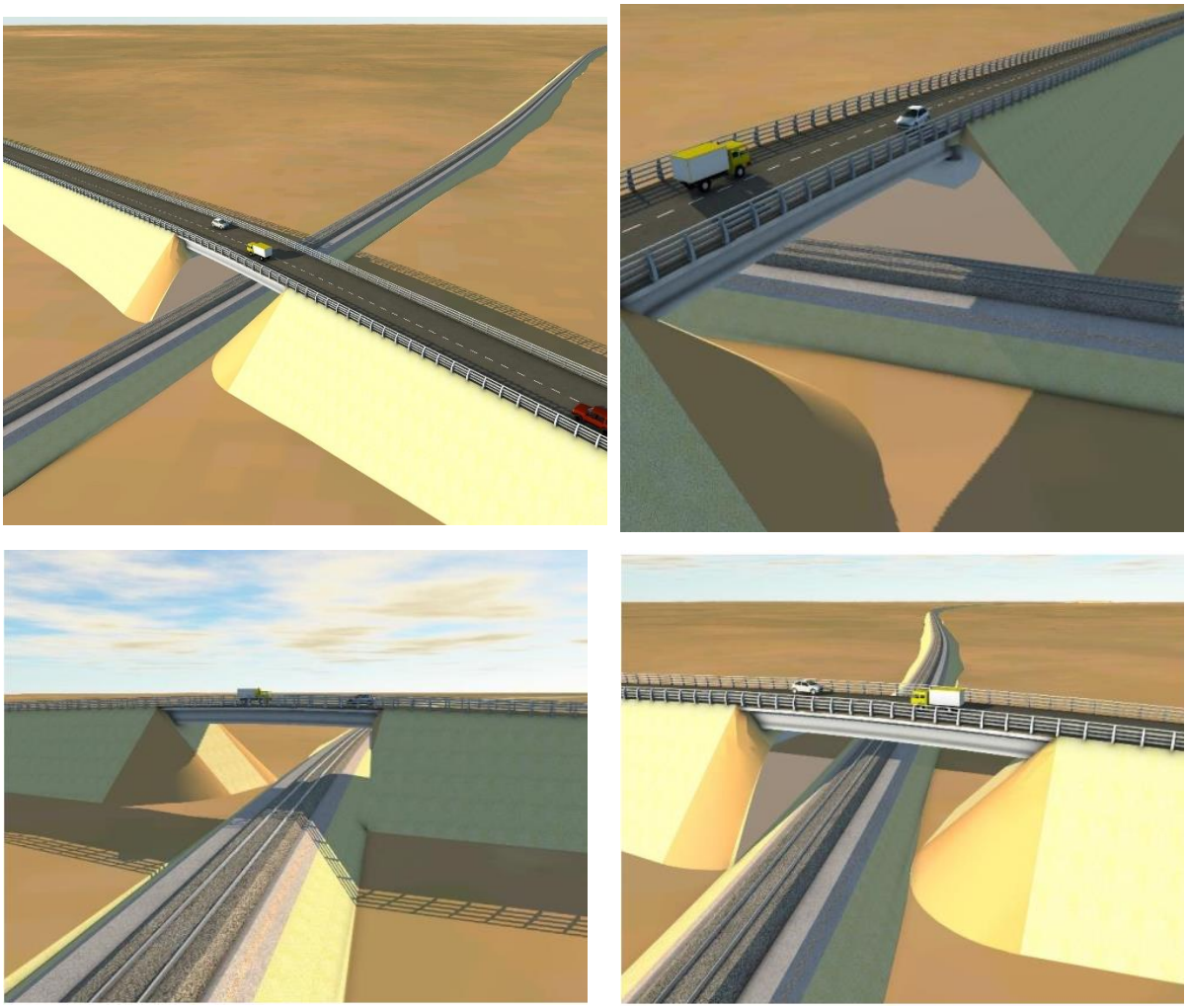


Figure VIII.1-Passages supérieurs projetés dans notre projet.

VIII.3.2.2 Piste à supprimer :

Pour des raisons citées ci-dessus, on a supprimé les pistes respectivement au pk 433+410, pk433+677 et 434+092 et nous les avons aménagés en une seule piste au pk 434+000, la même chose pour les pistes du pk436+934 ; pk436+964 et pk 438+000 en une seule piste au pk 437+000.

VIII.3.2.3 Les ouvrages hydrauliques :

Pour les écoulements d'eau à débit faible, des buses ont été prévus pour assurer une traversée sécurisée des cours d'eau. Le tableau ci-dessous représente la liste des ouvrages hydrauliques projetés dans notre projet d'étude :

Table VIII.3-Liste des ouvrages hydrauliques

Obstacle à franchir	Pk	Ouvrage projeté	Diamètre (mm)
Ecoulement 05	435+640	01 Buse	Φ1500
Ecoulement 06	436+100	02 Buse	Φ1500
Ecoulement 07	440+300	01 Buse	Φ1500
Ecoulement 08	440+880	01 Buse	Φ1500
Ecoulement 09	445+160	01 Buse	Φ1500
Ecoulement 10	445+250	01 Buse	Φ1500

Les photos ci-dessous représentent les buses projetées dans notre tracé par Infraworks.

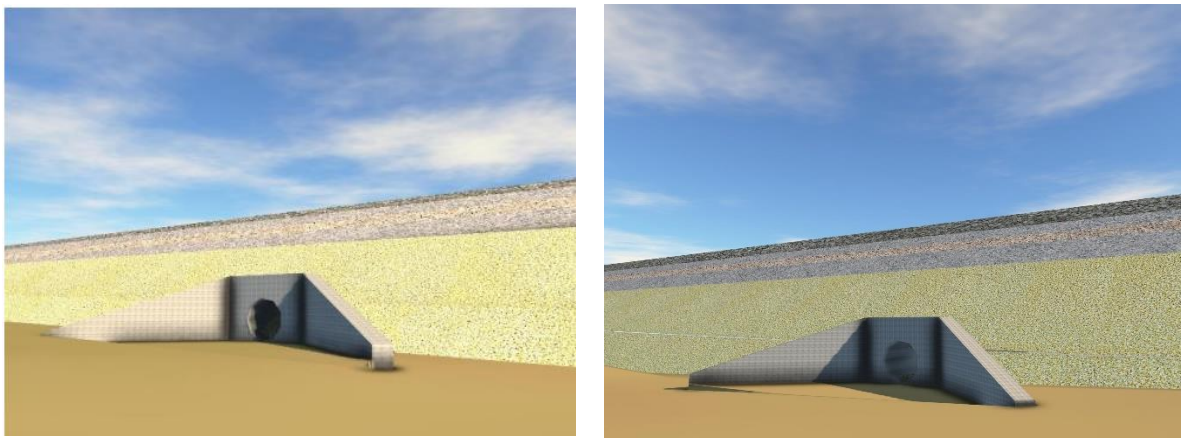


Figure VIII.2-Buses Projetées dans notre projet.

VIII.4 Conclusion

À l'issue de ce chapitre, nous soulignons l'importance des opérations de terrassement et de la construction des ouvrages d'art, éléments essentiels pour la réussite d'un projet ferroviaire. Ces travaux nécessitent une approche rigoureuse et une collaboration étroite entre les différents intervenants.

En respectant scrupuleusement ces étapes fondamentales, nous assurons la création d'un réseau ferroviaire sûr, fiable et performant. Investir dans la qualité des terrassements et des ouvrages d'art contribue à développer une infrastructure ferroviaire durable, répondant aux besoins de mobilité et de connectivité de notre société moderne.

Chapitre IX : Profil en Travers Type.

IX. Chapitre IX : Profil en Travers Type

IX.1 INTRODUCTION :

Le profil en travers d'une voie ferrée constitue un élément fondamental dans la conception et la construction des infrastructures ferroviaires. Il définit la configuration transversale de la voie, englobant les différents composants tels que les rails, les traverses, le ballast, la sous-couche et la plateforme. Ce profil joue un rôle important dans la distribution des charges, la stabilité de la voie, le drainage des eaux, et la maintenance à long terme des infrastructures.

Le dimensionnement et l'agencement corrects du profil en travers assurent que la voie ferrée peut supporter efficacement les charges dynamiques induites par le passage des trains, tout en maintenant un alignement et un nivellement optimaux. En outre, le profil en travers doit être conçu en tenant compte des conditions locales du sol, des contraintes hydrogéologiques, et des exigences de sécurité et de performance.

L'étude et la mise en place du profil en travers sont donc des étapes indispensables pour garantir la durabilité, la sécurité et l'efficacité des voies ferrées, en répondant aux exigences spécifiques de chaque projet ferroviaire.

IX.2 LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS

Le profil en travers d'une voie ferrée inclut plusieurs éléments essentiels qui travaillent ensemble pour assurer la stabilité, la durabilité et la fonctionnalité de la voie.

IX.2.1 Éléments de la superstructure :

- **Type de rail :** Le modèle de rail utilisé.
- **Écartement de la voie :** La distance séparant le flanc interne des deux rails.
- **Distance entre les axes :** La séparation entre les axes dans le cas de voies multiples.
- **Type de traverse :** Le type de traverse employé pour la construction de la voie.
- **Devers maximal en courbe :** La valeur maximale du devers en courbe.
- **Épaisseur du ballast :** L'épaisseur de la couche de ballast.

IX.2.2 Éléments de l'infrastructure :

- **Épaisseur et désignation des couches :** Les différentes épaisseurs et la désignation de chaque couche.
- **Pentes transversales des couches :** Les pentes transversales de chaque couche.
- **Pente latérale de la plateforme :** La pente latérale de la plateforme.

IX.2.3 Éléments des talus :

- **Pente des talus :** La pente de chaque talus.

IX.2.4 Éléments d'assainissement :

- **Ouvrages d'assainissement :** Le type et les dimensions des ouvrages d'assainissement et/ou des drains.

IX.3 PROFIL EN TRAVERS DU PROJET ETUDIE :

Le tableau ci-dessous représente les sections du profil en travers pour notre projet d'étude :

Table IX.1-Section du profil en travers

Type de ligne	Voie unique
Type de rails	UIC-60 E1
Écartement de la voie	1.435 m (standard)
Largeur de la plate-forme	8 m
Pente latérale de la plate-forme	4%
Pente latérale de la couche du ballast	3H /2V
Épaisseur du ballast	30cm
Épaisseur du sous-ballast	20 cm
Epaisseur de la couche de fondation	20cm
Epaisseur de la couche de forme	35cm

IX.4 CALCUL DES CUBATURES

Les cubatures de terrassement correspondent à l'évolution des volumes de déblais et de remblais nécessaires pour obtenir une surface uniforme et parallèle à la ligne de projet.

Les éléments qui permettent de déterminer cette évolution sont les suivants :

- ✓ Le profil en long
- ✓ Le profil en travers
- ✓ La distance entre les profils

Nous avons utilisé le logiciel CIVIL3D pour effectuer les cubatures de terrassements dans notre projet d'étude.

Table IX.2-Cubatures de terrassement

Volume de remblai (m^3)	Volume de déblai (m^3)
386 403.80	111 551.04

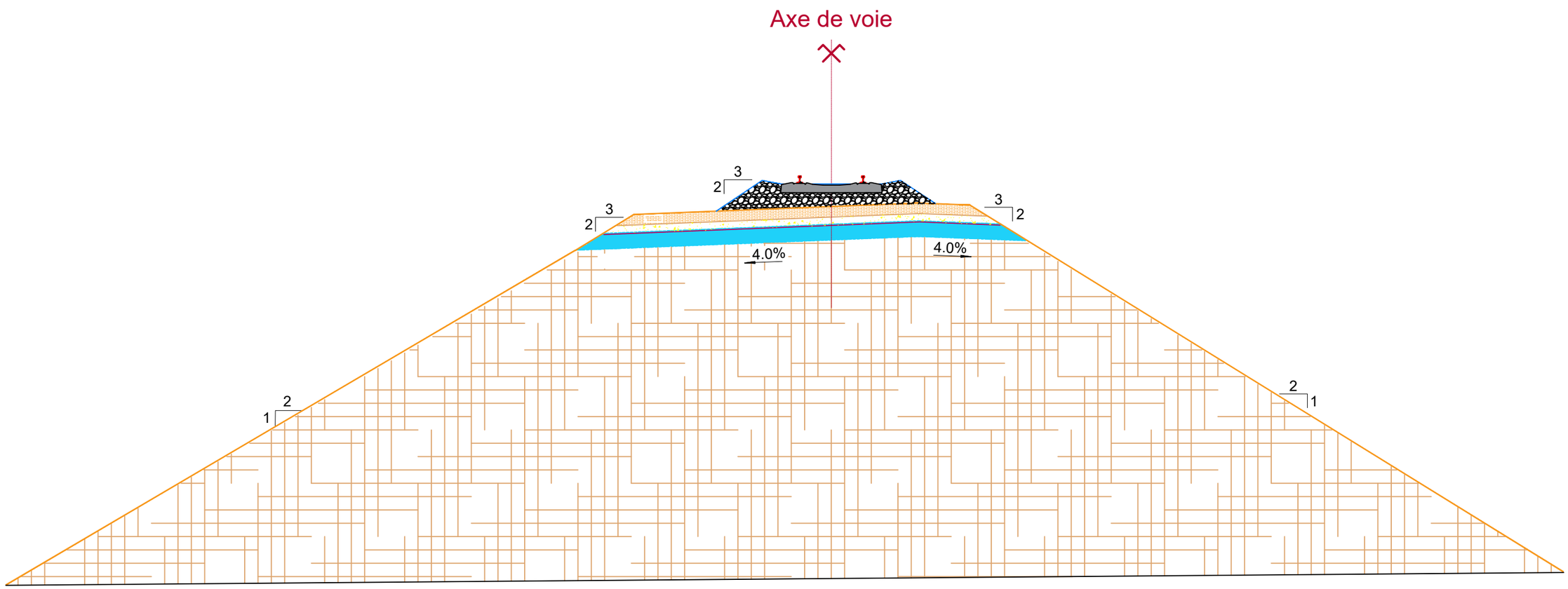
Table IX.3-Cubatures de la couche d'assise

Nature	Ballast	Sous-ballast	Couche de fondation	Couche de forme
Volume (m^3)	44 908.14	31 491.36	30 784.18	66 480.65

IX.5 CONCLUSION

En conclusion, le profil en travers est un outil indispensable pour appréhender la topographie d'un projet d'infrastructure et pour concevoir les éléments nécessaires à sa réalisation. Il permet de visualiser les courbes de niveau, les pentes, les élévations, ainsi que les éléments linéaires tels que les routes et les canalisations.

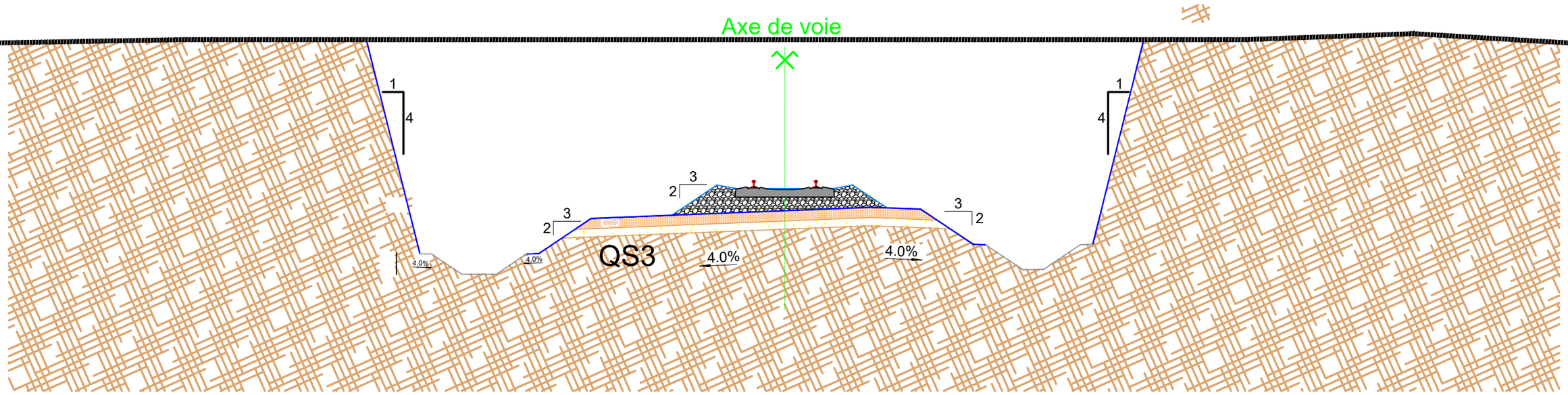
Remblai<8m



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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Bechar-Tindouf au pk430+000 au pk450+500 avec la conception de la gare de HASSI KHEBI	Bendjedi Zineb Lahlouh Asma	OUALI Adel	1/100	Profil en travers cas remblai	2023/2024

Déblai < 6m



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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Bechar-Tindouf au pk430+000 au pk450+500 avec la conception de la gare de HASSI KHEBI	Bendjedi Zineb Lahlouh Asma	OUALI Adel	1/100	Profil en travers cas déblai	2023/2024

Chapitre X : Conception et Aménagement de la Gare.

X. Chapitre X : Conception et Aménagement de la gare

X.1 INTRODUCTION :

Une gare ferroviaire est un endroit où les trains s'arrêtent. Elle est équipée de diverses installations qui permettent aux voyageurs de monter ou de descendre des trains, et de charger ou décharger des marchandises. La gare est essentielle dans les réseaux de transport, reliant villes et régions, et facilitant le déplacement des personnes et des biens.

Au-delà de sa fonction de transit, la gare a une importance culturelle, économique et sociale. Architecturale, elle peut être un monument emblématique. Économiquement, elle stimule le commerce local et le tourisme, et socialement, elle est un lieu de rencontre et d'interaction. Ainsi, l'aménagement de la gare est important pour assurer un transit efficace et enrichir l'expérience urbaine.

X.2 TYPE DE GARE :

On distingue plusieurs types des gares :

- **Gares de voyageurs :** Les gares de voyageurs sont destinées principalement au transport des passagers. Elles disposent de quais, de salles d'attente, de guichets et de divers services comme des magasins et des restaurants.
- **Gares de marchandises :** Les gares de marchandises se concentrent sur le transport des biens. Elles possèdent des installations pour le chargement et le déchargement, des entrepôts et des zones de stockage.
- **Gares mixtes :** Les gares mixtes combinent les fonctions des gares de voyageurs et de marchandises. Elles servent à la fois les passagers et le transport de biens, optimisant ainsi les infrastructures ferroviaires dans certaines régions.
- **Gares de croisement :** Les gares de croisement permettent le transfert entre différentes lignes ferroviaires, facilitant les correspondances pour les passagers et les marchandises.

X.3 ÉTUDE DU PLAN DE MASSE DE LA GARE :

Pour concevoir une gare, il est nécessaire d'élaborer un plan de masse intégrant les fonctions essentielles de toutes ses installations, en tenant compte de trois éléments clés au cours de l'étude :

- **La catégorie de la voie :** qui détermine la disposition et l'utilisation des voies ferrées, ce qui influe sur la fluidité et l'efficacité des opérations ferroviaires.
- **Le trafic :** le trafic de passager et de marchandises guide les prévisions de fréquentation et l'optimisation des services, garantissant une réponse adéquate aux besoins de transport de la région.

- **L'emplacement de la gare :** qui joue un rôle important dans son accessibilité, son impact sur le développement urbain et sa capacité à servir de hub pour les connexions régionales.

En intégrant ces éléments dans la planification de la gare, il est possible de créer un environnement fonctionnel, accessible et durable, qui répond aux besoins des usagers et stimule le développement économique.

X.4 AMÉNAGEMENT DE LA GARE:

X.4.1 INSTALLATION D'UNE GARE À VOYAGEUR :

Dans une gare ferroviaire, on retrouve une variété de constructions et de structures qui diffèrent selon le type, la conception et la catégorie de la gare.

- **Le bâtiment de voyageurs :** c'est un espace dédié aux passagers, où ils effectuent leurs transactions et attendent avant l'embarquement. Il offre une variété d'installations telles qu'une salle d'attente, des guichets de vente de billets, un poste de sécurité, un kiosque, et d'autres équipements.
- **Les bâtiments à usage divers (B.U.D) :** ce sont des espaces de service réservés au personnel, Ils servent à diverses fonctions comme les bureaux administratifs, les installations de maintenance et de service, et les entrepôts.
- **Quais :** ce sont des bandes parallèles à la voie ferrée qui permettent l'accès aux trains.
- **Abris de Quai :** ce sont des structures offrant une protection contre les intempéries aux passagers attendant sur les quais, équipées de bancs.
- **Les passages Souterrains et les passerelles :** Permettent aux passagers de traverser en toute sécurité les voies ferrées pour accéder aux différentes parties de la gare.

X.4.2 SCHÉMA DE PRINCIPE DE LA GARE :

La gare de Hassi Khebi, située sur le tronçon 3 de la ligne de Bechar-Tindouf, s'étend du PK 439+940 au PK 442+940, couvrant une distance totale de 3000 mètres. Cette longueur généreuse est justifiée par la nécessité d'accueillir des trains longs, notre train ayant une longueur de 2.2 km, ce qui en fait un arrêt stratégique le long de la ligne.

La gare est équipée d'un bâtiment voyageur comprenant tous ses équipements tels que les parkings et autres installations nécessaires. Elle dispose de deux quais et de quatre voies, totalisant ainsi sept appareils de voie assurant sept garages francs.

Note : Le schéma de principe est en format A3.

X.4.3 PLAN DE VOIE DE LA GARE :

La gare est équipée de deux voies principales, d'une voie de service et d'une voie de stationnement. Dans cette même voie de stationnement, il y a une voie tiroir de 150 mètres équipée d'un heurtoir à son extrémité. Les quais latéraux, A et B, mesurent chacun 300 mètres

de longueur, avec une largeur de 6 mètres pour le quai extérieur et de 8 mètres pour le quai intermédiaire.

X.4.3.1 LES APPAREILS DE VOIE :

- Pour notre conception on a :
- 2 (deux) ADV **UIC 60 500 1/12** dont une déviation à gauche (ADV1) et une autre à droite (ADV2).
- 5 (cinq) ADV **UIC 60 300 1/9** dont 3 (trois) déviation à gauche (ADV3-ADV5-ADV6) et 2 (deux) déviation à droite (ADV8-ADV10).

X.4.3.2 RÈGLES D'IMPLANATATION DES APPAREILS DE VOIE :

Les règles d'implantation des appareils de voie selon la norme SNTF sont les suivantes :

- **Conditions générales :**
- Les appareils de voie doivent être installés sur une pente constante.
- Dans les zones près des ouvrages d'art, les distances minimales d'implantation dépendent de la longueur de l'ouvrage.

Table X.1-Les longueurs minimales de l'appareil de voie.

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

- **Règles d'implantation :**
  - **En tracé en plan :**

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

✓ En pointe : la longueur minimale d'alignement doit être égale à $V_d/2$, où V_d est la vitesse de franchissement en voie déviée.

✓ En talon de la branche déviée :

- Si la sortie d'appareil est en alignement, la longueur minimale d'alignement à respecter doit être égale à $V_d/2$.
- Si la sortie d'appareil est en courbe :
  - Pour V_d < 100 km/h, on doit réserver un alignement de longueur minimale égale à $V_d/2$ ou prolongez la courbe de l'appareil suivie d'un raccordement progressif.
  - Pour 100 ≤ V_d < 160 km/h, on doit prolonger la courbe de la voie déviée par un raccordement progressif.
  - Pour V_d ≥ 160 km/h, la condition précédente est obligatoire. La longueur des raccordements doit être calculée pour obtenir une variation maximale d'insuffisance de dévers de 75 mm/s (valeur normale) et 90 mm/s (valeur exceptionnelle).

✓ En talon de la voie directe : la longueur minimale d'alignement L2 doit être supérieure à 50 m.

X.4.3.3 GARAGE FRANC :

Le garage franc désigne la zone de la voie dans laquelle les trains sont autorisés à circuler en gare. Sa valeur théorique est calculée comme étant 3,57 fois la distance entre les axes des voies directe et déviée. Cependant, par mesure de sécurité, le garage franc est généralement installé à 1 mètre de cette valeur théorique. Ainsi, la formule pour calculer le garage franc est la suivante :

GF = 3,57 x N + 1 mètre

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

- **Longueur du garage franc :**

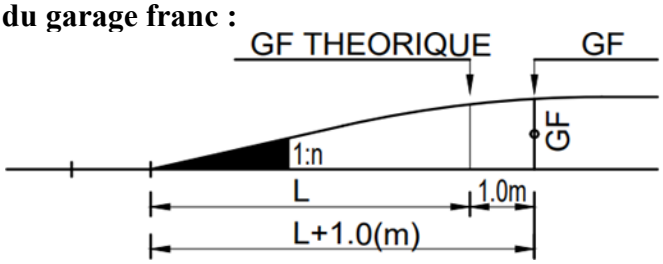


Figure X.1-Schéma illustratif du garage franc

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**

X.4.3.4 HEURTOIR :

Les heurtoirs ferroviaires, ou butoirs, sont des dispositifs placés à l'extrémité des voies pour arrêter les trains et éviter qu'ils ne dépassent les rails. Ils absorbent l'impact des trains arrivant en fin de parcours, ce qui est important pour prévenir les accidents et protéger les infrastructures.

L'importance des heurtoirs réside dans leur rôle de sécurité. Ils assurent que les trains s'arrêtent en toute sécurité, protégeant ainsi les passagers, le personnel et les structures environnantes. Leur bon fonctionnement est essentiel pour la sécurité et l'efficacité des opérations ferroviaires. Les photos ci-après représentent l'heurtoir projeté dans notre projet réalisé par le logiciel Infraworks.

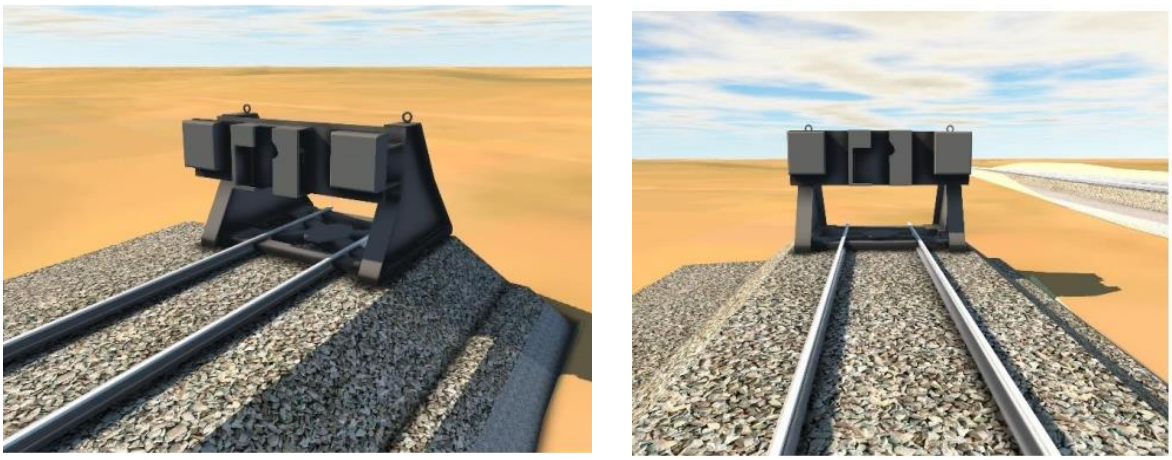


Figure X.2-Heurtoir

X.4.3.5 LONGUEUR UTILE :

La longueur utile est la distance entre deux garages francs, permettant à un train de se garer sur une voie de dépassement sans entraver la circulation sur la voie principale ou sur les autres

voies de dépassement adjacentes. Cette mesure est essentielle pour garantir des opérations ferroviaires efficaces et sécurisées.

Nº Voie	Longueur utile (m)
1	2860
2	2600
3	2400
4	2380
Voie tiroire	150

Table X.2-Les longueurs des voies utiles de la gare.

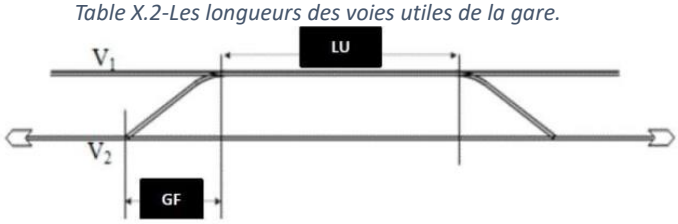


Figure X.3-Schéma illustrative de la longueur utile

X.5 CARACTÉRISTIQUES GÉOMETRIQUES DES GARES :

Dans le cadre de notre projet de conception de gare, plusieurs aspects essentiels ont été pris en compte pour assurer la sécurité et l'efficacité des opérations.

X.5.1 DECLIVITE DANS LES GARES :

La pente en gare doit être strictement contrôlée en fonction des différentes activités qui s'y déroulent. Pour notre projet, la pente sera maintenue à 0 ‰ afin de prévenir tout mouvement indésirable des trains, garantissant ainsi une sécurité optimale.

X.5.2 QUAI :

X.5.2.1 La longueur des quais (normes SNTF) :

- Grande ligne : 350 m
- Service régional : 300 m
- Banlieue : 225 m

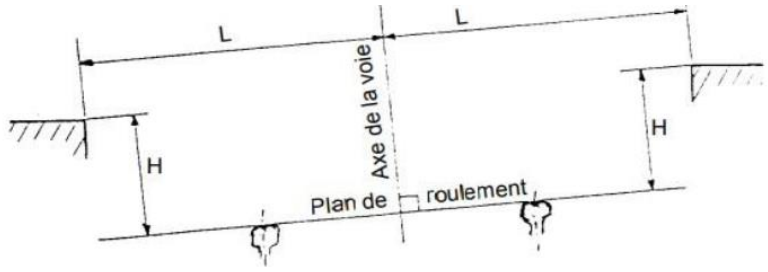
X.5.2.2 La largeur des quais :

Selon la SNTF :

- Quai intermédiaire : largeur > 8 m
- Quai extérieur : largeur ≥ 6 m

X.5.2.3 Hauteur des quais :

La hauteur nominale des bordures des quais au-dessus du plan de roulement est fixée à 550 mm. Cette hauteur varie en fonction du type de matériel roulant susceptible de s'arrêter dans ce quai, assurant ainsi une accessibilité et une sécurité appropriées pour les passagers.



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 X.4-La hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie

X.5.2.4 La distance à l'axe de la voie :

Dans cette partie, nous examinons la distance entre l'axe de la voie et les bordures de quai. Pour les bordures de quai situées à une hauteur nominale de 550 mm et de 760 mm, la distance nominale à l'axe de la voie est égale à : L (mm) = 1650 + S.

La valeur de S est donnée par la formule suivante :

$$S\ (mm) = (3750/R) + ((I-1435)/2)$$

Où :
R : représente le rayon de la voie en mètres.
I : l'écartement de la voie en millimètres.

- **APPLICATION SUR NOTRE PROJET :**

Notre gare est constituée de deux quais A et B, avec :
A : quai extérieure.
B : quai intermédiaire.

Table X.3-Tableau récapitulatif sur les quais.

Quai	Pk début	Pk fin	Longueur	Largeur	Hauteur	Distance à l'axe	Entre-axe des quais
A	441+095	441+395	300 m	6 m	55cm	1650 mm	14.5 m
B				8 m			

X.6 MODÉLISATION DE LA GARE DE HASSI KHEBI EN UTILISANT LES LOGICIELS BIM :

L'utilisation du BIM (Building Information Modeling) dans la modélisation de notre projet présente de nombreux avantages qui sont essentiels pour la réussite de la gare de Hassi Khebi et pour les projets d'ingénierie en général. Le BIM est une approche révolutionnaire qui permet de créer, gérer et partager des informations précises et complètes tout au long du cycle de vie d'un projet.

Pour notre projet spécifique, le BIM facilite la conception et la planification de la gare en intégrant toutes les dimensions pertinentes, y compris les dimensions spatiales, temporelles et financières. Grâce à la modélisation en 3D, les équipes de projet peuvent visualiser l'ensemble de la gare et ses infrastructures connexes avant même le début de la construction. Cela permet

d'identifier et de résoudre les problèmes potentiels en amont, ce qui réduit considérablement les risques de retards et de dépassements de coûts.

En tant qu'ingénieurs, l'utilisation du BIM nous offre des outils puissants pour améliorer la précision et l'efficacité de nos travaux. La modélisation numérique permet de simuler et d'analyser différentes options de conception, de tester la performance structurelle et d'évaluer l'impact environnemental. Ces analyses avancées permettent de concevoir des infrastructures plus robustes, durables et économiquement viables.

X.6.1 LOGICIELS UTILISÉS :

- Civil 3D 2024.
- Infraworks 2024.
- Sketch up.
- Archicad.
- Lumion.

X.6.2 COLLABORATIONS ENTRE LES LOGICIELS DE BIM :

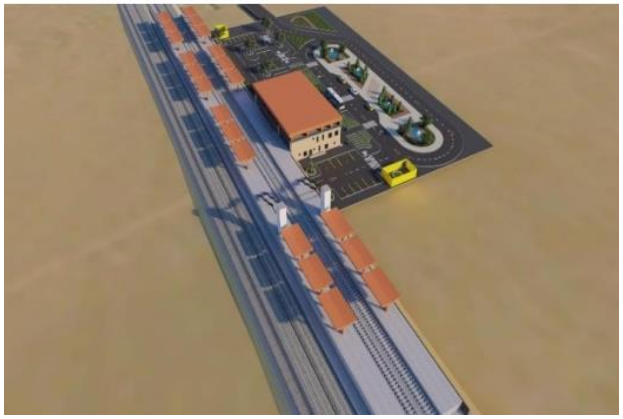
Dans notre projet BIM pour la gare de Hassi Khebi, chaque logiciel joue un rôle spécifique pour garantir un processus de conception, de visualisation et de mise en œuvre complet et efficace.

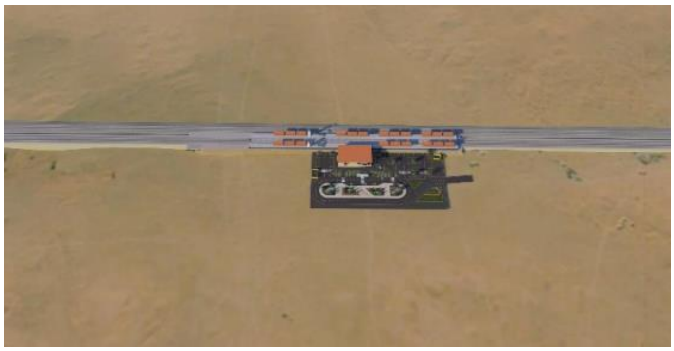
- **Civil 3D :** Nous nous concentrons particulièrement sur la géométrie, le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers pour garantir une conception précise et détaillée des infrastructures ferroviaires et routières.
- **InfraWorks :** Nous avons utilisé le Model Builder pour importer notre zone d'étude depuis Google Earth vers InfraWorks. Étant donné que le tracé en plan était déjà défini dans Civil 3D, il a été exporté directement vers notre Model Builder. Nous avons également veillé à ce que la géolocalisation soit correcte en utilisant le système de coordonnées UTM WGS84 zone 30.
- **SketchUp :** Il est utilisé pour créer des modèles architecturaux détaillés des bâtiments de la gare. Son interface intuitive permet une modélisation rapide et flexible, ce qui est idéal pour explorer des options de conception et présenter des concepts architecturaux.
- **ArchiCAD :** Il est utilisé pour développer le modèle 3D détaillé de la gare, y compris tous les éléments architecturaux et les composants du bâtiment. Il intègre diverses informations sur le bâtiment, garantissant que tous les aspects de la conception sont coordonnés et précis.
- **Lumion :** Il est utilisé pour créer des visualisations et des animations de haute qualité du design de la gare. Il donne vie au modèle BIM avec un rendu réaliste, permettant aux

parties prenantes de visualiser le projet final en détail et d'évaluer son esthétique et sa fonctionnalité.

X.6.3 RÉSULTATS DE LA COLLLABORATION :













X.7 CONCLUSION :

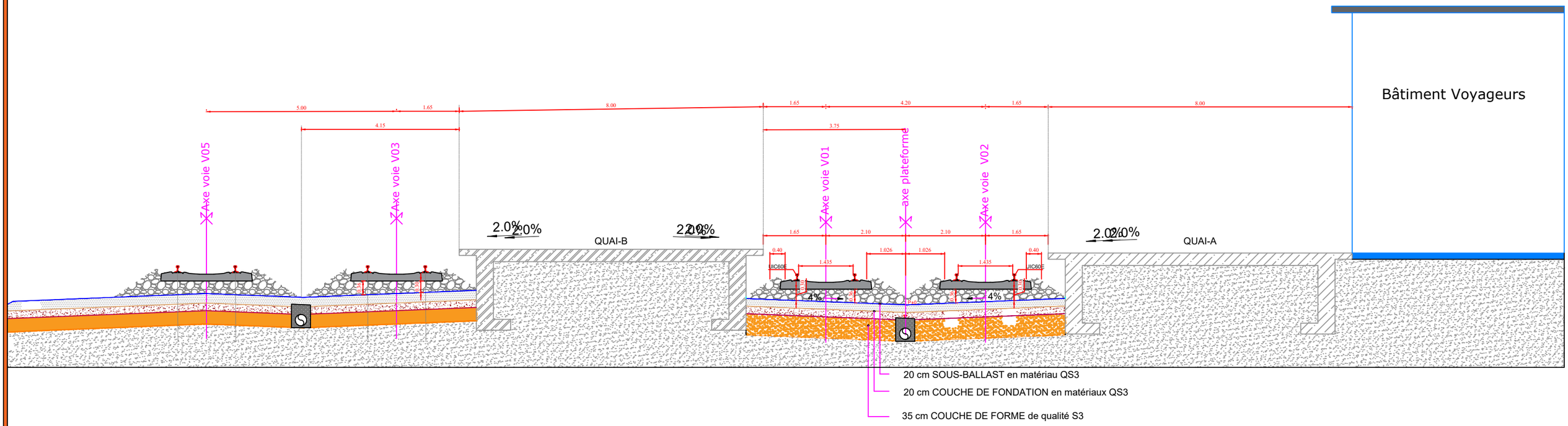
Pour conclure, l'aménagement de la gare de Hassi Khebi représente un exemple remarquable de l'importance des projets ferroviaires dans le développement des infrastructures de transport. En tant que point d'intersection majeur sur la ligne de Bechar-Tindouf, cette gare illustre la nécessité d'une planification minutieuse, prenant en compte les besoins des voyageurs et le potentiel économique de la région.

L'intégration des technologies BIM dans la modélisation de la gare démontre l'efficacité des outils numériques pour concevoir, visualiser et mettre en œuvre des projets d'ingénierie complexes. La collaboration entre les différents logiciels, tels que Civil 3D, InfraWorks,

SketchUp, ArchiCAD et Lumion, permet une approche holistique de la conception, garantissant la précision, l'efficacité et la durabilité des infrastructures.

La gare de Hassi Khebi représente bien plus qu'un simple arrêt sur la ligne ferroviaire. C'est un symbole du progrès, de la connectivité et du développement régional, mettant en lumière le rôle essentiel des transports dans la croissance économique et sociale.

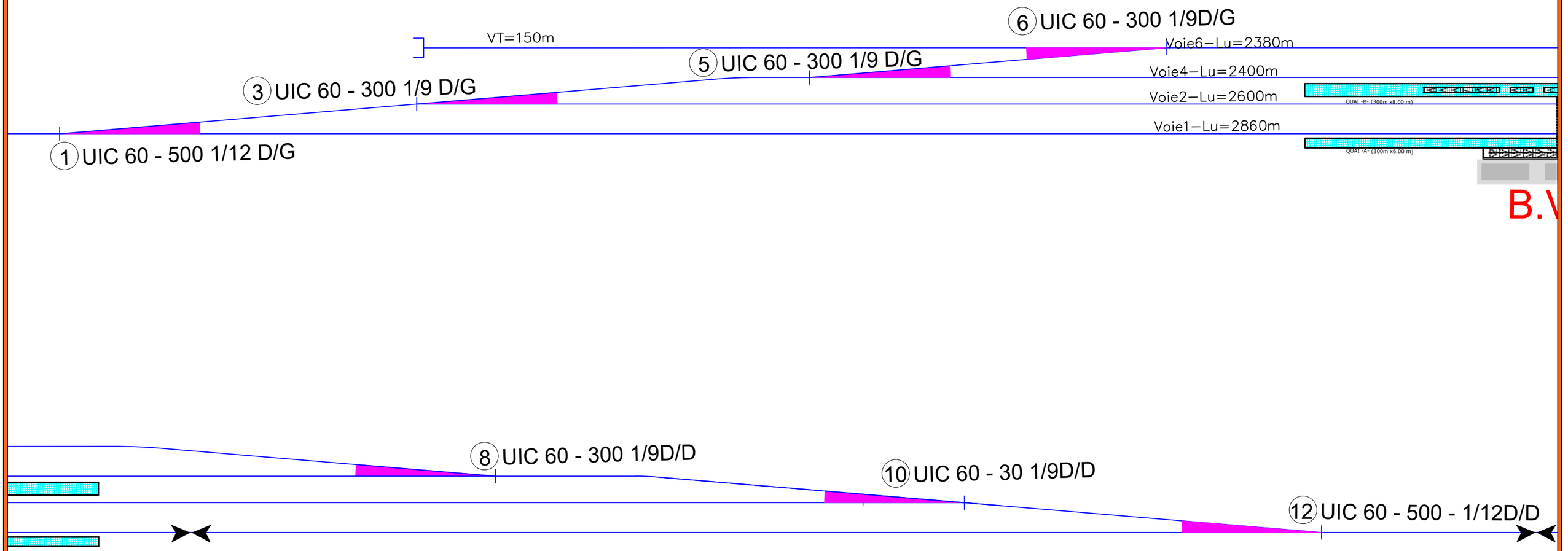
PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA GARE DE HASSI KHEBI



C\Users\pc\Desktop\cartouches ENSTP\logo.JPG

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Bechar-Tindouf au pk430+000 au pk450+500 avec la conception de la gare de HASSI KHEBI	Benjedi Zineb Lahlouh Asma	OUALI Adel	1/100	profil en travers de la gare	2023/2024



B.V

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Bechar-Tindouf au pk430+000 au pk450+500 avec la conception de la gare de HASSI KHEBI	Bendjedi Zineb Lahlouh Asma	OUALI Adel	1/100	Schéma de principe de la gare PK 439+940	2023/2024

Chapitre XI : Drainage et Assainissement de la Gare.

XI. Chapitre XI : Drainage et Assainissement de la Gare

XI.1 INTRODUCTION

Étant donné que la pente dans les gares ferroviaires est considérée comme nulle, l'ingénieur doit concevoir un système de drainage pour faciliter l'évacuation des eaux pluviales. Ce système inclut :

- Drains semi-perforés en PVC
- Collecteurs en béton
- Regards de nettoyage et de contrôle
- Fosses en béton

XI.2 CONSIDERATION GENERALE ET CONCEPTION DE SYSTEME

Le drainage longitudinal assure la captation et l'acheminement des eaux vers la plateforme de la voie ferrée, provenant des écoulements des talus ou des pentes adjacentes. Ce système, composé de fosses, drains et collecteurs, dirige les eaux vers les passages hydrauliques ou les lignes d'eau existantes. Lors de la conception du système de drainage longitudinal, les mesures économiques et de sécurité ont conduit aux choix suivants pour une pluie de référence :

- Période de retour de 10 ans pour le dimensionnement du système.
- Temps de concentration de 15 minutes pour les drains et collecteurs, et de 30 minutes pour les fossés.
- Pente minimale de 0,3 % pour les drains.
- Pente minimale de 0,5 % pour les collecteurs.
- Pente minimale de 0,3 % pour les fossés de drainage superficiels de la plateforme.

XI.3 Calcul des débites affluentes au système de drainage longitudinal :

Pour calculer les débits de dimensionnement de chaque élément du système de drainage, nous avons utilisé la formule rationnelle :

$$Q=0.278CIA$$

Avec :

Q : débit en m^3/s
C : coefficient d'écoulement, On prend pour :

- La surface des voies avec couche d'assise C=0.9
- La surface des quais (pavé) C=0.9

I : Intensité de pluie en (mm/h), avec P_{JMAX}=45.6 mm
A : Surface drainée pour chaque structure en (km^2)

XI.3.1 Les différents bassins à délimiter :

Nous avons délimité 4 bassins versants :

- BV1 : 1/2 quai bâtiment voyageur + 1/2 quai intermédiaire + plateforme 1
- BV2 : 1/2 quai intermédiaire + 1/2 plateforme
- BV3 : 12 sous bassins versants
- BV4 : 12 sous bassins versants

XI.3.2 Les caractéristiques des drains :

XI.3.2.1 Drains longitudinaux :

Table XI.1-Caractéristiques du BV1

N°BV 1	Surface (km²)	(Surface/2) (Km²)	I (pent)	Cr	Tc (h)	I10 (mm/h)	Ptc
QUAIS BV	0,00045	0,000225	0,0020	0,90	0,25000	96,27	24,06
QUAIS INTERMEDIERE	0,0006	0,0003	0,0020	0,90	0,25000	96,27	24,06
PLATFORME 1	0,0012	0,0006	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06

Table XI.2-Caractéristiques du BV2

N°BV 2	Surface (km²)	(Surface/2) (Km²)	I (pent)	Cr	Tc (h)	I10 (mm/h)	Ptc
QUAIS INTERMEDIERE	0,0006	0,0003	0,0020	0,90	0,25000	96,27	24,06
PLATFORME 2	0,0006	0,0003	0,0020	0,90	0,25000	96,27	24,06

Table XI.3-Caractéristiques du BV3

N° BV3	Surface (km²)	I (pente)	Cr	Tc (h)	I10 (mm/h)	Ptc
SBV01	0,000726	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SBV02	0,001569	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SBV03	0,001572	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SBV04	0,001573	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SVB05	0,001573	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SBV06	0,001573	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SBV07	0,001573	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SBV08	0,001573	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SBV09	0,001573	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SBV10	0,001573	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SBV11	0,001573	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SBV12	0,001573	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06

Table XI.4-Caractéristiques du BV4

N° BV4	Surface (km²)	I (pente)	Cr	Tc (h)	I10 (mm/h)	Ptc
SBV01	0,000784	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SBV02	0,001564	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SBV03	0,001564	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SBV04	0,001564	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SVB05	0,001564	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SBV06	0,001564	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SBV07	0,001564	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SBV08	0,001564	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SBV09	0,001564	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SBV10	0,001564	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SBV11	0,001564	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
SBV12	0,00067	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06

XI.3.2.2 Drains transversaux :

Table XI.5-Caractéristiques des Buses

BUSES	Surface (km²)	I (pente)	Cr	Tc (h)	I10 (mm/h)	Ptc
BUSE (SBV1, BVQ1/2, BVQ2/2)	0,003	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
BUSE (SBV2-SBV3)	0,003141	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
BUSE (SBV4-SBV5)	0,003146	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
BUSE (SBV6-SBV7)	0,003146	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
BUSE (SBV8-SBV9)	0,003146	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
BUSE (SBV10-SBV11)	0,003146	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
BUSE (SBV12)	0,001573	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
BUSE (BVQ1/2, BVQ2/2, SBV1)	0,002809	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
BUSE (SBV2-SBV3)	0,003128	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
BUSE (SBV4-SBV5)	0,003128	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
BUSE (SBV6-SBV7)	0,003128	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
BUSE (SBV8-SBV9)	0,003128	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
BUSE (SBV10-SBV11)	0,003128	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06
BUSE (SBV12)	0,00067	0,0040	0,90	0,25000	96,27	24,06

XI.3.3 Dimensionnement des drains :

Chaque drain prévu est calculé en additionnant les débits des sous-bassins qui couvrent la surface drainée, selon la formule suivante :

$$Q_S = K \times Sm \times Rh^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i}$$

Avec :

- Q_S : débit de saturation en (m^3/s)
- K : coefficient de rugosité
- S_m : Section mouillée ; $S_m = \frac{\pi D^2}{4}$
- R_h : Rayon hydraulique $R_h = \frac{D}{4}$
- I : pente en (mm/mm)

Premièrement on doit déterminer le diamètre D :

$$D = \left[\frac{Qmax10}{Ks \times \pi \times \sqrt{i} \times \left(\frac{1}{4}\right)^{\frac{5}{3}}}\right]^{\frac{3}{8}}$$

On prend le drain du BV3 (SBV2) :

$$D_{calculé} = \left[\frac{0{,}038}{90 \times \pi \times \sqrt{0.005} \times \left(\frac{1}{4}\right)^{\frac{5}{3}}}\right]^{\frac{3}{8}} = 0{,}249\text{m}$$

Donc on prend $D_{commercial}$ = 250 mm

- **Vérification des conditions d'auto-curage :**

$Sm = \pi \times \frac{0.250^2}{4}$ =0.0499 m , on prend Sm= Sm/2= 0.025

Rh= $\frac{0.25}{4}$ = 0.0625 m

- ✓ $Qps = 90 \times 0.025 \times 0.0625^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{0.05} = 0.0494\ m^3/s > Q10 = 0{,}038\ m3/s$
- ✓ $Vps = \frac{0.0494}{0.0025} = 2.05 m/s < 4\ m/s$
- ✓ Pour 0,01 => V= 0,641 > 0,3m/s et pour 0,1 => V= 1,283 > 0,6 m/s

Les conditions d'auto curage sont vérifiées

Pour les autres sont représentées sur les tableaux suivants :

Table XI.6-Dimension du drain du BV1

N°BV1	Q_a=Q10	D calculé	D	Q_{ps}	V_{ps}	S_m	Vérification (0,1)	Vérification (0,01)
1	0,005	0,120	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
2	0,007	0,134	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
3	0,014	0,158	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641

Table XI.7-Dimension du drain du BV2

N°BV2	Q_a=Q10	D calculé	D	Q_{ps}	V_{ps}	S_m	Vérification (0,1)	Vérification (0,01)
1	0,007	0,157	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
2	0,014	0,171	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641

Table XI.8-Dimension du drain du BV3

N°BV3	Q_a=Q10	D calculé	D	Q_{ps}	V_{ps}	S_m	Vérification (0,1)	Vérification (0,01)
1	0,017	0,186	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
2	0,038	0,249	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
3	0,038	0,249	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
4	0,038	0,249	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
5	0,038	0,249	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
6	0,038	0,249	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
7	0,038	0,249	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
8	0,038	0,249	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
9	0,038	0,249	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
10	0,038	0,249	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
11	0,038	0,249	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
12	0,038	0,249	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641

Table XI.9-Dimension du drain du BV4

N°BV4	Q_a=Q10	D calculé	D	Q_{ps}	V_{ps}	S_m	Vérification (0,1)	Vérification (0,01)
1	0,019	0,192	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
2	0,038	0,248	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
3	0,038	0,248	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
4	0,038	0,248	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
5	0,038	0,248	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
6	0,038	0,248	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
7	0,038	0,248	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
8	0,038	0,248	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
9	0,038	0,248	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
10	0,038	0,248	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
11	0,038	0,248	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641
12	0,016	0,181	250	0,049	2,005	0,025	1,283	0,641

Pour les buses transversales :

Table XI.10-Dimensions des Buses Transversales

BUSES	Qa=Q10	D Calculé	D	Qps	Vps	Sm	Vérification (0,1)	Vérification (0,01)
BUSE (SBV1, BV1/2, BV2/2)	0,066	0,300	350	0,121	2,509	1,605	0,803	0,048
BUSE (SBV2-SBV3)	0,076	0,323	350	0,121	2,509	1,605	0,803	0,048
BUSE (SBV4-SBV5)	0,076	0,323	350	0,121	2,509	1,605	0,803	0,048
BUSE(SBV6-SBV7)	0,076	0,323	350	0,121	2,509	1,605	0,803	0,048
BUSE(SBV8-SBV9)	0,076	0,323	350	0,121	2,509	1,605	0,803	0,048
BUSE(SBV10-SBV11)	0,076	0,323	350	0,121	2,509	1,605	0,803	0,048
BUSE (SBV12)	0,038	0,249	250	0,049	2,005	1,283	0,641	0,025
BUSE (BVQ1/2, BVQ2/2, SBV1)	0,068	0,310	350	0,121	2,509	1,605	0,803	0,048
BUSE (SBV2-SBV3)	0,075	0,322	350	0,121	2,509	1,605	0,803	0,048
BUSE (SBV4-SBV5)	0,075	0,322	350	0,121	2,509	1,605	0,803	0,048
BUSE(SBV6-SBV7)	0,075	0,322	350	0,121	2,509	1,605	0,803	0,048
BUSE(SBV8-SBV9)	0,075	0,322	350	0,121	2,509	1,605	0,803	0,048
BUSE(SBV10-SBV11)	0,075	0,322	350	0,121	2,509	1,605	0,803	0,048
BUSE (SBV12)	0,016	0,181	250	0,049	2,005	1,283	0,641	0,025

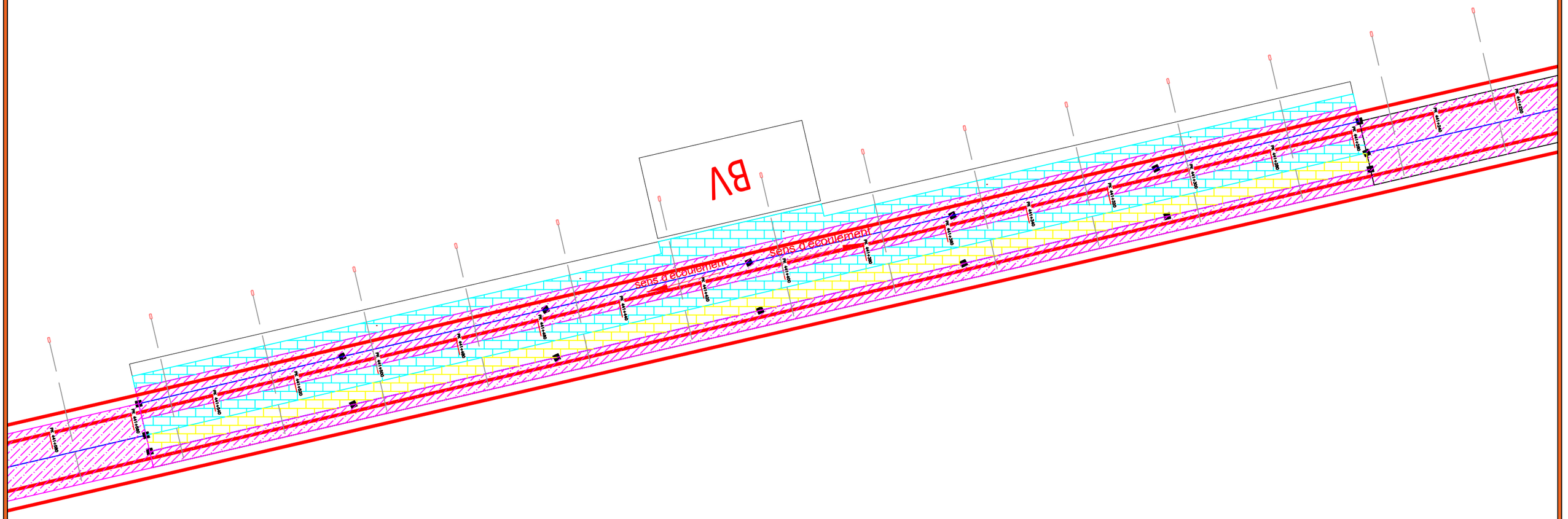
Il est à noter que les drains et les buses se déversent dans les fossés calculés dans le chapitre V-Étude Hydrologique et Hydraulique, pour assurer l'évacuation des eaux pluviales.

XI.4 Conclusion :

La gare est un élément important de tout projet ferroviaire, mais elle est particulièrement vulnérable aux risques d'inondation (pente nulle). Pour atténuer ce risque dans notre projet, nous avons renforcé le système de drainage, comprenant :

- Des drains de 250 mm de diamètre pour l'assainissement en profondeur.
- Des collecteurs de 250 à 350 mm de diamètre pour l'évacuation.
- Des fossés latéraux en béton.

Ces améliorations du système de drainage garantissent une protection efficace de la gare contre les inondations, assurant ainsi sa durabilité et son bon fonctionnement. Ces mesures renforcent la sécurité et la fiabilité de l'ensemble du projet ferroviaire.



C:\Users\pc\Desktop\cartouches ENSTP\logo.JPG

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Bechar-Tindouf au pk430+000 au pk450+500 avec la conception de la gare de HASSI KHEBI	Bendjedi Zineb Lahlouh Asma	OUALI Adel	1/100	Délimitation de la gare de Hassi Khebi	2023/2024

Chapitre XII : Signalisation Ferroviaire.

XII. Chapitre XII : Signalisation Ferroviaire

XII.1 INTRODUCTION :

La signalisation ferroviaire est essentielle pour garantir la sécurité des trains en utilisant des repères visuels le long des voies et aux endroits stratégiques comme les gares et les aiguillages. Ces repères comprennent des feux colorés qui indiquent aux conducteurs de train quand avancer, ralentir ou s'arrêter. De plus, des signaux de vibration sont utilisés pour alerter les conducteurs en cas d'urgence ou lorsque la visibilité est réduite. Cette combinaison de repères visuels et de signaux tactiles contribue à assurer une circulation ferroviaire sûre et efficace.

XII.2 OBJET DE LA SIGNALISATION FERROVIAIRE :

La signalisation ferroviaire vise principalement à assurer la sécurité et l'efficacité de la circulation des trains. Elle prévient les collisions en fournissant des indications claires aux conducteurs sur l'état de la voie et régule le flux des trains pour assurer une circulation fluide. De plus, elle coordonne les itinéraires et contribue à prévenir les incidents en anticipant les obstacles. En optimisant les opérations ferroviaires, elle améliore l'efficacité globale du réseau.

XII.3 LES SIGNAUX :

En Algérie, les signaux ferroviaires sont généralement positionnés du côté gauche de la voie où les trains circulent, sauf en cas de contraintes particulières qui rendent cette disposition impossible. Cette pratique est en accord avec la circulation des trains à droite.

Il est important de noter que cette configuration peut varier d'un pays à l'autre en fonction des normes et des pratiques spécifiques à chaque réseau ferroviaire.

Les signaux ferroviaires utilisés sur les voies ferrées peuvent être classés en plusieurs types, chacun ayant un rôle spécifique dans la régulation du trafic et la sécurité des opérations ferroviaires.

- **Signaux Lumineux (panneaux et tableau lumineux) :** Ces signaux utilisent des feux de différentes couleurs pour transmettre des indications aux conducteurs de train.
- **Signaux Mécaniques :** Utilisent des bras ou des plaques mobiles pour indiquer aux conducteurs d'arrêter ou de continuer.
- **Signaux de Vitesse :** Informe les conducteurs de la vitesse maximale autorisée sur une section de voie, souvent avec des panneaux ou des feux.
- **Signaux de Direction :** Guide les conducteurs en indiquant la voie à emprunter ou les changements de direction à effectuer, utilisant des flèches ou des feux de couleur.
- **Signaux de Bloc :** Ces signaux indiquent l'état des sections de voie (occupée ou libre) et régulent l'espacement entre les trains, Ils sont essentiels pour le cantonnement et la gestion du trafic ferroviaire en évitant les collisions.

XII.4 LES DIFFÉRENTS TYPES DE BLOCS :

Les systèmes de block sont des dispositifs utilisés dans les chemins de fer pour contrôler et gérer la sécurité des voies ferrées en évitant les collisions entre les trains.

- **Block manuel (BM) :**

Ce système est utilisé sur les lignes à faible trafic, reposant sur la communication téléphonique entre les postes d'aiguillage. Lorsqu'un train quitte une section de voie, le poste d'aiguillage envoie un signal au poste suivant pour libérer la section. Cependant, ce système présente des limites pour gérer un volume important de trains en raison de sa dépendance à la coordination manuelle.

- **Block automatique à permissivité restreinte (BAPR) :**

Ce système est utilisé sur des lignes à trafic moyen, reposant sur des circuits de voie et des signaux automatiques pour contrôler l'occupation des cantons. Chaque canton est équipé de détecteurs de présence de train et de signaux automatiques aux extrémités pour guider les trains. Ces cantons peuvent s'étendre sur plusieurs kilomètres, offrant une sécurité accrue en réduisant les risques d'erreur humaine. Bien que le système reste économique avec un nombre limité de signaux, il peut limiter les débits élevés sur la ligne en raison de son fonctionnement.

- **Block automatique lumineux (BAL) :**

Ce système est utilisé principalement sur les lignes à fort trafic, où des signaux lumineux contrôlent les cantons. Chaque canton est équipé de feux qui guident les conducteurs de train en fonction de la présence des trains. Les cantons courts de ce système réduisent l'espacement entre les trains, offrant ainsi une grande souplesse dans la régulation du trafic ferroviaire malgré le coût potentiellement plus élevé en raison du nombre accru de signaux.

XII.5 LE CANTONNEMENT :

Le cantonnement ferroviaire est un système vital pour la sécurité et l'efficacité des réseaux de chemins de fer. Il divise chaque voie principale en sections appelées cantons, protégées par des signaux d'arrêt qui restent fermés tant qu'un canton est occupé par un train, empêchant ainsi les collisions et les accidents. Ces tronçons, appelés **cantons**, peuvent s'étendre d'une dizaine de mètres à plusieurs dizaines de kilomètres, constituant ainsi des espaces de sécurité dans lesquels le train ne peut pénétrer que lorsque les signaux l'y autorisent. Ce mode de fonctionnement, basé sur des avertissements, des ordres et des interdictions, est fondamental pour la signalétique ferroviaire.

La conception d'une voie ferrée prend également en compte les contraintes telles que les courbes et les déclivités, qui peuvent limiter la vitesse des trains et augmenter les coûts d'entretien. Notre projet de la ligne minière de Béchar - Tindouf étant une voie unique présente des défis spécifiques liés à la gestion du trafic ferroviaire. En effet, sur une voie unique, les possibilités de croisement ou de dépassement entre les trains sont limitées, ce qui nécessite une planification minutieuse et une utilisation efficace du système de cantonnement pour garantir la sécurité et éviter les retards.

Le cantonnement devient d'autant plus critique dans ce contexte, car il doit assurer un espacement adéquat entre les trains circulant dans des directions opposées ou suivant des itinéraires différents sur la même voie. Les signaux de cantonnement doivent être utilisés de manière précise pour contrôler l'accès aux cantons en fonction de la disponibilité de la voie et des conditions de circulation.

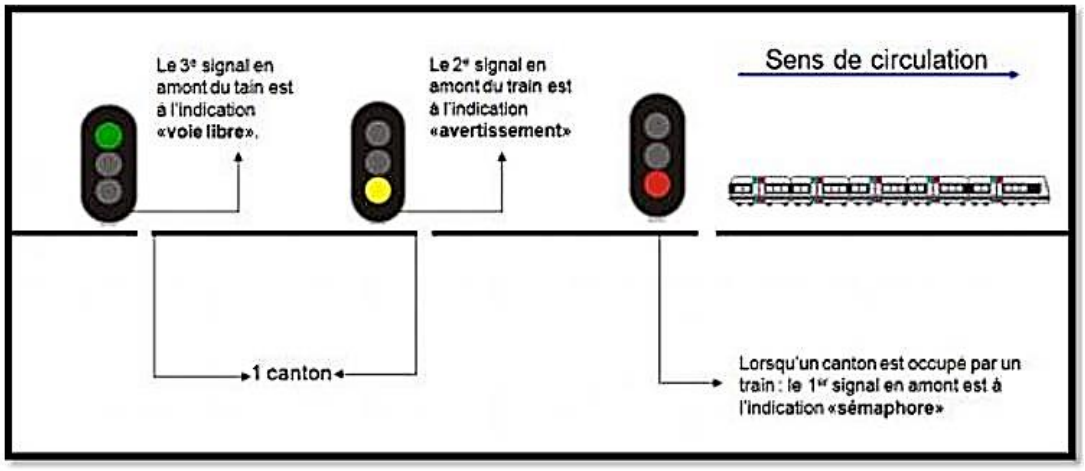


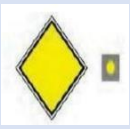
Figure XII.1-Schéma illustratif du canton

XII.6 ASPECTS DES SIGNAUX :

Les aspects prévus pour la ligne de Béchar - Tindouf (Gara Djebilet) et les indications nécessaires pour leur interprétation figure dans le tableau suivant :

Table XII.1-Les principaux signaux ferroviaires et leurs indications

Signal	Indication	Signalisation Lumineuse	Signalisation Mécanique
Signal ouvert Voie libre	Le Voie Libre indiqueau conducteur que la circulation en marchenormale est autorisée		
Le feu vert Clignotant(VL)	Il commande au Mécanicien de réduire la vitesse à 160 km/h		
Carré fermé + feux Denuit	Le carré commande l'arrêt et ne doit en aucun cas être franchi.		
Feu violet ouCarré Violet fermé + feu de Nuit	Commande l'arrêt, il estinstallé sur les voies de service, son ouverture seule.		
Guidond'arrêt			
Sémaphore /Feux rouge	Il commande au mécanicien de s'arrêter avant le signal		

Feu rougeclignotant	Marche sans dépasser lavitesse de 15 km/h au franchissement de ce signal		
Feu blanc	Il commande ou confirme au conducteur l'observation de la marche en manœuvre		
Feu blancclignotant	Il interdit dans tous lescas le départ en ligne d'un train		
Les feux deheurtoir	Ils servent à repérer denuit, ou en gare, les heurtoirs de fin de voie		
L'avertissement/feu jaune	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 avantle signal annoncé à distance réduite par le signal suivant.		
Le disque D	Il commande au mécanicien de marquer l'arrêt au premier signalou aiguillage rencontré		
Le ralentissement60	Le ralentissement 60 pour annonce une aiguille (ou plusieurs) en position "voie déviée" à passer à une vitesse maximale de 60km/h.		
Le rappel de ralentissementnt 60			

Plaque d'identification	Indication
	La pancarte indique une zone à vitesse limitée (Zone d'action).
	Le TIV fixe indique la vitesse à respecter à distance.
	La pancarte indique la sortie de la zone à vitesse limitée (Reprise de vitesse).
	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).
	Le tableau indique que le train est dirigé vers un dépôt.

XII.7 LE PRINCIPE DU SYSTÈME DE SIGNALISATION ERTMS :

L'ERTMS (European Rail Traffic Management System) qui signifie en Français système européen de la gestion de la circulation ferroviaire, est conçu pour harmoniser et moderniser les systèmes de contrôle ferroviaire. Son principe fondamental est d'assurer l'interopérabilité entre les réseaux ferroviaires nationaux, facilitant ainsi les voyages transfrontaliers sans nécessiter de changement de signalisation. Ce système intègre des fonctionnalités avancées telles que le contrôle automatique des trains (ATO) et garantit une communication continue entre les trains et les centres de contrôle. Son déploiement progressif remplace les systèmes nationaux de signalisation, améliorant ainsi l'efficacité, la sécurité et la flexibilité du transport ferroviaire.

XII.7.1 LES FONCTIONS DE L'ERTMS :

L'ERTMS vise à remplacer les divers systèmes nationaux incompatibles, favorisant ainsi une meilleure interopérabilité entre les réseaux ferroviaires européens et facilitant le trafic transfrontalier des trains. Principalement composé de l'ETCS (European Train Control System) et du GSM-R (Global System for Mobiles – Railways), l'ERTMS assure la sécurité en surveillant la vitesse des trains et en fournissant des commandes de freinage si nécessaire, tandis que le GSM-R permet des communications fiables entre les trains et les régulateurs de trafic.

Ensemble, ces technologies améliorent la capacité des lignes ferroviaires, la régularité des services et la sécurité globale du réseau. De plus, l'ERTMS est conçu pour être évolutif, capable de s'adapter aux futurs développements technologiques, assurant ainsi sa pertinence à long terme dans le secteur ferroviaire européen.

XII.8 APPLICATION SUR NOTRE PROJET :

Les principales caractéristiques du système de signalisation incluent une vitesse de conception de la ligne de 160 km/h pour les trains de voyageurs et de 70 km/h pour les trains de marchandises. Les gares seront équipées de signalisation lumineuse latérale, tandis que la protection des trains sera assurée par l'ERTMS/ETCS niveau 1. La détection des trains sera réalisée par des compteurs d'essieux, et la commande de la ligne sera effectuée par des Postes de Commande Centralisée (PCC). Chaque zone d'enclenchement aura sa propre commande locale, installée dans un poste distinct, avec un code PCC attribué à chaque gare. Le mode de cantonnement sera le **block automatique lumineux (BAL)** de voie unique. Des installations telles que les signaux, les moteurs, les balises et les compteurs d'essieux seront installées le long de la voie, avec un réseau de câbles pour la signalisation reliant les postes techniques aux équipements de voie. De plus, un réseau de fossés et de canalisations sera construit pour le tirage des câbles.

Tous les signaux seront des LED conformes au règlement général de sécurité SNTF, situés à gauche de la voie du sens de circulation des trains. Ils seront montés sur des mats en béton robustes et résistants aux conditions climatiques. Les écrans noirs entourant les unités lumineuses seront fixés rigidement pour empêcher toute altération par le vent. Les unités lumineuses, équipées de LED, seront visibles à au moins 1000 mètres, même lorsque le train est arrêté. Des lentilles appropriées seront utilisées dans les courbes pour élargir le rayon lumineux. Les boîtiers des unités lumineuses seront solides, avec une fixation permettant un ajustement horizontal et vertical du rayon lumineux.

XII.9 CONCLUSION :

En conclusion, la signalisation ferroviaire représente un élément essentiel pour assurer la sécurité, l'efficacité et la fiabilité des réseaux ferroviaires. À travers des systèmes avancés tels que le cantonnement, les différents types de signaux (feux lumineux, panneaux, tableaux), et des technologies modernes comme l'ERTMS (European Rail Traffic Management System), les chemins de fer peuvent garantir un contrôle précis des mouvements des trains, réduire les risques de collisions et faciliter la gestion du trafic.

Chapitre XIII : Étude d'Impact sur l'Environnement.

XIII. Chapitre XIII : Etude d'Impact sur l'Environnement

XIII.1 INTRODUCTION :

L'étude vise à évaluer l'impact environnemental de la nouvelle ligne ferroviaire reliant Gara Djebilet (Tindouf) à Béchar, un projet stratégique pour le développement économique et social de la région. Elle examine les conséquences potentielles sur les écosystèmes, les ressources naturelles, et la qualité de vie des populations locales, en se concentrant sur les effets sur les habitats naturels, la biodiversité, la qualité de l'air, les ressources en eau et les sols.

XIII.2 OBJECTIF DE L'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT :

L'objectif de cette évaluation environnementale est de proposer des mesures d'atténuation pour minimiser les impacts négatifs du projet ferroviaire tout en garantissant un développement durable. Elle vise à aider le maître d'ouvrage à concevoir un projet respectueux de l'environnement, à fournir des recommandations à l'autorité compétente pour prendre des décisions éclairées sur les conditions environnementales des autorisations, et à informer le public pour lui permettre de jouer son rôle de citoyen vigilant.

XIII.3 ETAT INITIAL DE LA ZONE D'ETUDE :

XIII.3.1 SITUATION DE LA ZONE D'ETUDE :

La Wilaya de Tindouf occupe une position géostratégique sur la partie Sud– Ouest de l'Algérie. Elle s'étend sur une superficie de 158 874 km2 représentant 6,67 % de la superficie totale du territoire national. Elle est limitée :

- Au Nord par le royaume du Maroc,
- Au Nord–Est par la wilaya de Béchar,
- Au Sud-Ouest par la Mauritanie,
- Au Sud-Est par la Wilaya d'Adrar,
- A l'Ouest par le territoire du Sahara occidental.

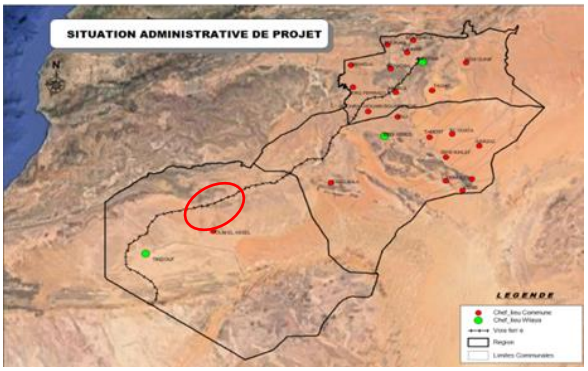


Figure XIII.1-Situation administratif de notre zone d'étude

XIII.3.2 MILIEU PHYSIQUE

XIII.3.2.1 TOPOGRAPHIE

La wilaya de Tindouf est caractérisée par un axe de dépression appelé dépression de Tindouf qui la délimite en deux espaces distincts, l'un au Nord représenté par le pays sédimentaire de la Hamada du Draa, de la Grande Sebkha et du massif d'Ouarkziz, l'autre au Sud représenté par le pays du Yetti – Eglab séparé par l'Erg Igudi qui est un des Erg les plus humides ou se trouve donc une région principale du nomadisme en été.

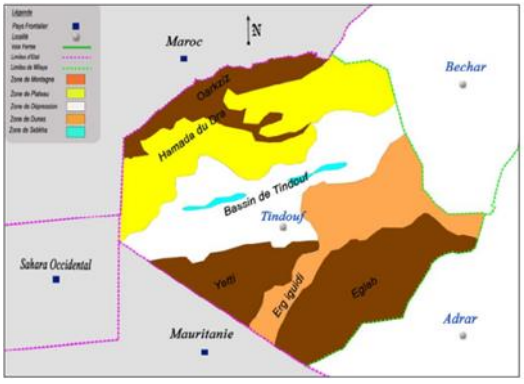


Figure XIII.2-Unités topographiques de la wilaya de Tindouf

La wilaya présente un caractère désertique caractérisée par un axe de dépression qui divise la région en deux espaces distincts :

- Au Nord, se trouve le pays sédimentaire de la Hamada du Draa, de la Grande Sebkha et du massif d'Ouarkziz.
- Au Sud, on trouve le pays du Yetti-Eglab, séparé par l'Erg Igudi, l'un des Ergs les plus humides de la région. Cette zone est une région principale pour le nomadisme en été.

XIII.3.2.2 CLIMAT

Des données climatiques de la station météorologique de Tindouf et de la NASA sont utilisées pour étudier le climat de la région. La période couverte est importante : les données de Tindouf vont de 1992 à 2022, tandis que celles de la NASA vont de 1991 à 2021. La station de Tindouf, située à l'aéroport, est la source principale de données, avec un indicatif (60656) et des coordonnées géographiques (27° 42' N, 08° 10' W). Ces données sont essentielles pour l'analyse du tracé de la voie ferrée dans la wilaya de Tindouf, en Algérie.

XIII.3.2.3 TEMPERATURE

Les températures de la zone d'étude reflètent le climat Saharien avec des valeurs très élevées en été. Le mois le plus chaud est Juillet avec une moyenne mensuelle de 34˚C. Janvier est le mois le plus froid avec une température moyenne de 12.08˚C.

XIII.3.2.4 PRECIPITATION

La répartition est marquée par une sécheresse absolue au mois de Juillet de l'ordre de 0,01 mm, et le maximum est enregistré en mois d'octobre avec une précipitation totale moyenne de 0.45mm.

Il convient de noter que l'utilisation des valeurs moyennes de pluviométrie peut entraîner des conclusions erronées, car la pluie est peu fréquente et imprévisible.

XIII.3.2.5 VENT

Le climat de Tindouf est caractérisé par des étés très chauds, des hivers doux et peu de précipitations. La région est souvent exposée à des vents puissants, notamment le sirocco, qui peut provoquer des tempêtes de sable et de poussière. En 2020, les données montrent que 20,95% des vents étaient non efficaces, 77,83% étaient efficaces et 1,21% étaient des périodes de calme, indiquant la répartition des différents types de vents dans la région.

XIII.3.2.6 QUALITE DE L'AIR

La région présente une faible humidité de l'air, qui est un élément constant du climat régional en raison de sa faible variabilité temporelle.

Les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité spécifiques dans la région d'étude varient entre 4 et 7 (g/kg).

XIII.3.2.7 GEOLOGIE

La géologie de la wilaya de Tindouf comprend un vaste plateau de terrains paléozoïques et un axe cristallin, divisée en trois unités géologiques principales : la Hamada de Tindouf au nord-ouest, un complexe grès-argileux avec des dalles calcaires et des lits de silex ; la Hamada El Aroueta au sud-est, un plateau de grès grossier à stratification croisée ; et la dépression de Tindouf entre ces deux plateaux, résultant de la déflation et de l'érosion, abritant la sebkha de Tindouf, un bassin collecteur d'oueds à forte salinité.

XIII.3.2.8 TECTONIQUE

La Wilaya de Tindouf est classée dans la zone 0. Cela implique que l'activité tectonique et sismique dans la zone d'étude est faible, voire même nulle.

XIII.3.2.9 HYDROLOGIE

En raison du climat aride de la région de Tindouf, le système hydrographique ne coule que très rarement, principalement après de fortes pluies. Les points d'eau sont rares et se concentrent là où les précipitations sont les plus abondantes, notamment le long du bord de la hamada du Draa et des falaises du Hank.

XIII.3.3 MILIEU BIOLOGIQUE :

XIII.3.3.1 LA FAUNE

La région étudiée, située dans le Sahara Nord-occidental algérien, est dominée par des formations steppiques avec des zones arbustives. La végétation principale comprend Haloxylon scoparium, Fredolia aretioides, Acacia raddiana, l'Arganier et Retama retam. La faune domestique est dominée par les chameaux et les chèvres. La faune sauvage inclut des reptiles comme le Fouette-queue et la Vipère à cornes, des scorpions comme l'Androctonus australis, des mammifères tels que le dromadaire, diverses gazelles, le guépard saharien et le fennec, et des oiseaux comme le Ganga de Lichtenstein et l'outarde houbara.



Figure XIII.3-Photos de la faune

XIII.3.4 PATRIMOINE HISTORIQUE ET ARCHEOLOGIQUE :

Le territoire de la wilaya de Tindouf, classé comme parc culturel selon le décret exécutif N° 08-157 du 28 mai 2008, couvre une surface de 168 000 km². Son patrimoine archéologique inclut des gravures rupestres, des tombes géantes, des tumulus, des menhirs et des mégalithes. La région abrite des sites variés comme des fragments de poterie paléolithique à Laqsibat, des empreintes à El-Henk, des tombes à Séfiat, des gravures à Laouinet et Kebch Eddeheb, des fossiles marins et des gravures libyco-berbères à Oum Touabaâ, des ruines d'un fort portugais à Tafgoumt et de nombreux sites à Lakhal.

XIII.3.5 MILIEU HUMAIN

XIII.3.5.1 DEMOGRAPHIE

Du point de vue administratif la wilaya de Tindouf est divisée en une (01) daïra regroupant 2 communes. Elle s'étend sur une superficie de 158 874km² pour une population de 49 149 habitants (RGPH 2008). En 2020 la population de la wilaya est estimée à 103 725 habitants, soit une densité moyenne de 0.65 habitants par km2.

Table XIII.1-Estimation de la population et de la densité dans les communes concernées par le projet pour l'année 2020. (Source Monographie 2020)

Communes	Estimation de la population 2020	Superficie (km²)	Densité (hab /km²)
Oum EL Assel	6 707	88 865	0.000075
Tindouf	97 018	70 009	0.001
Zone d'étude	103 725	158 874	0.65

La répartition démographique révèle clairement une concentration significative de la population dans le chef-lieu de la commune de Tindouf, représentant ainsi 94,25% du total, tandis que la commune de Oum El Assel ne compte que 5,05%.

XIII.3.5.2 AGRICULTURE

La wilaya de Tindouf dispose de 6 002 500 hectares de terres agricoles, mais seulement 184 512 hectares sont actuellement utilisés à des fins agricoles, principalement comme parcours. Sur les 872 hectares de superficie agricole utile (SAU), 817 hectares sont irrigués, représentant environ 94 % de la SAU totale. Toutefois, la SAU ne constitue que 0.01 % de la superficie agricole totale, soulignant la nécessité de développer davantage l'activité agricole pour répondre aux besoins de la population.

XIII.4 EVALUATION DES IMPACTS

XIII.4.1 IMPACTS NEGATIFS :

XIII.4.1.1 IMPACTS EN PHASE DE CHANITER :

- **Sur le milieu humain :**

Les équipements de chantier peuvent produire des bruits et des vibrations importants, perturbant l'agriculture et les terres pastorales. Les réseaux d'énergie peuvent subir des coupures, nécessitant des réparations coûteuses. L'accès routier peut être perturbé, affectant les exploitations agricoles et les sites industriels, entraînant des pertes de revenus.

- **Sur le milieu physique :**

La construction peut causer divers impacts environnementaux, tels que la pollution de l'air et de l'eau, la dégradation des sols, des dommages à la végétation et à la faune, ainsi que des altérations visuelles du paysage.

XIII.4.1.2 IMPACT EN PHASE D'EXPLOITATION :

La construction et l'exploitation de la ligne ferroviaire ont des impacts majeurs sur l'environnement, tels que la pollution de l'air, le bruit, la perte d'habitat pour la faune, la pollution de l'eau et la production de déchets solides.

Note : Puisque le milieu biologique et le patrimoine sont très faibles dans notre zone d'étude, il n'y a donc pas d'impacts négatifs qui influencent ces milieux.

XIII.4.2 MESURES PRISES POUR MINIMISER LES IMPACTS :

XIII.4.2.1 MESURES EN PHASE DE CHANTIER :

- **Sur le milieu physique :**

Pour réduire les impacts environnementaux, plusieurs mesures sont mises en place : limitation de la vitesse, arrosage des zones poussiéreuses, entretien des équipements conformes aux normes, sensibilisation à la gestion de l'énergie, limitation des travaux bruyants, maintenance préventive des équipements pour réduire le bruit et les vibrations, contrôle des fuites et déversements pour protéger les eaux, préservation de la végétation par le déboisement limité, marquage préalable des arbres à abattre, restauration des habitats défrichés, réduction de l'impact sur le sol par la stabilisation et la restauration des sites, et limitation du décapage et du déboisement pour atténuer les impacts paysagers.

- **Sur le milieu humain :**

Des mesures sont prises pour réduire les impacts des activités économiques, notamment en minimisant les perturbations pour les cultures, en respectant les capacités des routes et en assurant la sécurité des travailleurs grâce à des plans d'urgence et à une gestion adéquate des matières dangereuses.

XIII.4.2.2 MESURES EN PHASE D'EXPLOITATION :

- **Sur le milieu humain**

Des mesures sont prises pour atténuer les impacts de l'exploitation ferroviaire, comprenant la maintenance régulière et la formation du personnel. La re-végétation est planifiée avec soin, impliquant la sélection d'espèces adaptées et la participation de la communauté locale. Pour la protection des ressources en eau, des contrôles de fuites sont mis en place, ainsi qu'une surveillance de la qualité de l'eau. La gestion des résidus inclut le tri, l'élimination sûre des déchets dangereux et la réduction à la source. Les zones d'emprunts sont réhabilitées, les expropriations et démolitions sont accompagnées d'indemnisations, et des passages pour la faune sont aménagés. Enfin, le remblayage des puits est effectué avec des matériaux appropriés et des mesures de sécurité.

XIII.4.3 LES IMPACTS POSITIFS :

Le projet de la nouvelle ligne ferroviaire Bechar-Tindouf-Gara Djebilet présente divers impacts positifs, notamment en stimulant le développement économique par la création d'emplois et l'encouragement des investissements le long de la ligne. Il renforce également la connectivité régionale entre Bechar, Tindouf et Gara Djebilet, favorisant les échanges commerciaux et culturels tout en soutenant un développement régional équilibré. En outre, il promeut un mode de transport durable, améliore l'accessibilité aux services essentiels, stimule le développement urbain et favorise le tourisme en offrant de nouvelles opportunités de découverte des richesses naturelles et culturelles. De plus, le projet contribue à améliorer la sécurité routière en réduisant la pression sur les routes et favorise la modernisation des infrastructures de transport grâce à l'introduction de technologies ferroviaires avancées.

XIII.5 CONCLUSION :

L'étude d'impact environnemental est une démarche formelle et rigoureuse visant à évaluer scientifiquement les répercussions d'un projet ou d'une activité sur l'environnement. Son originalité réside dans son rôle incitatif pour les acteurs, publics et privés, à intégrer les préoccupations environnementales dans leur processus décisionnel, afin d'éviter toute détérioration permanente de l'environnement. Cette procédure concrétise les principes de prévention et de développement durable dans la pratique.

Chapitre XIV : Devis Quantitatif et Estimatif.

XIV. Chapitre XIV : Devis Quantitatif et Estimatif

N°	Désignation des Travaux	Unité	Quantité	Prix Unitaire	Montant Total
LOT 01 - INSTALLATION DECHANTIER					
1.01	Amenée du matériel et installation général du chantier	F	1	2 432 959 062,60	2 432 959 062,60
1.02	Repli du matériel	F	1	1 216 479 531,30	1 216 479 531,30
1.03	Fourniture et installation de laboratoire de chantier	F	1	608 239 765,50	608 239 765,50
1.04	Repliement de laboratoire de chantier	F	1	608 239 765,65	608 239 765,65
TOTAL INSTALLATION DE CHANTIER					**4 865 918 125,05**
LOT 02 - TERRASSEMENTS GENERAUX					
2.01	Décapage de terre végétale sure épaisseur de 0,30 m	M3	162 000,00	750,00	121 500 000,00
2.02	Déblais en terrain rocheux	M3	72 136,440	2 500,00	180 341 100,00
2.03	Remblai provenant des zones d'emprunt agrée	M3	314 267,36	2 500,00	785 668 400,00
2.04	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme	M3	66 480,65	2 600,00	2 205 874 797,09
2.05	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation	M3	30 784,18	3 200,00	98 509 376,00
2.06	Fourniture et mise en œuvre de la couche de s/ballast	M3	31 491,36	3 800,00	1 548 220 043,58
TOTAL TERRASSEMENTS GENERAUX					**4 940 113 716,68**
LOT : 03 - DRAINAGE ET ASSAINISSEMENTS					
3.01	Fossés trapézoïdaux en béton armé Profondeur 0.50 m	ML	40,000.00	15,000.00	600,000,000.00
	Ouvrages d'entrée et de sortie des buses				
3.02	Ouvrages d'entrée pour 1 buse diamètre 1500mm	U	7.00	65,000.00	455,000.00
TOTAL ASSAINISSEMENTS - TRACE					**600 455 000,00**
LOT 04 -TRAVAUX DE VOIE					
01- PLEINE VOIE					
4.01	Fourniture et pose ballast	M3	38 171,19	7 400,00	282 466 806,00
4.02	Pose de voie UIC 60	ML	17 000,00	8 500,00	144 500 000,00
4.03	a) Soudage aluminothermique	U	118	20 800,00	2 455 555,56
	b) Soudage électrique	U	1 771	18 400,00	32 583 333,33
FORNITURE DE MATERIEL ET MATERIAUX DE VOIE					
4.05	Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60,21 kg/m)	T	2 047,140	199 962,00	409 350 208,68
4.06	Fourniture des traverses mono bloc	U	28 322	12 000,00	339 864 000,00
4.07	Fourniture des attachés pour rails UIC 60	U	113 288	1 800,00	203 918 400,00
4.08	Fourniture semelle cannelée (200x165x9)	U	56 644	450,00	25 489 800,00
TOTAL - PLEINE VOIE					**1 440 628 103,57**
02 - GARE DE HASSI KHEBI					
4.01	Fourniture et pose ballast	M3	6 736,221	7 400,00	49 848 035,40
4.02	Pose de voie UIC 60	ML	12 000,00	8 500,00	102 000 000,00
4.03	a) Soudage aluminothermique	U	83	20 800,00	1 733 333,33
	b) Soudage électrique	U	1 250	18 400,00	23 000 000,00
FORNITURE DE MATERIEL ET MATERIAUX DE VOIE					
4.05	Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60,21 kg/m)	T	1 445,040	199 962,00	288 953 088,48

4.06	Fourniture des traverses mono bloc	U	19 992	12 000,00	239 904 000,00
4.07	Fourniture des attachés pour rails UIC 60	U	80 000	1 800,00	144 000 000,00
4.08	Fourniture semelle cannelée (200x165x9)	U	40 000	450,00	18 000 000,00
4.09	Fourniture d'appareil de voie type				
	UIC 60 500 1/12 DD	U	02	18,900,000.00	37,800,000.00
	UIC 60 300 1/9 DD	U	05	15,700,000.00	78,500,000.00
	Fourniture et pose heurtoir	U	01	620,000.00	620,000.00
TOTAL -GARE DE HASI KHEBI					**984 293 657,21**
TOTAL TRAVAUX DE VOIE					**2 424 921 760,78**
LOT 05 -OUVRAGES					
5.01	Passages supérieurs	U	02	-	485,630,000.00
TOTAL LOT OUVRAGES					**485,630,000.00**
LOT 06- TRAVAUX DE BATIMENT					
6.01	Aménagement et toutes les installations de la gare (bâtiment parking, quai, abris de quai……..)	U	-	-	4 415 766,87
ASSAINISSEMENT ET DRAINAGE					
6.02	Regards	U	29	110 000,00	3 190 000,00
6.03	Tubes d'évacuation des eaux vannes et des eaux pluviales				
6.04	PVC Ø 350	ML	800,00	3 200,00	2 560 000,00
6.05	PVC Ø 250	ML	100,00	2 700,00	270 000,00
TOTAL TRAVAUX D'ASSAINISSEMENT ET DRAINAGE					**6 020 000,00**
TOTAL LOT TRAVAUX DE BATIMENT					**391 804 726,67**
MONTANT EN (HT)					**13 708 843 329,18**
MONTANT DE TVA (19%)					**2 604 680 232,54**
MONTANT EN (TTC)					**16 313 523 561,72**

Arrêté le montant du présent projet en toutes taxes comprises à la somme de :

Seize milliards trois cent treize millions cinq cent vingt-trois mille cinq cent soixante-et-un dinar et soixante-douze centimes.

Chapitre XV :
Planification du Projet.

XV. Chapitre XV : Planification du Projet

XV.1 INTRODUCTION

Un chantier est une installation temporaire située généralement en plein air, dont la durée est limitée au temps nécessaire pour mener à bien un projet, généralement quelques années au maximum. Les entreprises spécialisées dans les travaux publics sont les seules à être exposées aux aléas climatiques tels que la pluie ou le gel. L'organisation d'un chantier implique de définir et de coordonner l'utilisation des ressources nécessaires pour réaliser les travaux dans les meilleures conditions possibles. Avant de démarrer les travaux effectifs sur le chantier, il est essentiel de procéder à une étude théorique préliminaire, appelée planification.

XV.2 PLANIFICATION

La planification consiste en une recherche continue de la meilleure utilisation économique de la main-d'œuvre et des autres ressources nécessaires, dans le but d'assurer l'efficacité des actions entreprises. Le planning, un document essentiel sur le chantier, engage tous les acteurs impliqués, du client à l'entreprise réalisatrice.

XV.2.1 Objectif de la Planification

Les objectifs de la planification incluent la garantie de l'exécution des travaux dans un ordre correct pour assurer une bonne séquence des opérations, le respect des délais fixés afin d'éviter les retards, et l'optimisation des coûts pour réaliser le projet de la manière la plus économique possible et en obtenir un bénéfice.

XV.3 DIAGRAMME DE GANTT

Le diagramme de Gantt est un outil graphique largement utilisé dans la planification des chantiers et la gestion de projets. Il offre une représentation visuelle des différentes tâches à réaliser et de leur chronologie dans le temps. Chaque tâche est représentée par une barre horizontale dont la longueur correspond à sa durée prévue, et l'alignement de ces barres indique l'ordre chronologique des activités.

Ce diagramme permet de visualiser les délais prévus pour chaque étape du projet, ainsi que les dépendances entre les différentes tâches. Il facilite la coordination des ressources humaines et matérielles en mettant en évidence les moments où elles sont nécessaires. De plus, il offre une vue d'ensemble de l'avancement du projet, permettant aux parties prenantes de suivre en temps réel l'évolution des travaux.

Pour établir un planning Gantt efficace, plusieurs éléments doivent être pris en compte :

- La séquence logique des tâches
- Le nombre d'heures estimées
- Le rendement du matériel

- Le délai global du projet.

XV.4 APPLICATION SUR NOTRE PROJET :

Nous avons utilisé le logiciel MS Project pour élaborer le diagramme de Gantt de ce projet.

Après avoir intégré les données du projet, nous avons obtenu les résultats suivants :

Le délai d'exécution du projet est fixé à 300 Jours, répartis selon le planning suivant :

- Installation générale de chantier : 60 jours.
- Étude d'exécution : 30 jours.
- Terrassements généraux : 250 jours.
- Drainage et assainissement : 60 jours.
- Assise ferroviaire : 130 jours.
- Travaux de voie : 100 jours.

Conclusion Générale

XVI. Conclusion générale

Les projets ferroviaires jouent un rôle stratégique fondamental dans le développement économique d'un pays, en facilitant la mobilité des biens et des personnes, en stimulant les échanges commerciaux et en renforçant l'intégration régionale. Notre projet de fin d'études, portant sur l'étude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Béchar-Tindouf-Gara Djebilet, du PK 430+000 au PK 450+500, incluant l'aménagement et la conception de la gare de Hassi Khebi, est d'une importance capitale. Cette ligne est indispensable pour le transport du minerai de Gara Djebilet vers le port d'Arzew, soutenant ainsi l'économie nationale en optimisant la logistique minière et en renforçant la compétitivité sur les marchés mondiaux.

Notre immersion dans ce projet a été une révélation sans précédent. Nous avons eu l'opportunité inestimable de mettre en pratique nos connaissances théoriques, acquises à l'ENSTP, notamment dans la conception avancée des voies ferrée. La modélisation s'est avérée être une compétence critique que nous avons développée avec enthousiasme tout au long de notre engagement sur ce projet, utilisant un éventail de logiciels comme Civil 3D, SketchUp, InfraWorks, et bien d'autres encore. Travailler au sein d'équipes multidisciplinaires a été une expérience collaborative enrichissante, renforçant notre capacité à travailler harmonieusement et à communiquer efficacement avec les parties prenantes et les experts du domaine.

En conclusion, ce projet de fin d'études a été une véritable métamorphose pour nous. Non seulement il a enrichi nos compétences techniques, mais il a aussi ravivé notre passion pour l'ingénierie ferroviaire. Convaincues de la valeur de cette expérience, nous sommes prêtes à relever avec détermination les défis complexes du secteur ferroviaire dans notre future carrière. Nous aspirons à contribuer activement au développement durable et innovant des infrastructures de transport de notre pays, conscientes que chaque obstacle surmonté représente une pierre angulaire de notre progression vers un avenir plus prometteur et plus connecté.

Bibliographie

1. Les normes UIC (741). Quais des gares à voyageurs-Règles pour l'implantation des bordures 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 plates-formes ferroviaires.
9. SNTF, Fiche de normalisation : aménagement et gare, trace des voies, 3e édition, JUIN 1985.
10. SNTF, chapitre 10, signalisation et télécommunication, version 2.
11. Mémoires de voie ferrée école nationale des travaux publics.

ANNEXE A
Listing de Tracé

Tangent Data

Description	PT Station	Northing	Easting
Start:	4300+00.000	3234914.059	307468.194
End:	4320+40.492	3233788.262	305766.375

Tangent Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	2040.492	Course:	S 56° 30' 51.5951" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
TS:	4320+40.492	3233788.262	305766.375
SPI:		3233751.479	305710.773
SC:	4321+40.492	3233732.535	305683.344

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	100.000	L Tan:	66.668
Radius:	2500.000	S Tan:	33.335
Theta:	01° 08' 45.2961"	P:	0.167
X:	99.996	K:	49.999
Y:	0.667	A:	500.000
Chord:	99.998	Course:	S 56° 07' 56.5010" W

Curve Point Data

Description	Station	Northing	Easting
SC:	4321+40.492	3233732.535	305683.344
RP:		3231675.477	307104.088
CS:	4322+52.747	3233666.689	305592.441

Circular Curve Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Delta:	02° 34' 21.7122"	Type:	LEFT
Radius:	2500.000		
Length:	112.255	Tangent:	56.137
Mid-Ord:	0.630	External:	0.630
Chord:	112.246	Course:	S 54° 04' 55.4428" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
CS:	4322+52.747	3233666.689	305592.441
SPI:		3233646.533	305565.891
ST:	4323+52.747	3233605.168	305513.607

Spiral Curve Data: clothoid

ANNEXE A
Listing de Tracé

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	100.000	L Tan:	66.668
Radius:	2500.000	S Tan:	33.335
Theta:	01° 08' 45.2961"	P:	0.167
X:	99.996	K:	49.999
Y:	0.667	A:	500.000
Chord:	99.998	Course:	S 52° 01' 54.3846" W

Tangent Data

Description	PT Station	Northing	Easting
Start:	4323+52.747	3233605.168	305513.607
End:	4342+69.357	3232415.976	304010.538

Tangent Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	1916.610	Course:	S 51° 38' 59.2906" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
TS:	4342+69.357	3232415.976	304010.538
SPI:		3232374.611	303958.256
SC:	4343+69.357	3232353.639	303932.346

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	100.000	L Tan:	66.667
Radius:	4500.000	S Tan:	33.334
Theta:	00° 38' 11.8312"	P:	0.093
X:	99.999	K:	50.000
Y:	0.370	A:	670.820
Chord:	99.999	Course:	S 51° 26' 15.3477" W

Curve Point Data

Description	Station	Northing	Easting
SC:	4343+69.357	3232353.639	303932.346
RP:		3228855.831	306763.483
CS:	4367+82.874	3230415.813	302542.528

Circular Curve Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Delta:	30° 43' 47.5001"	Type:	LEFT
Radius:	4500.000		
Length:	2413.518	Tangent:	1236.544
Mid-Ord:	160.840	External:	166.802
Chord:	2384.694	Course:	S 35° 38' 53.7094" W

ANNEXE A
Listing de Tracé

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
CS:	4367+82.874	3230415.813	302542.528
SPI:		3230384.546	302530.973
ST:	4368+82.874	3230321.760	302508.558

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	100.000	L Tan:	66.667
Radius:	4500.000	S Tan:	33.334
Theta:	00° 38' 11.8312"	P:	0.093
X:	99.999	K:	50.000
Y:	0.370	A:	670.820
Chord:	99.999	Course:	S 19° 51' 32.0711" W

Tangent Data

Description	PT Station	Northing	Easting
Start:	4368+82.874	3230321.760	302508.558
End:	4373+11.189	3229918.380	302364.550

Tangent Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	428.315	Course:	S 19° 38' 48.1282" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
TS:	4373+11.189	3229918.380	302364.550
SPI:		3229855.593	302342.135
SC:	4374+11.189	3229824.430	302330.302

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	100.000	L Tan:	66.668
Radius:	2500.000	S Tan:	33.335
Theta:	01° 08' 45.2961"	P:	0.167
X:	99.996	K:	49.999
Y:	0.667	A:	500.000
Chord:	99.998	Course:	S 20° 01' 43.2222" W

Curve Point Data

Description	Station	Northing	Easting
SC:	4374+11.189	3229824.430	302330.302
RP:		3230711.896	299993.123
CS:	4398+12.661	3228287.959	300605.110

ANNEXE A
Listing de Tracé

Circular Curve Data			
Parameter	**Value**	**Parameter**	**Value**
Delta:	55° 02' 15.6311"	Type:	RIGHT
Radius:	2500.000		
Length:	2401.472	Tangent:	1302.463
Mid-Ord:	282.853	External:	318.938
Chord:	2310.201	Course:	S 48° 18' 41.2398" W

Spiral Point Data			
Description	**Station**	**Northing**	**Easting**
CS:	4398+12.661	3228287.959	300605.110
SPI:		3228279.799	300572.790
ST:	4399+12.661	3228264.775	300507.837

Spiral Curve Data: clothoid			
Parameter	**Value**	**Parameter**	**Value**
Length:	100.000	L Tan:	66.668
Radius:	2500.000	S Tan:	33.335
Theta:	01° 08' 45.2961"	P:	0.167
X:	99.996	K:	49.999
Y:	0.667	A:	500.000
Chord:	99.998	Course:	S 76° 35' 39.2574" W

Tangent Data			
Description	**PT Station**	**Northing**	**Easting**
Start:	4399+12.661	3228264.775	300507.837
End:	4429+64.557	3227577.013	297534.446

Tangent Data			
Parameter	**Value**	**Parameter**	**Value**
Length:	3051.896	Course:	S 76° 58' 34.3515" W

Spiral Point Data			
Description	**Station**	**Northing**	**Easting**
TS:	4429+64.557	3227577.013	297534.446
SPI:		3227561.989	297469.493
SC:	4430+64.557	3227555.184	297436.860

Spiral Curve Data: clothoid			
Parameter	**Value**	**Parameter**	**Value**
Length:	100.000	L Tan:	66.668
Radius:	2300.000	S Tan:	33.335
Theta:	01° 14' 44.0175"	P:	0.181
X:	99.995	K:	49.999
Y:	0.725	A:	479.583

ANNEXE A
Listing de Tracé

Chord:	99.998	Course:	S 77° 23' 29.0180" W

Curve Point Data

Description	Station	Northing	Easting
SC:	4430+64.557	3227555.184	297436.860
RP:		3229806.758	296967.374
CS:	4443+78.401	3227658.822	296144.957

Circular Curve Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Delta:	32° 43' 45.9803"	Type:	RIGHT
Radius:	2300.000		
Length:	1313.844	Tangent:	675.388
Mid-Ord:	93.178	External:	97.113
Chord:	1296.053	Course:	N 85° 24' 48.6408" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
CS:	4443+78.401	3227658.822	296144.957
SPI:		3227670.741	296113.826
ST:	4444+78.401	3227695.928	296052.098

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	100.000	L Tan:	66.668
Radius:	2300.000	S Tan:	33.335
Theta:	01° 14' 44.0175"	P:	0.181
X:	99.995	K:	49.999
Y:	0.725	A:	479.583
Chord:	99.998	Course:	N 68° 13' 06.2996" W

Tangent Data

Description	PT Station	Northing	Easting
Start:	4444+78.401	3227695.928	296052.098
End:	4486+80.281	3229283.350	292161.611

Tangent Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	4201.880	Course:	N 67° 48' 11.6331" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
TS:	4486+80.281	3229283.350	292161.611
SPI:		3229308.536	292099.884
SC:	4487+80.281	3229320.510	292068.774

ANNEXE A
Listing de Tracé

Spiral Curve Data: clothoid			
Parameter	**Value**	**Parameter**	**Value**
Length:	100.000	L Tan:	66.668
Radius:	2500.000	S Tan:	33.335
Theta:	01° 08' 45.2961"	P:	0.167
X:	99.996	K:	49.999
Y:	0.667	A:	500.000
Chord:	99.998	Course:	N 68° 11' 06.7272" W

Curve Point Data			
Description	**Station**	**Northing**	**Easting**
SC:	4487+80.281	3229320.510	292068.774
RP:		3226987.355	291170.783
CS:	4504+16.952	3229384.913	290462.465

Circular Curve Data			
Parameter	**Value**	**Parameter**	**Value**
Delta:	37° 30' 35.0842"	Type:	LEFT
Radius:	2500.000		
Length:	1636.671	Tangent:	848.873
Mid-Ord:	132.743	External:	140.187
Chord:	1607.600	Course:	N 87° 42' 14.4713" W

Spiral Point Data			
Description	**Station**	**Northing**	**Easting**
CS:	4504+16.952	3229384.913	290462.465
SPI:		3229375.469	290430.496
ST:	4505+16.952	3229355.305	290366.950

Spiral Curve Data: clothoid			
Parameter	**Value**	**Parameter**	**Value**
Length:	100.000	L Tan:	66.668
Radius:	2500.000	S Tan:	33.335
Theta:	01° 08' 45.2961"	P:	0.167
X:	99.996	K:	49.999
Y:	0.667	A:	500.000
Chord:	99.998	Course:	S 72° 46' 37.7845" W

Tangent Data			
Description	**PT Station**	**Northing**	**Easting**
Start:	4505+16.952	3229355.305	290366.950
End:	4523+72.618	3228794.059	288598.194

Tangent Data			
Parameter	**Value**	**Parameter**	**Value**

ANNEXE A
Listing de Tracé

Length:	1855.666	Course:	S 72° 23' 42.6904" W

ANNEXE B
Listing de profil en long

1 Courbe à point bas : parabolique		
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	431+579
	Abscisse curviligne du PIV :	431+629
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	431+679
	Talus d'entrée (%) :	-0.19%
	Talus de sortie (%) :	0.15%
	Longueur de la courbe :	100.000m
	K :	292.54
	Modélisation en fonction de la vitesse :	160
	Normes de conception :	
	Valeur K minimale de la distance de visibilité des phares :	
	Contrôles de la norme de conception :	
2 Courbe à point haut : parabolique		
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	433+579
	Abscisse curviligne du PIV :	433+639
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	433+699
	Talus d'entrée (%) :	0.15%
	Talus de sortie (%) :	-0.22%
	Longueur de la courbe :	120.000m
	K :	319.57
	Modélisation en fonction de la vitesse :	160
	Normes de conception :	
	Valeur K minimale de la distance d'arrêt :	
	Valeur K minimale de la distance de visibilité de dépassement :	
	Contrôles de la norme de conception :	
3 Courbe à point bas : parabolique		
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	445+634
	Abscisse curviligne du PIV :	445+709
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	445+784
	Talus d'entrée (%) :	-0.00%
	Talus de sortie (%) :	0.25%
	Longueur de la courbe :	150.000m
	K :	602.12
	Modélisation en fonction de la vitesse :	160
	Normes de conception :	
	Valeur K minimale de la distance de visibilité des phares :	
	Contrôles de la norme de conception :	
4 Courbe à point haut : parabolique		
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	447+300
	Abscisse curviligne du PIV :	447+400
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	447+500
	Talus d'entrée (%) :	0.25%
	Talus de sortie (%) :	0.03%
	Longueur de la courbe :	200.000m
	K :	931.47
	Modélisation en fonction de la vitesse :	160
	Normes de conception :	
	Valeur K minimale de la distance d'arrêt :	

ANNEXE B
Listing de profil en long

	Valeur K minimale de la distance de visibilité de dépassement :	
	Contrôles de la norme de conception :	

Axe vertical : LR PLATE-FORME
Description :
Intervalle d'abscisses curvilignes : Départ : 430+000, Extrémité : 452+359

1 Courbe à point bas : parabolique		
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	431+626
	Abscisse curviligne du PIV :	431+629
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	431+631
	Talus d'entrée (%) :	-0.19%
	Talus de sortie (%) :	0.15%
	Longueur de la courbe :	100m
	K :	292.54
	Modélisation en fonction de la vitesse :	160
	Normes de conception :	
	Valeur K minimale de la distance de visibilité des phares :	
	Contrôles de la norme de conception :	
2 Courbe à point haut : parabolique		
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	433+616
	Abscisse curviligne du PIV :	433+639
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	433+661
	Talus d'entrée (%) :	0.15%
	Talus de sortie (%) :	-0.22%
	Longueur de la courbe :	120m
	K :	319.57
	Modélisation en fonction de la vitesse :	160
	Normes de conception :	
	Valeur K minimale de la distance d'arrêt :	
	Valeur K minimale de la distance de visibilité de dépassement :	
	Contrôles de la norme de conception :	
3 Courbe à point bas : parabolique		
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	445+684
	Abscisse curviligne du PIV :	445+709
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	445+734
	Talus d'entrée (%) :	-0.00%
	Talus de sortie (%) :	0.25%
	Longueur de la courbe :	150m
	K :	602.12
	Modélisation en fonction de la vitesse :	160
	Normes de conception :	
	Valeur K minimale de la distance de visibilité des phares :	
	Contrôles de la norme de conception :	
4 Courbe à point haut : parabolique		
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	447+384
	Abscisse curviligne du PIV :	447+400
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	447+416
	Talus d'entrée (%) :	0.25%
	Talus de sortie (%) :	0.03%

ANNEXE B
Listing de profil en long

	Longueur de la courbe :	200m
	K :	931.47
	Modélisation en fonction de la vitesse :	160
	Normes de conception :	
	Valeur K minimale de la distance d'arrêt :	
	Valeur K minimale de la distance de visibilité de dépassement :	
	Contrôles de la norme de conception :	

Axe vertical : PST
Description :
Intervalle d'abscisses curvilignes : Départ : 430+000, Extrémité : 452+359

1 Courbe à point bas : parabolique		
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	431+626
	Abscisse curviligne du PIV :	431+629
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	431+631
	Talus d'entrée (%) :	-0.19%
	Talus de sortie (%) :	0.15%
	Longueur de la courbe :	100m
	K :	292.54
	Modélisation en fonction de la vitesse :	160
	Normes de conception :	
	Valeur K minimale de la distance de visibilité des phares :	
	Contrôles de la norme de conception :	
2 Courbe à point haut : parabolique		
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	433+616
	Abscisse curviligne du PIV :	433+639
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	433+661
	Talus d'entrée (%) :	0.15%
	Talus de sortie (%) :	-0.22%
	Longueur de la courbe :	120m
	K :	319.57
	Modélisation en fonction de la vitesse :	160
	Normes de conception :	
	Valeur K minimale de la distance d'arrêt :	
	Valeur K minimale de la distance de visibilité de dépassement :	
	Contrôles de la norme de conception :	
3 Courbe à point bas : parabolique		
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	445+684
	Abscisse curviligne du PIV :	445+709
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	445+734
	Talus d'entrée (%) :	-0.00%
	Talus de sortie (%) :	0.25%
	Longueur de la courbe :	150m
	K :	602.12
	Modélisation en fonction de la vitesse :	160
	Normes de conception :	
	Valeur K minimale de la distance de visibilité des phares :	
	Contrôles de la norme de conception :	
4 Courbe à point haut : parabolique		
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	447+384

ANNEXE B
Listing de profil en long

	Abscisse curviligne du PIV :	447+400
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	447+416
	Talus d'entrée (%) :	0.25%
	Talus de sortie (%) :	0.03%
	Longueur de la courbe :	200m
	K :	931.47
	Modélisation en fonction de la vitesse :	160
	Normes de conception :	
	Valeur K minimale de la distance d'arrêt :	
	Valeur K minimale de la distance de visibilité de dépassement :	
	Contrôles de la norme de conception :	

ANNEXE B
Listing de profil en long

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
0,0482	0,514	0,149	0,1061	0,650	0,220	0,1640	0,735	0,273	0,2219	0,802	0,320	0,2798	0,856	0,362	0,3377	0,903	0,401
0,0493	0,518	0,151	0,1072	0,652	0,221	0,1651	0,737	0,274	0,2230	0,803	0,321	0,2809	0,857	0,363	0,3388	0,904	0,401
0,0503	0,521	0,152	0,1082	0,654	0,222	0,1661	0,738	0,275	0,2241	0,804	0,321	0,2820	0,858	0,363	0,3399	0,904	0,402
0,0514	0,524	0,154	0,1093	0,656	0,223	0,1672	0,739	0,276	0,2251	0,805	0,322	0,2830	0,859	0,364	0,3410	0,905	0,403

ANNEXE C
Canalisation circulation partiellement remplie

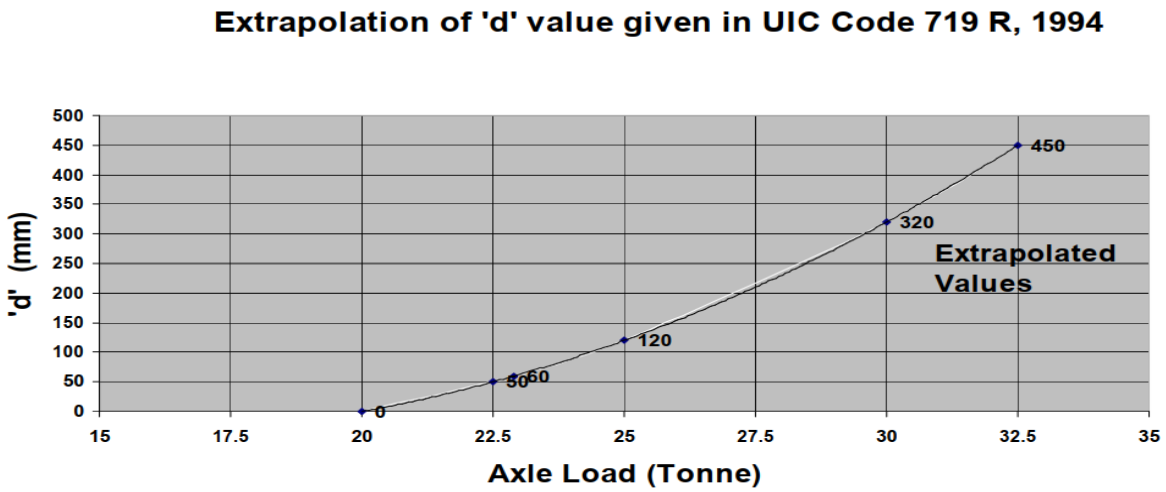
0,0525	0,527	0,155	0,1104	0,658	0,224	0,1683	0,741	0,277	0,2262	0,806	0,323	0,2841	0,860	0,365	0,3420	0,906	0,403
0,0535	0,530	0,157	0,1115	0,660	0,225	0,1694	0,742	0,278	0,2273	0,807	0,324	0,2852	0,861	0,365	0,3431	0,906	0,404
0,0546	0,533	0,158	0,1125	0,662	0,226	0,1704	0,744	0,279	0,2283	0,808	0,325	0,2863	0,861	0,366	0,3442	0,907	0,405
0,0557	0,536	0,160	0,1136	0,664	0,227	0,1715	0,745	0,280	0,2294	0,809	0,325	0,2873	0,862	0,367	0,3452	0,908	0,405
0,0568	0,539	0,161	0,1147	0,665	0,228	0,1726	0,746	0,280	0,2305	0,811	0,326	0,2884	0,863	0,368	0,3463	0,909	0,406
0,0578	0,542	0,163	0,1157	0,667	0,229	0,1737	0,748	0,281	0,2316	0,812	0,327	0,2895	0,864	0,368	0,3474	0,909	0,407
0,0589	0,545	0,164	0,1168	0,669	0,230	0,1747	0,749	0,282	0,2326	0,813	0,328	0,2905	0,865	0,369	0,3485	0,910	0,407

ANNEXE D
Normes Indiennes

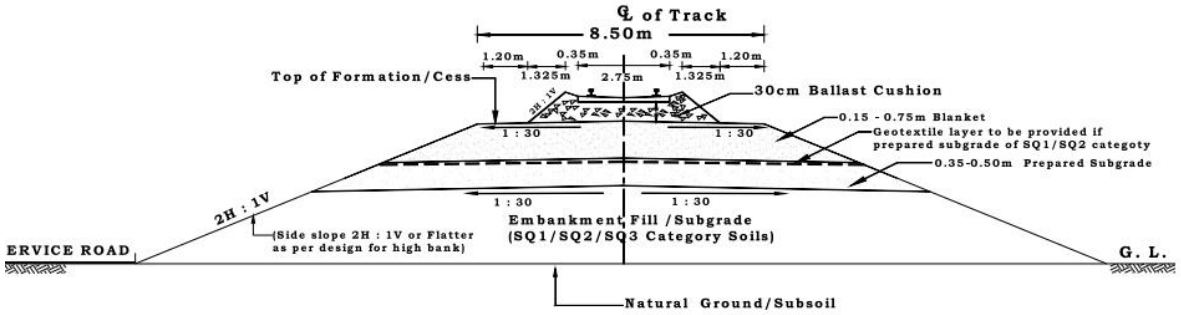
NORMES INDIENNES

NOTE : Tous les droits sont réservés à l'auteur pour des raisons juridiques.

Sketch - 1

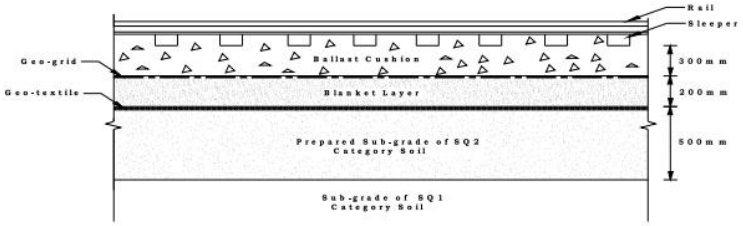


SKETCH - 4



Typical Cross-Section of Track Formation For Heavy Axle Load Freight Corridor For Different Soil-Categories In Sub-grade & Prepared Sub-grade

(Reference : Sketch-2 And Table-2 At Pages 20 & 21)



Typical Longitudinal-Section of Track Formation For 25T Axle Load

Note : Depth of blanket layer has been reduced from 250 mm to 200 mm due to provision of Geo-grid.

ANNEXE E
Epaisseurs Minimales de la Couche d'Assise

E	= 0,70 m	pour les plates-formes de classe de portance P_1
E	= 0,55 m	pour les plates-formes de classe de portance P_2
E	= 0,45 m	pour les plates-formes de classe de portance P_3
a	=0	pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V ≥ 160 km/h quel que soit le groupe UIC)
a	= - 0,05 m	pour les groupes UIC 3 et 4
a	= - 0,10 m	pour les groupes UIC 5, 6 et 7, 8, 9 avec voyageurs
a	= - 0,15 m	pour les groupes UIC 7, 8, 9 sans voyageur'
b	= 0	pour les traverses bois de longueur 2,60 rn
b	= (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	=-010 m	à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC "7, 8, 9 sans voyageur
c	=-0 05 m '	à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que"7, 8, 9 sans voyageur"
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 à V ≤ 1 60 km/h et pour les plates-formes de portance P_3, des lignes à grande vitesse.
f	=+ 0,05 m	pour les plates-formes de classe de portance P_2 des lignes à grande vitesse.
f	=+ 0, 1 0 m	pour les plates-formes de classe de portance P_1 des lignes à grande vitesse
g	=+ géotextile	lorsque la couche de forme est en sol QS_1 ou QS_2
g	= 0 (pas de géotextile)	lorsque la couche de forme est en sol QS_3