République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العمومية
فرنســيس جانســون
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Built and Ground Works Engineering
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 PK138+000 au PK150+000 avec l'aménagement et la conception de la gare de Hammaguir

Présenté par :

Hachid Imad Abdennour
Manallah Anis Abdelhamid

Encadré par :

Mr Khelifi Aissa
Mr Hamadi Kamel

Promotion 2023/2024

© ENSTP-FJ - Garidi – Vieux Kouba

Remerciements

Avant tout, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Dieu ToutPuissant pour nous avoir accordé la force, la sagesse et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous souhaitons également remercier de tout cœur nos parents respectifs pour leur soutien inconditionnel tout au long de notre vie. Leur amour, leurs encouragements et leurs sacrifices ont été les piliers sur lesquels nous avons pu nous appuyer pour atteindre cet objectif.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à notre encadrant, Monsieur AISSA KHELIFI, pour son encadrement précieux, ses conseils avisés et son soutien tout au long de ce projet. Son expertise et sa disponibilité ont été indispensables à la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions également notre Co-encadrant, Monsieur HAMADI, pour son aide précieuse et ses conseils pertinents, ainsi que tous nos professeurs qui nous ont bien formés et inspirés tout au long de notre parcours académique.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury qui ont accepté d'examiner attentivement notre travail de recherche et de l'enrichir par leurs propositions. Leur intérêt manifesté à l'égard de notre étude est une reconnaissance précieuse de nos efforts. Leurs commentaires et suggestions constructives ont grandement contribué à l'amélioration de notre projet.

Enfin, nous souhaitons adresser nos sincères remerciements à nos collègues pour leur soutien moral et émotionnel. Leur camaraderie et leurs encouragements ont été d'une grande aide et ont rendu cette expérience encore plus enrichissante

Dédicace

Je dédie ce mémoire à mes parents et mes frères, dont l'amour inconditionnel et le soutien constant m'ont porté tout au long de ce parcours académique. Leur confiance en moi a été une source inépuisable de motivation et de détermination.

À mes amis, pour leur soutien moral, leur compréhension et leur patience durant les moments de stress et de doute. Vos encouragements ont été essentiels pour maintenir ma motivation.

Enfin, à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'achèvement de ce travail. Merci de croire en moi et de me permettre de réaliser ce projet.

Anis

DEDICACE

A ma merveilleuse maman,tu es la lumière qui a guidé chacun de mes pas, la source infinie d'amour qui a rempli mon cœur de bonheur et de confiance. Chaque jour, tu as été là pour moi avec tes encouragements doux et tes conseils sages. Ta force et ta gentillesse sont un modèle pour moi, et ton soutien inconditionnel m'a permis de surmonter tous les défis.

À travers les hauts et les bas, tu as été mon roc, toujours prête à écouter, à consoler et à encourager. Tes sacrifices silencieux et ton dévouement sans faille sont une inspiration constante. Chaque réussite que je célèbre est aussi la tienne, car c'est grâce à toi que j'ai appris la valeur du travail acharné, de la persévérance et de la bonté.

Maman, tu es mon pilier, mon exemple de courage et de dévouement. Je ne pourrais jamais exprimer suffisamment ma gratitude pour tout ce que tu as fait et continues de faire pour moi. Ce rapport est aussi le tien, car chaque page est imprégnée de ton amour et de ton soutien indéfectible. Merci pour tout, maman. Je t'aime infiniment.

À mon père pour ses conseils avisés et ses sacrifices, à mes sœurs Sarah et Wassila, et mon frère Adel, qui sont ma source de joie et de force. À ma tante Amina, pour son soutien précieux durant tous mon parcours scolaire, et pour mon oncle Mehammed ma source de motivation. À mes amis Younes, Younes et Younes, Samain, Ryad, Belkis et Zineb, merci pour votre amitié et vos moments précieux partagés. Et à mon binôme Anis, qui m'a véritablement aidé dans ce mémoire avec sa générosité et son expertise. Vous avez tous enrichi cette expérience et je vous suis profondément reconnaissant.

Un remerciement spécial à Oussama, Akram, et Raouf, pour leur soutien et leurs conseils précieux tout au long de ce projet. Votre expertise et votre disponibilité ont été indispensables pour mener ce travail à bien.

À mes camarades Salim, Mehdi, Mouhamed, Rabah, et Belkacem, merci pour votre collaboration et votre camaraderie, je suis reconnaissant pour votre aide et votre soutien.

Cette dédicace est un témoignage de l'impact profond que chacun de vous a eu sur moi et de la reconnaissance que je ressens envers vous tous.

Imad

Résumé

Le présent mémoire porte sur une étude détaillée d'une section de voie ferrée dans le cadre du projet de la nouvelle ligne minière Ouest Bechar - Tindouf "Ghar Djebilet". La section étudiée s'étend du Pk 138+000 au Pk 150+000 et comprend la conception de la gare de Hamaguir.

Le projet a été élaboré suivant les normes internationales 'UIC' (Union Internationale des chemins de fer), et les recommandations Algériennes de la 'SNTF' (Société Nationale de Transport Ferroviaire).

La modélisation géométrique du projet a été exécutée à l'aide des logiciels : CIVIL 3D 2023. AUTOCAD 2019. GOOGLE EARTH PRO. SLIDE 6.0

Abstract

This project focuses on a detailed study of a railway section within the framework of the new mining line project West Bechar - Tindouf "Ghar Djebilet". The section studied extends from Km 138+000 to Km 150+000 and includes the design of the Hamaguir station.

The project was developed according to the international standards 'UIC' (International Union of Railways), and the Algerian recommendations of the 'SNTF' (National Railway Transport Company). The geometric modeling of the project was carried out using software: CIVIL 3D 2023. AUTOCAD 2019. GOOGLE EARTH PRO. SLIDE 6.0

ملخص

يتناول هذا البحث دراسة تفصيلية لقسم من السكة الحديدية في إطار مشروع خط ايمجنمل الجديد غرب بشار - تندوف "غار جبيلات ."القسم المدروس يمتد من النقطة الكيلومترية 138+000 إلى النقطة الكيلومترية 150+000 ويتضمن تصميم محطة حماقير. صمم هذا المشروع وفقا لمعايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية وبناءً على توصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية

تم تنفيذ النمذجة الهندسية للمشروع باستخدام برامج الهندسة النمذجية والحساب: CIVIL 3D 2022. SLIDE 6.0 .AUTOCAD 2022 .GOOGLE EARTH PRO

CHAPITRE I : Recherche bibliographique

I.1. Introduction : 3
I.2. Causes de l'ensablement : 4
I.2.1. Conditions naturelles des milieux désertiques : 4
I.2.2. Actions de l'homme : 4
I.2.3. Le vent et son action 4
I.3. Impacts de l'ensablement sur le trafic ferroviaire 5
I.3.1. Interruptions du trafic 5
I.3.2. Maintenance accrue 5
I.3.3. Usure accrue des équipements....5
I.3.4. Sécurité 5
I.4. Méthodes de lutte contre l'ensablement en générale : 5
I.4.1. Surveillance et maintenance régulières : 5
I.4.2. Utilisation de barrières physiques 5
I.4.3. Couverture de la ligne ferroviaire : 5
I.4.4. Végétalisation : 5
I.5. Étude de cas : Ligne Béchar - Gara Djebilet 6
I.5.1. L'arasement des dunes : 6
I.5.2. Fossés piège à sable : 6
I.5.3. Végétalisation : ....7 i. Choix des espèces d'arbres et d'arbuste : ....7 ii. Protection des zones végétalisées par des haies naturelles : 8
I.6. Perspectives et recommandations : 9
I.7. Évaluation des incidences financières allouées aux mesures de lutte contre l'ensablement : 9
I.8. Conclusion : 9

CHAPITRE II : Présentation de projet

II. Présentation de projet 10
II.1. Introduction 10
II.1.1. Présentation du site : 11
II.1.2. Situation géographique : 11

II.1.3. Relief et topographie : 12
II.1.4. Climat : 12
II.2. Caractéristique de la ligne projetée : ..... 13 **CHAPITRE III : Superstructure de la voie**
III. Superstructure de la voie : 15
III.1. Introduction : 15
III.2. Le rail : 15
III.2.1. Caractéristiques du rail : 15
III.2.2. Assemblage du rail : 16
III.3. Les traverses :..... 17
III.3.1. Traverse en bois : 17
III.3.2. Travers en béton : 17
III.4. Système d'attache : 17
III.5. Appareil de voie : 18
III.6. Appareille de dilatation : 19
CHAPITRE IV : Tracé en plan
IV. Tracé en plan : 20
IV.1. Définition : 20
IV.2. Règle et condition de tracé :..... 20
IV.3. Les éléments de tracé en plan : 20
IV.4. Justification des courbes de raccordement : ..... 21 i. Vitesse de référence : 21
IV.5. Les caractéristiques géométriques du tracé : 22
IV.3.1. Les devers 22
IV.3.2. L'insuffisance de devers « I » 23
IV.3.3. Excès de dévers : 23
IV.3.4. Variation de dévers : 24
IV.3.5. Variation de dévers dans les courbes de transition Δd/Δl : 24
IV.3.6. Variation de dévers par rapport aux temps dd/dt :..... 24
IV.3.7. La variation de l'insuffisance par rapport au temps ΔI/Δt: 25
IV.6. Les doucines :..... 26
IV.6.1. Les longueurs minimales des éléments de tracé : 26

IV.6.2. Longueurs de courbes de raccordement : 26
IV.6.3. Détermination de rayon minimale (R min) : 27
IV.7. Application sur notre projet : 27
IV.7.1. Détails de la Nouvelle Méthode : 27
IV.7.2. Raisons du Changement : 28
IV.7.3. Exemple des différentes étapes de calcule pour R=2300m : 28
IV.8. Conclusion : 29

CHAPITRE V : Profil en long

V. Profil en long : 30
V.1. Introduction : 30
V.2. Définition : 30
V.2.1. Profil en long du terrain naturel : 30
V.2.2. Profil en long du projet : 30
V.2.3. Déclivité : 30
V.3. Eléments de profil en long : 30
V.3.1. Les alignements droits : 30
V.3.2. Choix des cercles : 31
V.4. Application au projet :..... 32
V.5. Conclusion : 33
VI. Etude des contrainte : 34

CHAPITRE VI : Etude des contraintes

VI.1. Introduction : 34
VI.2. Les contraintes : 34
VI.2.1. La conduite de gaz :..... 34
VI.2.2. Contraintes hydrauliques : 34
VI.2.3. Routes et piste : 34
VI.2.4. Lignes électriques : 35
VI.2.5. Ouvrage d'art prévue : 36

CHAPITRE VII : Etude hydrologique et hydraulique

VII. Etude hydrologique et hydraulique 37
VII.1. Introduction : 37
VII.2. Situation du projet 37

VII.3. Etude hydraulique : 38
VII.3.1. Bassin hydrographie de la zone d'étude : 38
VII.3.2. Caractéristiques morphologiques des bassins versants : 38
VII.4. Calcul hydraulique : 39
VII.4.1. Pluies journalières maximales :..... 39
VII.4.2. Pluies de courtes durées : 40
VII.4.3. Temps de concentration : 40
VII.4.4. Calcul de l'intensité de pluie : 41
VII.5. Calcul du débit maximal dans les bassins :..... 42
VII.5.1. La méthode rationnelle (A≤10 km²) : 42
VII.5.2. La méthode de Crupédix (A≥ 50 km²) : 42
VII.5.3. La méthode de transition (10≤ A ≤ 50 km²) : 43
VII.5.4. Résultats de calcul des débits par les 2 méthode : 43
i. Méthode Rationnelle : ..... 43 ii. Méthode crupédix : ..... 44 iii. La formule de transition : 44
VII.5.5. Application sur le projet : 44
VII.6. Étude hydraulique : 45
VII.6.1. Estimation des débits de saturation des ouvrage hydrauliques : 45
VII.6.2. Dimensionnement des ouvrages de drainage transversaux : 45
i. Dimensionnements des buses : ..... 45 ii. Dimensionnement des dalots : 47
VII.6.3. Dimensionnement des ouvrages de drainage LONGITUDINAUX :..... 48
i. Dimensionnement des fossés : 48
VII. Conclusion 49

CHAPITRE VIII : Géologique et géotechnique

VIII. GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE 50
VIII.1. INTRODUCTION : 50
VIII.2. ETUDE GEOLOGIQUES : 50

VIII.2.1. Situation géographique : 50
VIII.2.2. Sismicité : 51
VIII.2.3. Contraintes géologiques : ..... 52 i. Inondation ..... 52 ii. Ensablement : ..... 52 VIII.3. ÉTUDE GEOTECHNIQUE : 52
VIII.3.1. Programme d'investigation géotechnique : 53
VIII.3.2. Puits de reconnaissance : 53
VIII.3.3. Pénétromètre dynamique : 54
VIII.3.4. Sondage carotté et pressiométriques : 54
VIII.3.5. Pénétromètre dynamique : 55
VIII.3.6. Essais au laboratoire : ..... 56 i. Essai physique : ..... 56 ii. Essai mécanique : ..... 56 VIII.3.7. INTERPRETATION DES RESULTATS : 57
i. Puits de reconnaissance : .....57 ii. Classification du sol support selon l'UIC719R :..... 57
VIII.4. Conclusion : 58
CHAPITRE IX : Assise ferroviaire
IX. Assise ferroviaire : 59
IX.1. Introduction : 59
IX.2. Couche de ballast : 59
IX.2.1. Rôle : 59
IX.2.2. Caractéristiques de ballast : 59
IX.2.3. Les inconvénients : 60
IX.3. Sous -couche : 60
IX.3.1. Rôle de sous-couche : 60
IX.3.2. Exigence technique : 60
IX.3.3. Sous-ballast : 60

IX.3.4. La couche de fondation : 60
IX.4. La plateforme : 61
IX.4.1. Classification des sols pour la plateforme : 61
IX.4.2. Classification des plateformes : 61
IX.5. Dimensionnement des couches d'assise : 62
IX.5.1. Application au notre projet : 63
IX.6. Conclusion : 64

CHAPITRE X : Profil en travers

X. Profil en travers : 65
X.1. Introduction : 65
X.2. Profil en travers types : 65
X.3. Profil en travers courant : 65
X.4. Les éléments de profil en travers : 66
X.5. Profil type de notre projet : 66
X.5.1. Pleine voie : 66
X.5.2. La gare de Hammaguir : 66

CHAPITRE XI : Terrassement

XI. Terrassement : 67
XI.1. Introduction : 67
XI.2. Règles et objectifs : 67
XI.3. Remblais : 67
XI.4. Déblai..... .67
XI.5. Etude de stabilité : 67
XI.3.1. Vérification de la stabilité des déblais et remblais (logiciel slide 6.0) : 68
i. Zone de remblai : (cas le plus défavorable)

..... 68 ii. Zone de déblai : 69
XI.6. Calcule des volumes des terrassements : 70
XI.7. Franchissement d'écoulement d'eau : 71
XI.7.1. Les ouvrages hydrauliques : 71

CHAPITRE XII : Conception de la gare HEMMAGUIR

XII. CONCEPTION DE LA GARE HEMAGUIR 71
XII.1. INTRODUCTION : 71
XII.2. LES DIFFERENTE TYPE DES GARES :..... 71
XII.2.1. Gare Voyageurs : 71
XII.2.2. Gare Marchandises : 71
XII.2.3. Gare Mixte : 71
XII.2.4. Gare de Croisement : 71
XII.3. INSTALLATIONS DE BASE D'UNE GARE : 71
XII.4. AMENAGEMENT DE LA GARE : 72
XII.4.1. Installations d'une gare a voyageur : 72
i. Les bâtiments à voyageurs (B.V) : ..... 72 ii. Les bâtiments à usages divers (B.U.D) : ..... 72 iii. Quais : ..... 72 iv. Auvents et abris : 72
v. Abords : ..... 72 vi. Passages sous terrain et les passerelles : ..... 72 vii. Heurtoir 72
viii. Parking pour stationnement des véhicules : ..... 73 XII.4.2. Installations de la gare marchandise :..... 73 i. Un BS (bâtiment de service) : ..... 73 ii. Des cours de débord : ..... 73 iii.

Quais de débord : ..... 73 iv.
Halle de stockage : 73
XII.5. MARGE DE GLISSEMENT A L'AVAL DES SIGNAUX : 73
XII.5.1. Définition de la marge de glissement : 73
XII.5.2. Longueurs de la marge de glissement : 73
XII.6. Appareils de Voie : 74
XII.6.1. Choix des appareils de voie : 74
XII.6.2. IMPLENTATION DES APPAREIL DE VOIS : 74
XII.7. Garage franc : 75
XII.8. LES HEURTOIRS : 76
XII.9. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES GARES : 76
XII.9.1. La longueur utile d'une voie de stationnement : 76
XII.5.3. Déclivité dans les gares : 77
XII.5.4. Dimensionnement de quai : 77
XII.10. Les longueurs utiles : 78
XII.11. Passerelle supérieure : 78
CHAPITRE XIII : Assainissement dans la gare
XIII. ASSAINISSEMENT DE LA GARE 79
XIII.1. Introduction : 79
XIII.2. Assainissement Transversal 79
XIII.2.1. Définition 79
XIII.3. Assainissement Longitudinal 79
XIII.3.1. Définition : 79
XIII.3.2. Disposition des drains : 79
XIII.3.3. Évacuation vers le réseau d'assainissement 79
XIII.4. Dimensionnement de drainage longitudinale et transversale : 79
XIII.4.1. Les caractéristiques des drains : 80
i. Drains longitudinaux ..... 80 ii. Drain transversale ..... 81 iii.

Calcule des débites affluentes au système de drainage longitudinal : ..... 82 XIII.4.2. Dimensionnement des drains : 82
XIII.4.3. Dimensions des buses 85
XIII.4.4. Dimensionnement des fossés : 85
XIII.4.5. Dimensionnement des avaloires :..... 87
XIII.4.6. Dimensionnement de collecteur : 87
XIII.5. Bassin de décantation : 87
XIII.5.1. Importance du Bassin de Décantation : 88
XIII.5.2. Localisation : 88
XIII.5.3. Conception : 88
XIII.6. Conclusion : 88
CHAPITRE XIV : Signalisation ferroviaire
XIV. Signalisation ferroviaire..... 89
XIV.1. Introduction : 89
XIV.2. Evolution des systèmes de signalisation 89
XIV.3. Objectif de la signalisation : 89
XIV.4. Différentes fonctions des signaux : 89
XIV.5. Implantation des signaux 89
XIV.6. Les différents types de blocks : 90
XIV.7. Système de contrôle et de protection ERTMS : 90
XIV.8. Application au projet : 90
CHAPITRE XV : Impacte sue l'environnement
XV. Impact sur l'environnement..... 91
XV.1. INTRODUCTION : 91
XV.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT : 91

XV.3. ANALYSE DE L'ETAT INITIAL :..... 91
XV.3.1. Milieu naturel : 91
XV.3.2. Milieu biologique 92
XV.3.3. Milieu humain : 92
XV.3.4. Activité économique :..... 92
XV.4. Les mesures envisagées pour supprimer, réduire ou compenser les conséquences dommageables des différentes phases du projet :..... 94
XV.5. Conclusion : 94
CHAPITRE XVI : Planification
XVI. PLANIFICATION : 95
XVI.2. Définition de la planification : 95
XVI.3. Diagramme de Gantt 95
CHAPITRE XVII : Devis quantitatif et estimatif
XVII. DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF 96
CHAPITRE XVIII: Modélisation de la ligne en BIM
XVIII. Modélisation de la ligne en BIM 99
XVIII.1. Introduction : 99
XVIII.2. Modélisation de la voie : 100

Liste des Figures

Figure I - 1: Problème d'ensablement. 3
Figure I - 2:La rose des vents 4
Figure I - 3:Fossé piège à sable.....6
Figure I - 4:Coupe transversale de fossé trapézoïdale.....7
Figure I - 5:Végétalisation 7
Figure I - 6: Disposition schématique de la plantation des arbres 8
Figure I - 7:Hai naturelle 8

Figure II - 1:Représentation de la zone de projet 10
Figure II - 2:Situation géographique de la zone de projet 11
Figure II - 3:Relief de la zone de BECHAR 12
Figure II - 4:Les altitudes de la zone de projet 12
Figure II - 5:Diagramme ombrothermique 13

Figure III - 1:Les composante du rail 15
Figure III - 2:Dimension de rail UIC60 15
Figure III - 3:Traverse Bi-bloc 17
Figure III - 4:Traverse monobloc 17
Figure III - 5: Système d'attache élastique 18
Figure III - 6:Schéma représentative de l'ADV 18
Figure III - 7:Grandeurs des éléments da ADV 19
Figure III - 8:Appareille de dilatation 19

Figure IV - 1:Les élément de tracé en plan 20

Figure VI - 1:Oued Djefajef 34
Figure VI - 2:Passage supérieur 35
Figure VI - 3:Passage inferieur 35

Figure VII -. 1:La section du PK138+00 au PK150+00 37
Figure VII -. 2:Carte des sous bassins du Sahara algérienne 38
Figure VII -. 3:La délimitation des bassins versant de la zone d'étude sur la carte d'état-major 39
Figure VII -. 4:Fossé de forme trapézoïdale 48

Figure VIII - 1:Carte géologique de la zone d'étude 50
Figure VIII - 2:Carte de zonage sismique de l'Algérie (RPOA,2008) 51
Figure VIII - 3:Sable piégé dans le réseau hydrographique entre le PK 140+00 et PK142+00 52
Figure IX - 1: Structure d'assise ferrière 63

Figure X - 1:Profil en travers type 65

Figure XI- 1:Vérification de stabilité cas remblai 69

Figure XII - 1:Paramètre d'implantation des ADV 74
Figure XII - 2:Signalisation des garage francs 75
Figure XII - 3:GF Théorique 75
Figure XII - 4:Schéma illustratif de garage franc 76
Figure XII - 5:Les heurtoir de sécurités 76
Figure XII - 6:La longueur utile d'une voie de stationnement 77
Figure XII - 7:Schema illustrative de passerelle supérieur 78

Figure XIII - 1:Exemple d'un drain perforé en RVC 85

Figure XVIII - 1: Rétablissement routière trémie 100
Figure XVIII - 2: Rétablissement routière passage supérieur 100
Figure XVIII - 3: Modélisation de la gare avec 4 voie et 2 quais 101
Figure XVIII - 4: Modélisation de la gare HEMMAGUIR en respectant le plan (quais, bâtiment) 101
Figure XVIII - 5: Modélisation d 'un ouvrage hydraulique dalot 3x2..... 102

Liste des Tableaux

Tableau I - 1:Évaluation des mesures financières aux mesures de lutte contre l'ensablement. 9

Tableau II - 1: Caractéristique de la ligne 13

Tableau III - 1: Les caractéristique du rail 16
Tableau III - 2:Grandeurs des diffèrent élément de l'ADV 18

Tableau IV - 1: Les valeurs de la courbe 21
Tableau IV - 2: Condition d'obligation de l'ajout des RP 21
Tableau IV - 3: Vitesse que le maitre d'ouvrage exige dans notre projet..... 21
Tableau IV - 4:Les valeurs maximale admissible de l'insuffisance selon l'SNTF 23
Tableau IV - 5: Valeurs maximale admissible de l'excès selon SNTF 24
Tableau IV - 6: Limite de la variation de devers par rapport a la longeur 24
Tableau IV - 7: Limite de variation de devers pa rapport au temps..... 25
Tableau IV - 8: Limite de variation de l'insuffisance par rapport au temps 25
Tableau IV - 9:Les longueurs minimales du RP, entre milieu de doucines .....
26 **Tableau IV - 10:Les valeurs minimales du RP, entre milieu de doucines** .....
26 **Tableau IV - 11:Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes** .....
26 **Tableau IV - 12:Les longueurs minimales des alignements et pleines courbes sans Rp** ... 26
Tableau IV - 13:récapitulatif de tous les paramètres géométriques de tracé de notre projet 29

Tableau V - 1: Limite déclivité maximale 30
Tableau V - 2: Valeurs de la longueur minimale des éléments 31
Tableau V - 3: Limite des pentes dans notre projet 31
Tableau V - 4: Les valeurs de rayon minimale selon SNTF 32
Tableau V - 5: Récapitulatif des paramètres de profil 32

Tableau VI - 1: les déférentes routes traverser par notre trace 34
Tableau VI - 2: les PK des lignes électriques 35

Tableau VI - 3: Les PK des ouvrages fréquenté 36

Tableau VII - 1: Caractéristiques des bassins versant 39
Tableau VII - 2:Pluies journalières maximales fréquentielles 40
Tableau VII - 3: Désignation des coefficients de ruissellement 41
Tableau VII - 4: Variable Gumbel 43
Tableau VII - 5: Calcul des débits par la méthode rationnelle..... 43
Tableau VII - 6: Calcul des débits par la méthode crupédix 44
Tableau VII - 7: Calcul des débits par la méthode la formule de transition 44
Tableau VII - 8: Dimensionnement des buses 46
Tableau VII - 9:Dimensionnement des dalots 48
Tableau VII - 10:Calcul des débits à évacuer de déblai..... 49
Tableau VII - 11:Calcul des débits à évacuer de remblai 49
Tableau VII - 12:Calcul de débit de saturation des fossés en fonction de leurs dimensions 49

Tableau VIII - 1:Zones à risque d'inondation 52
Tableau VIII - 2:programme d'investigation..... 53
Tableau VIII - 3:coupes lithologiques des puits de reconnaissance 53
Tableau VIII - 4: Résumé des résultats de l'essai du pénétromètre dynamique...... 54
Tableau VIII - 5: Lithologie des différentes couches 54
Tableau VIII - 6: Les échantillons prélevés par les essais physique 56
Tableau VIII - 7:Les échantillons prélevés par les essais mécanique 57
Tableau VIII - 8: Les résultats fournie par le laboratoire 57
Tableau VIII - 9: La classification du sol selon l'UIC 58

Tableau IX - 1: Les classes de qualité des sols: 61
Tableau IX - 2: Classification des plateformes 62
Tableau IX - 3:Les couches d'assise de voie 64

Tableau XI - 1:Cas plus défavorable de remblais 67
Tableau XI - 2: Cas plus défavorable de Déblai 67
Tableau XI - 3: Les paramètres de essaie cisaillement cas remblai 68
Tableau XI - 4: Les paramètres de essaie cisaillement cas déblai 69
Tableau XI - 5: Quantités remblai et déblai 70
Tableau XI - 6:Les volumes des matériaux terrassés 70

Tableau XII - 1:Caractéristiques des appareils de voie utilisé dans notre projet .....
75 **Tableau XII - 2: Les longueurs des garages franc** .....
76 **Tableau XII - 3:Dimensionnement de quai** .....
78

Tableau XIII - 1: Les caractéristiques des drains BV 1 80
Tableau XIII - 2: Les caractéristiques des drains BV 2 80
Tableau XIII - 3: Les caractéristiques des drains BV 3 81
Tableau XIII - 4: Les caractéristiques des drains BV 4 81
Tableau XIII - 5: Les caractéristiques des Buses 81
Tableau XIII - 6: Dimensionnement des drains BV1 83
Tableau XIII - 7: Dimensionnement des drains BV 2 83
Tableau XIII - 8: Dimensionnement des drains BV 3 84
Tableau XIII - 9: Dimensionnement des drains BV 4 84
Tableau XIII - 10: Dimensionnement des buses transversaux 85
Tableau XIII - 11: Caractéristiques des débits à évacuer de déblai (cas le plus défavorable) 86
Tableau XIII - 12: Les dimensions des fossés 87
Tableau XIII - 13: Dimensionnement des avaloires 87
Tableau XIII - 14: Dimensionnement de collecteur 87

Tableau XV - 1: résumé des impacts environnementaux du projet 93

Tableau XVIII - 1: Devis quantitatif et estimatif 96

Introduction générale

La réalisation de projets ferroviaires est essentielle pour le développement économique et industriel d'une nation, en particulier lorsqu'il s'agit d'exploiter des ressources naturelles stratégiques. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre Projet de Fin d'Études (PFE), qui porte sur la conception et l'étude approfondie de la ligne ferroviaire destinée à exploiter la mine de Ghar Jebilet. Cette mine, riche en fer, représente une ressource précieuse pour l'industrie sidérurgique algérienne et nécessite une infrastructure de transport robuste et efficace pour son exploitation.

Notre projet couvre le tronçon de la ligne ferroviaire allant du PK 138+000 au PK 150+000, ainsi que la conception de la gare de Hammaguir. Ce travail inclut l'Avant-Projet Détaillé (APD) ainsi que l'étude et la conception détaillée de cette section de la ligne, en passant par différents chapitres importants qui structurent notre démarche.

Chapitre I : recherche bibliographique sur l'ensablement

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

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

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

Chapitre VI : Etude des contraintes

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

Chapitre VIII : GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE, elle permet de comprendre la nature des sols et des roches sur lesquels la voie ferrée sera construite et de prendre en compte les contraintes géotechniques pour déterminer les choix techniques et les coûts associés

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

Chapitre X : Profil en travers types appliqués au projet.

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

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

Chapitre XIII : ASSAINISSEMENT DANS LA GARE DE HAMAGUIR

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

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

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

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

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

Finalisant notre travail avec une conclusion générale qui permet de résumer les résultats du projet

Chapitre I Recherches bibliographique

Chapitre I : Recherche bibliographique I.1.1.

Introduction :

Le Sahara algérien est recouvert d'impressionnants et gigantesques dépôts de sable. Touchant actuellement environ 1 333 775 km², soit 56% de la superficie totale de l'Algérie. Par conséquent l'ensablement et désertification constitue des manifestations les plus spectaculaires dans le Sahara algérien.

La mobilisation par le vent de cet important stock de sable constitue une menace sérieuse pour les infrastructures de développement dans les régions arides et semi-arides, comme la région de Béchar. L'impact de ce risque majeur se manifeste par la progression rapide de deux phénomènes : la désertification et l'ensablement, qui compromettent tout développement économique. Plusieurs infrastructures, y compris la ligne ferroviaire Béchar - Gara Djebilet, sont perpétuellement menacées par les dunes mobiles et les tempêtes de sable, perturbant ainsi le fonctionnement régulier du transport ferroviaire.

La problématique d'ensablement constitue un défi majeur auquel l'état algérien fait face depuis des dizaines d'années et comporte d'une dimension prioritaire dans le cadre du développement des régions arides et semi-arides du pays. Il s'agit d'identifier les techniques les plus efficaces et proposer des solutions fiables et moins couteuses en allouant d'importants moyens financiers pour l'exécution de différents programmes pour lutter contre ce phénomène



Figure I - 1: Problème d'ensablement.

I.1.2. Causes de l'ensablement :

i. Conditions naturelles des milieux désertiques :

Les régions affectées par l'ensablement, généralement situées dans les étages bioclimatiques arides et sahariens, se caractérisent par des précipitations faibles et irrégulières, des températures élevées avec de grandes amplitudes thermiques, des vents violents et fréquents, des sols squelettiques composés de roche friable facilement érodable (sauf dans les oasis et les aires de culture), des paysages de formations montagneuses dénudées et fortement érodées entrecoupées de vastes étendues de regs et de plaines d'épandage fluvial, et une végétation rare et discontinue principalement concentrée le long des cours d'eau, insuffisante pour protéger le sol contre l'érosion éolienne

ii. Actions de l'homme :

La fragilité des milieux naturels, combinée à leur faible potentiel de production et aux besoins croissants d'une population nombreuse, a conduit à une mauvaise utilisation des ressources naturelles. Les conséquences les plus néfastes de ces pratiques incluent l'exploitation abusive de la végétation, qui empêche la régénération naturelle et épuise les réserves semencières, le surpâturage, et le défrichement des steppes pour l'extension de la céréaliculture.

iii. Le vent et son action

Le vent, une masse d'air en mouvement horizontal allant des hautes aux basses pressions, devient efficace pour soulever et transporter les particules du sol à des vitesses comprises entre 4 et 6 m/s, distinguant ainsi les vents dominants, généralement inoffensifs, des vents dangereux qui, bien que moins fréquents, érodent le sol et causent des ensablements menaçants. En tant qu'agent érosif, le vent dessèche le sol, éparpille les particules sableuses, corrode roches et végétation, et déchausse les plantes. Comme agent de transport, il déplace les grains de sable par saltation (sauts), reptation (roulement), et suspension (transport aérien de particules fines). Lorsqu'il transporte du sable en masse, le vent provoque des avalanches sur les dunes, entraînant des ensablements majeurs. En formant des dunes, le vent s'appuie sur des obstacles naturels ou artificiels, dont l'efficacité dépend de la hauteur, perméabilité, flexibilité, résistance, rugosité et pente, qui ralentissent le vent et piègent le sable transporté

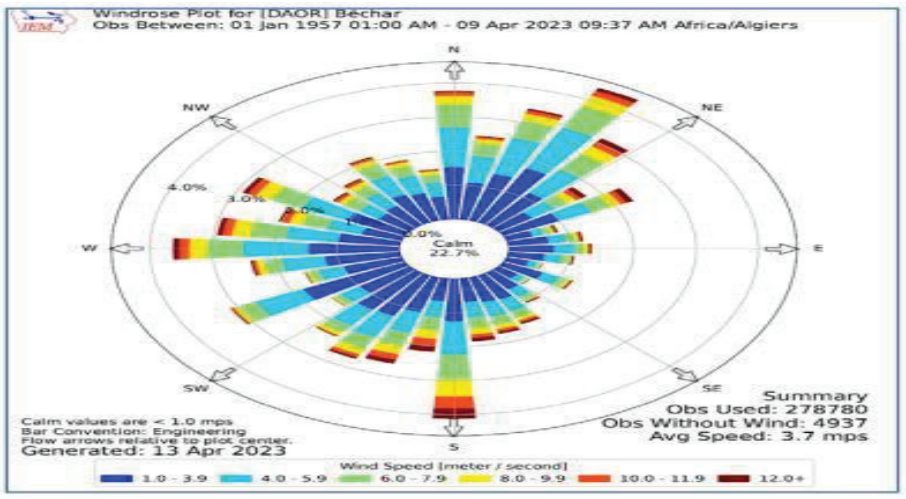


Figure I - 2:La rose des vents

I.1.3. Impacts de l'ensablement sur le trafic ferroviaire

i. Interruptions du trafic

L'accumulation de sable sur les voies ferrées empêche la circulation normale des trains, entraînant des interruptions, des retards significatifs et parfois l'annulation de services.

ii. Maintenance accrue

L'ensablement exige une maintenance régulière, nécessitant des opérations fréquentes de dégagement du sable, ce qui augmente les coûts d'exploitation et ralentit les opérations ferroviaires.

iii. Usure accrue des équipements

Le sable accumulé provoque une usure prématurée des rails, traverses et aiguillages, nécessitant des réparations fréquentes et réduisant la durée de vie des infrastructures ferroviaires.

iv. Sécurité

L'ensablement peut rendre les voies glissantes, augmentant le risque de déraillement, et réduire la visibilité lors des tempêtes de sable, compliquant la détection des obstacles et augmentant les risques pour les passagers et le personnel.

I.1.4. Méthodes de lutte contre l'ensablement en générale :

i. Surveillance et maintenance régulières :

Une solution de base consiste à mettre en place un programme de surveillance et de maintenance régulière de la ligne ferroviaire. Cela impliquerait l'inspection fréquente de la voie ferrée et le dégagement manuel du sable accumulé. Cette approche nécessiterait un personnel dédié et des ressources suffisantes, mais pourrait être un moyen efficace de gérer l'ensablement à court terme.

ii. Utilisation de barrières physiques

Certains produits chimiques peuvent être utilisés pour stabiliser le sable et prévenir son ensablement. Par exemple, l'utilisation de polymères spéciaux peut agglomérer les particules de sable, réduisant ainsi leur mobilité et leur capacité à se déposer sur les voies ferrées. Cependant, l'utilisation de produits chimiques soulève des questions environnementales et nécessite une évaluation approfondie de leur impact avant d'être mise en œuvre.

iii. Couverture de la ligne ferroviaire :

Une solution plus radicale serait de couvrir la ligne ferroviaire avec des structures qui protègent les voies du sable. Cela pourrait être réalisé en utilisant des tunnels ou des structures similaires qui empêchent le sable de s'accumuler sur les voies. Cependant, cette solution serait coûteuse et nécessiterait des travaux de construction importants.

iv. Végétalisation :

La végétalisation, par la plantation d'espèces adaptées le long des voies ferrées, peut stabiliser le sol et réduire l'ensablement en retenant le sable avec leurs racines et en diminuant la vitesse du vent. Cependant, elle nécessite du temps pour être efficace et doit être accompagnée d'une gestion régulière pour maintenir son impact à long terme.

I.1.5. Étude de cas : Ligne Béchar - Gara Djebilet

Il est important de prendre en compte plusieurs facteurs lors de l'évaluation de ces solutions, notamment leur faisabilité technique, leur coût, leur impact environnemental, leur durabilité et leur efficacité à long terme. Une approche intégrée qui combine plusieurs solutions pourrait être nécessaire pour résoudre efficacement le problème de l'ensablement de la ligne ferroviaire Bechar - Gara Djebilet La solution proposée combine des techniques mécanique et d'autres biologiques :

i. L'arasement des dunes :

L'arasement des dunes situées à proximité de la voie ferrée représente une solution technique efficace pour atténuer les problèmes d'ensablement sur la voie. Ces dunes jouent un rôle majeur en tant que réservoirs de sable, contribuant ainsi à l'ensablement de la voie ferrée. En procédant à leur arasement, nous réduisons significativement la source d'approvisionnement en sable qui peut être transporté vers la voie ferrée. **ii. Fossés piège à sable :**

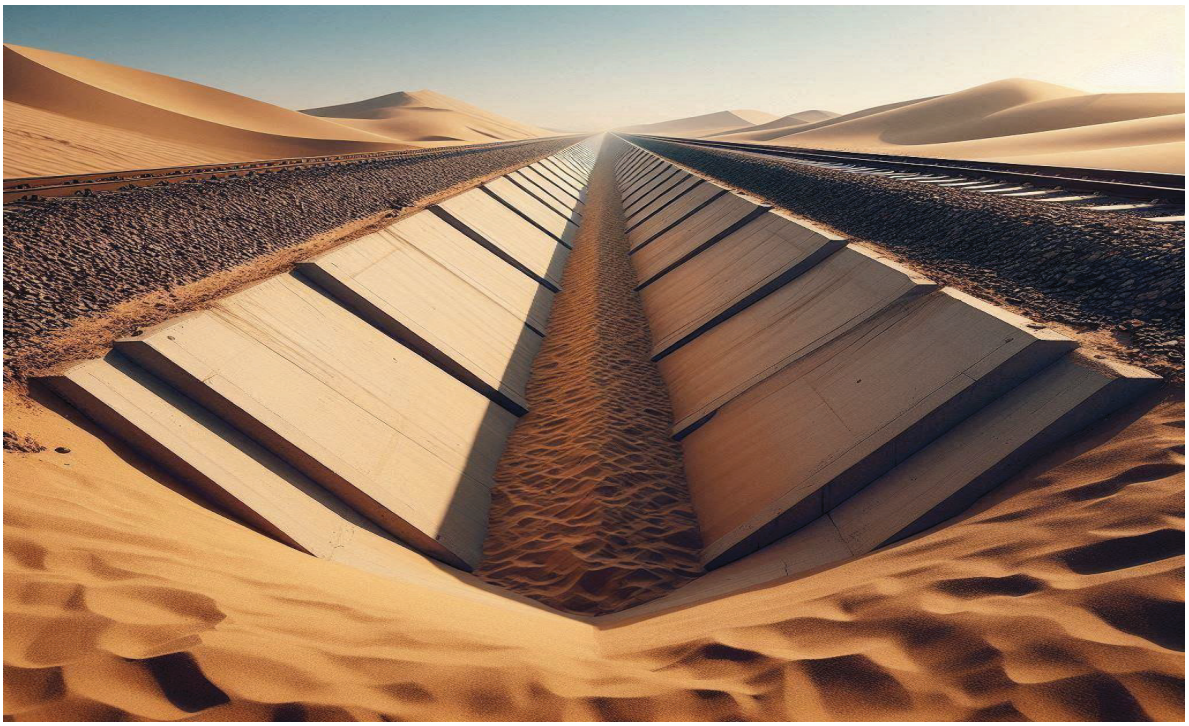


Figure I - 3:Fossé piège à sable

Les fossés piège à sable sont des excavations en parallèle a la voie ferrée qui sont conçus pour capturer et retenir le sable transporté par le vent, de manière à permettre la sédimentation de sable tandis que l'eau peut s'écouler et s'infiltrer librement.

Ces fossés sont conçus de 4 mètres de largeur et de 3 mètres de profondeur et doive être creusé à dix mètre de part et d'autre de l'axe de la voie projetée.

Le profil de fossés piège à sable peut varier en plusieurs forme en fonction de la nature de sol de site d'implantation et des besoin spécifique, les profils courant utiliser sont de forma trapézoïdale, en V et en U ou rectangulaire.

La figure suivante montre une coupe transversale d'un exemple de fossé trapézoïdale.

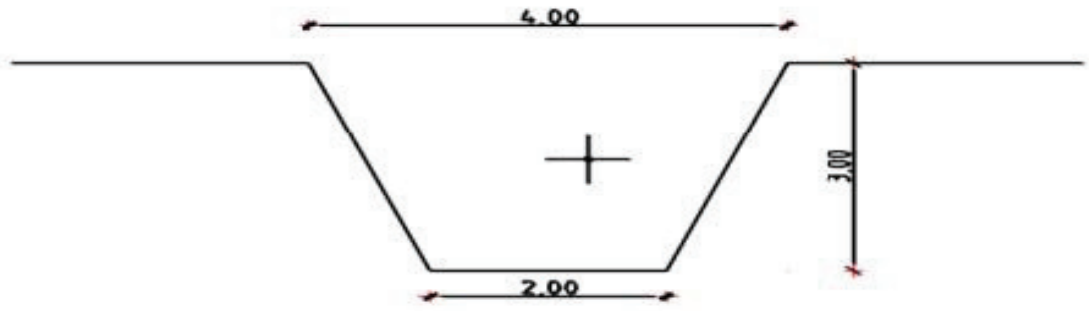


Figure I - 4:Coupe transversale de fossé trapézoïdale

iii. Végétalisation :



Figure I - 5:Végétalisation

iv. Choix des espèces d'arbres et d'arbuste :

il est important de choisir des arbres et arbustes adaptés à la région, capables de résister aux conditions arides et au manque d'eau, au vent et au sol salé, sans nécessiter d'irrigation supplémentaire.

Voici deux espèces d'arbres et d'arbustes adaptées pour notre projet : **Tamarix et d'Acacia.**

Ces plantes, adaptées à la sécheresse, grâce à leurs systèmes racinaires profonds et étendus, mécanismes de résistance à la sécheresse, et capacité à stabiliser les sols en retenant le sable et formant des barrières naturelles contre le vent, favorisant ainsi la sédimentation et la formation de sols plus fertiles.

L'implantation des arbres s'effectue en 3 ligne parallèle avec un espacement entre les arbres égale à 4 mètres

Voici la représentation schématique de la plantation des arbres.

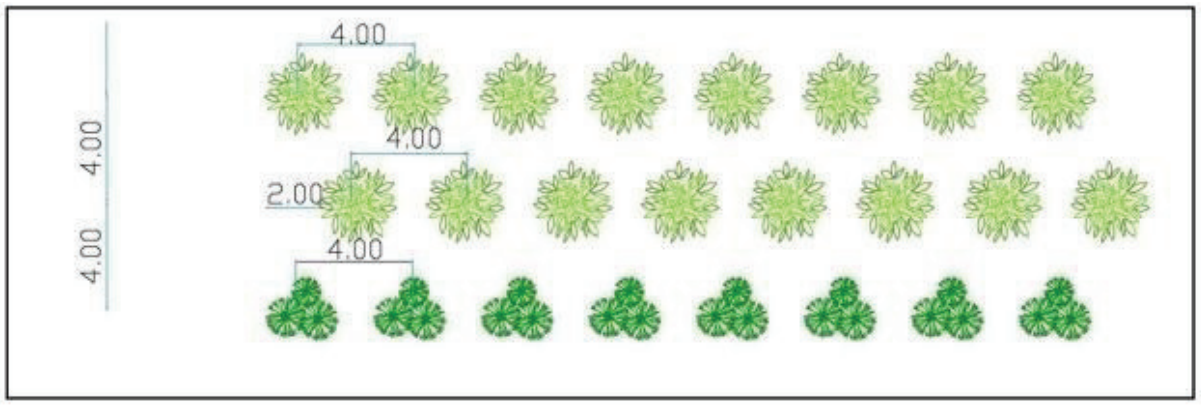


Figure I - 6: Disposition schématique de la plantation des arbres

v. Protection des zones végétalisées par des haies naturelles :

Une haie naturelle, composée de feuilles de palmier ou de branchages d'arbres et de piquet en bois, est utilisée pour protéger les plantations « les arbres et arbustes » nouvellement plantés, en créant une barrière physique contre les vents forts et les dépôts de sable tout en améliorant l'apparence des zones environnantes. la haie doit présenter les caractéristiques suivantes :

- Être perméable au vent afin de ralentir la vitesse du vent et de favoriser le dépôt du sable sans provoquer de tourbillons.
- Avoir une hauteur comprise entre 1 mètre et 1,20 mètre : Une hauteur supérieure ne serait pas rentable, car la majeure partie du sable déplacé par le vent se trouve dans les 30 premiers centimètres au-dessus de la surface du sol.

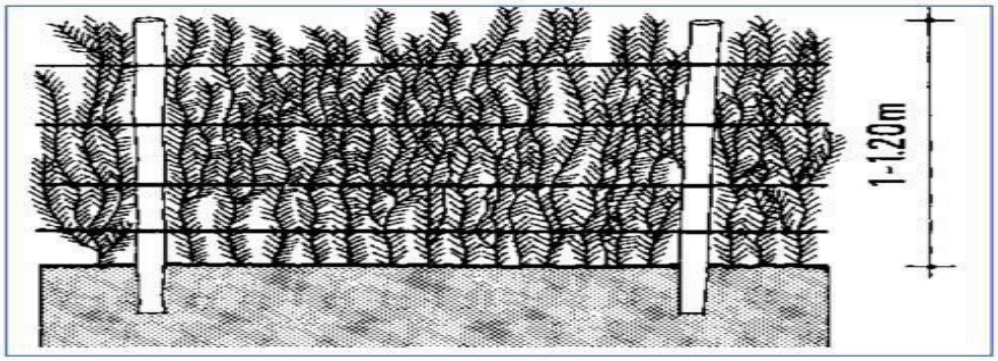


Figure I - 7:Hai naturelle

I.1.6. Perspectives et recommandations :

- Nettoyage régulier des voies ferrées : Les voies ferrées doivent être nettoyées régulièrement pour éliminer les débris, la végétation et le sable qui peuvent s'accumuler sur la voie.
- Utilisation de brosses de nettoyage : Des brosses spéciales peuvent être utilisées pour nettoyer les rails et les traverses de chemin de fer afin d'éliminer les débris et le sable.

- Surveillance régulière : La voie ferrée doit être surveillés régulièrement pour détecter tout problème d'ensablement ou de débris
- Les mesures de conservation des sols : Les mesures de conservation des sols, telles que la construction de terrasses, les barrières végétales, les digues, les bassins de rétention et les systèmes de drainage, peuvent aider à réduire l'ensablement en ralentissant le ruissellement de l'eau et en piégeant.

I.1.7. Évaluation des incidences financières allouées aux mesures de lutte contre l'ensablement :

Voici une évaluation des incidences financières allouées aux mesures de lutte contre l'ensablement

Tableau I - 1:Évaluation des mesures financières aux mesures de lutte contre l'ensablement.

Spécification	Unité	Quantité	Prix unitaire	Coût unitaire DA
Végétalisation	U	311 037,00	570,00	177 291 090,00
Haies naturelles	ML	6 314,00	400,00	2 525 600,00
Arasement des dunes	M3	27 380,37	800,00	21 904 296,00
Fossé piège à sable	ML	44190	250,00	11 047 500,00
Total				212 768 486,00

I.1.8. Conclusion :

En tenant compte des caractéristiques spécifiques de la région et tous les inconvénients, nous avons pu déterminer les méthodes les plus efficaces pour lutter contre l'ensablement, Bien que ces mesures nécessitent des ressources financières, elles assureront une infrastructure ferroviaire plus fiable et durable.

Chapitre II
Présentation du projet

II. Présentation de projet

II.1.1. Introduction

Le présent rapport porte sur un projet ferroviaire d'envergure, visant à établir une ligne minière stratégique de **950 kilomètres** reliant les wilayas de **BECHAR**, **TINDOUF** et **GHAR DJBILET** en Algérie. L'objectif principal de ce projet est d'optimiser le transport des matériaux, notamment du " Fer ", extrait de la mine située à **GHAR DJBILET**, afin de répondre aux besoins de l'exploitation minière de l'Algérie.

Un aspect remarquable de ce projet est sa capacité à accueillir des trains d'une longueur impressionnante de **2,2 kilomètres**. Cette caractéristique en fait le **deuxième plus long train de marchandises au monde** a une charge d'essieu égale a **32.5 tonnes**, avec 170 wagon et 4 locomotives, démontrant ainsi son ampleur et son innovation dans le domaine du transport ferroviaire.

La ligne « **BECHAR – TINDOUF – GHAR DJBILET** » est un linéaire en voie unique pour un trafic mixte à une vitesse maximale de **160 km/h** pour les trains de voyageurs et de **75 km/h** pour les trains de marchandises, il se décompose en 3 sections

- **Section 1 :** Bechar – Hammaguir (200 km)
- **Section 2 :** Tindouf – Oum Laassel (175 km)
- **Section 3 :** Hammaguir - Oum Laassel (440 km) / Tindouf – Ghar Djebilet (135 km)

L'objectif de réalisation de ce méga projet est le transport à long terme 50 million de tonnes de minière de fer par ans vers la zone portuaire d'Oran

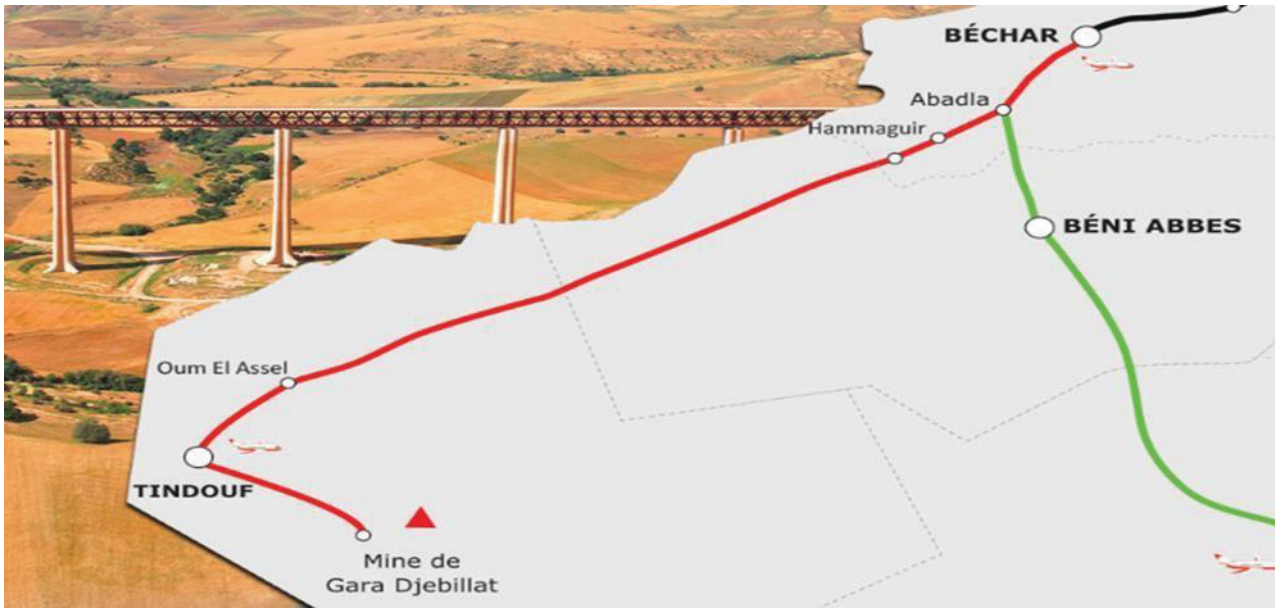


Figure II - 1:Représentation de la zone de projet

i. Présentation du site :

Le projet de la nouvelle ligne minière Bechar / Tindouf /Gara Djebilet est situé dans l'ouest de l'Algérie, cette zone d'étude longée principalement par les route nationales **N°6 et N°50** traverses les 3 wilaya Bechar, Beni abas, Tindouf.

ii. Situation géographique :

La région comprenant les wilayas de Béchar et de Tindouf est située dans le sud-ouest de l'Algérie, dans la partie occidentale du Sahara algérien. Voici quelques détails sur la situation géographique de chacune de ces wilayas :



Figure II - 2:Situation géographique de la zone de projet

- Wilaya de Béchar :
  - La wilaya de Béchar est limitrophe du Maroc à l'ouest.
  - Elle est également bordée par la wilaya d'Adrar au nord, la wilaya d'El Bayadh à l'est, et la wilaya de Tindouf au sud-ouest.
  - La région est caractérisée par des paysages désertiques, notamment des plaines arides et des zones montagneuses.
- Wilaya de Tindouf :
  - La wilaya de Tindouf est située à l'extrême ouest de l'Algérie, à la frontière avec le Maroc et la Mauritanie.
  - Elle est limitrophe de la wilaya de Béchar à l'est.
  - La région est principalement désertique, avec des dunes de sable et des plateaux rocheux.
  - Tindouf est également connue pour abriter des camps de réfugiés sahraouis

iii. Relief et topographie :

La wilaya de Béchar se caractérise principalement par son appartenance, dans sa presque totalité, aux reliefs de la plateforme saharienne située à sa marge Nord-Ouest, à la limite de l'accident Nord-saharien Malgré son environnement dominé par le Sahara et le caractère désertique, la région se distingue par l'hétérogénéité et la diversité de ses paysages morphologiques

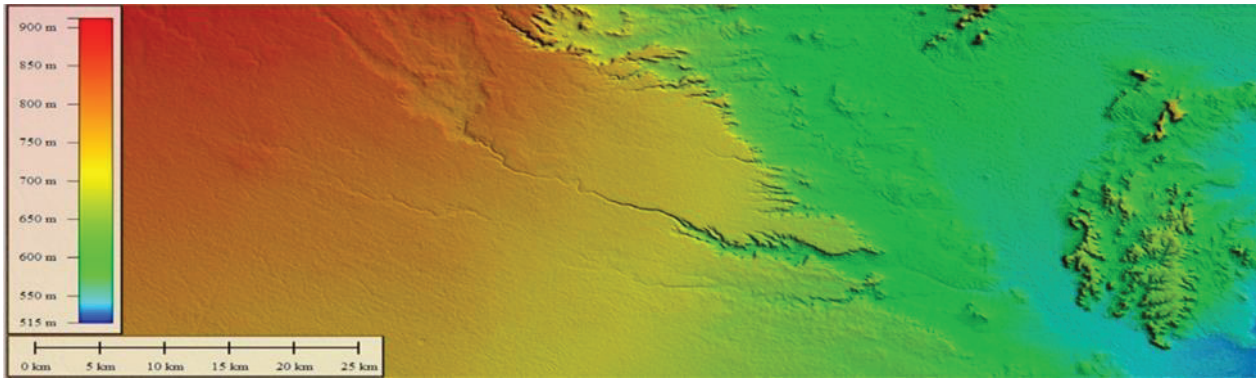


Figure II - 3:Relief de la zone de BECHAR

Notons aussi la topographie de cette wilaya se particularise par la brutalité de la transition entre la plate-forme saharienne et le domaine atlasique au Nord, matérialisé par l'accident sud atlasique.

Le passage entre les deux domaines, atlasique et saharien, en allant vers le sud à partir de l'accident, est souvent assuré par un système de Hamadas, tels l'Erg occidental.

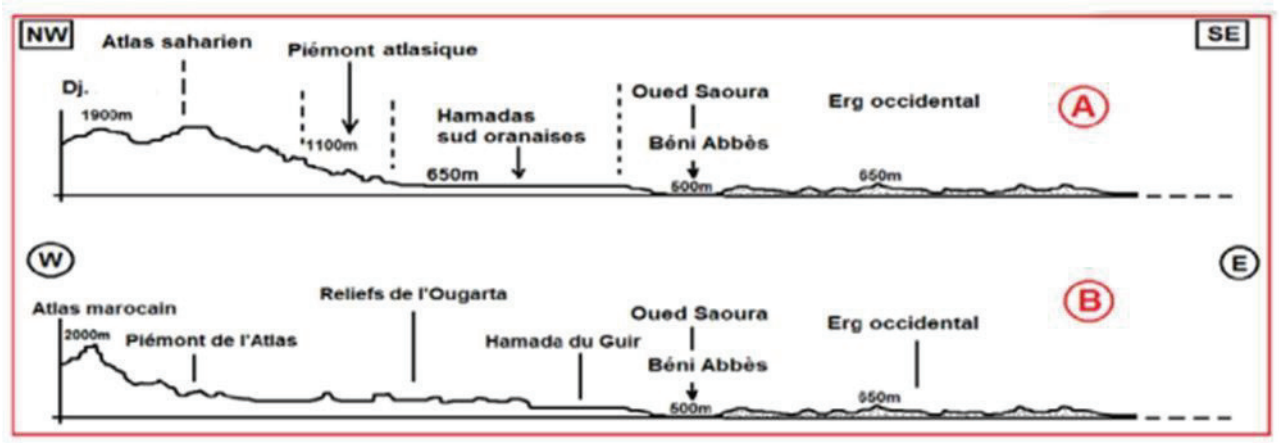


Figure II - 4:Les altitudes de la zone de projet

iv. Climat :

Le climat de Béchar est subtropical désertique, avec des hivers doux (durant lesquels il peut faire froid la nuit) et des étés très chauds et ensoleillés.

En hiver, lorsque l'air froid du nord parvient à atteindre cette zone, il peut y avoir des journées froides, avec des minimales de **0 °C** ou un peu en dessous et des maximales de **6/7 °C.**

En été, l'altitude tempère un peu la chaleur, cependant, dans les pires moments, la température peut atteindre **44/45 °C** de juin à septembre.

Les précipitations totalisent **100 millimètres par an** : elles sont donc au niveau désertique. Au mois le moins pluvieux elles s'élèvent à **2 mm**, dans le mois le plus pluvieux elles s'élèvent à **20 mm** Voici la moyenne des précipitations. Diagramme ombrothermique

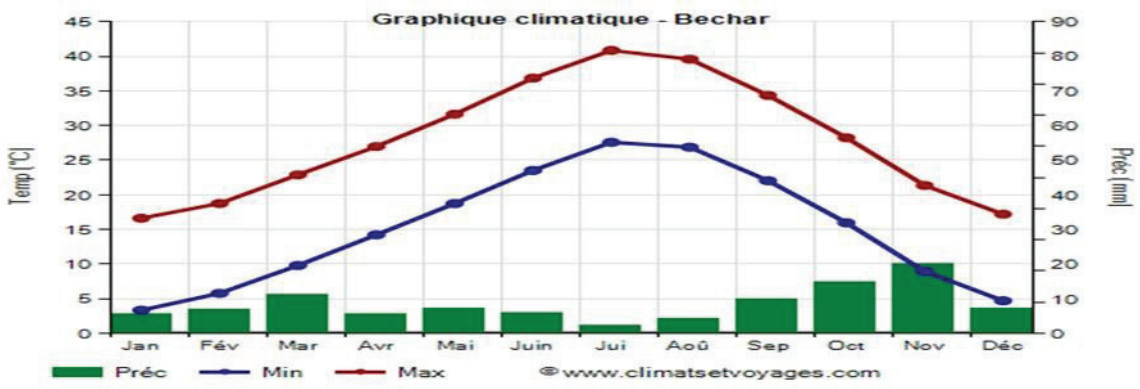


Figure II - 5:Diagramme ombrothermique

II.1.2. Caractéristique de la ligne projetée :

i. Charge par essieu :

En accord avec l'expérience universelle, la charge de 32.5 T essieu a été retenue, les charges supérieures ayant tendance à réduire la vie des rails par usure et par accidents mécaniques.

ii. Trafic par jour :

Admettant 350 Jours de travail par an pour le transport de **50 000 000 tonnes annuelles**, le trafic minéralier sera de 142 857 T/jour et **exigera 8 trains/jour dans chaque sens.**

iii. La longueur du train :

170 wagons * 12 m = **2040 m** 04 locomotives * 21.9 m = **87.6 m**

Longueur totale du train = **2127 m iv. Poids brut/train :**

Le train unité de **17 857 Tonnes** utile se composera de **170 wagons** et **5 locomotives**. Le nombre d'essieux par train sera donc de 710, ce qui, à raison de **32,5 T/essieu**, donnera pour le train un poids de **23 075 Tonnes, brutes totales (TBT).**

Tableau II - 1: Caractéristique de la ligne

Trafic	Mixte : (à prédominance Minière)
Vitesses	V voy : 160 km/h V mar : 70 km/h
Charge à l'essieu	32.5 t

Longueur utile dans les gares	2400 m
Écartement	Standard (1435 mm en alignement)
Entre axes	4,20 m
Profil de la voie (Rampes et pentes) Maximale	06 ‰ au sens chargé 08 ‰ au sens vide 00 ‰ au niveau des gares.
Traverses	Monobloc (béton armé précontraint)
Rail	UIC 60
Signalisation	Lumineuse type ERTMS.
Télécommunication	Type GSM-R

Chapitre III
Superstructure de la voie

III. Superstructure de la voie :

III.1. Introduction :

La voie ferre est constitué par deux parties distingues (la superstructure et l'infrastructure)

L'infrastructure de la voie ferrée comporte en plus de l'ouvrage en terre, les ouvrages d'arts, les galeries souterraines.

La superstructure est constituée par le ballast, les traverses et les rails plus les accessoires d'attache et de fixation

La superstructure de la voie est chargée d'absorber les pressions verticales et horizontales causées par la charge du trafic et de les transmettre aux plateformes.

III.2. Le rail :

Le rail est une poutre de répartition des charges de roues et sert pour le guidage et maintien de la stabilité de l'essieu et Transmet le courant électrique, pour assurer la signalisation et pour la traction des ils sont mis en bout à bout et posée sur les traverses en deux lignes parallèles avec un écartement standard (e=1435mm) . Les rails son caractérisé par :

- Leur profil
- La nuance d'acier qui les compose

Pour une section transversal dune rail du type Vignole :

- Champignon : courbure pour le contact roue-rail
- Ame : C'est la partie verticale qui relie le champignon au patin
- Patin : largeur pour transfert de charge à la traverse
- Table de roulement

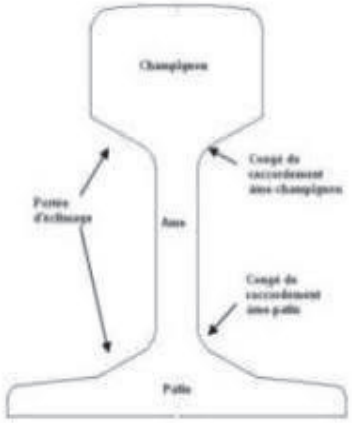


Figure III - 1:Les composante du rail

i. Caractéristiques du rail :

Le rail utiliser est du type UIC 60 E1 et de caractéristiques suivant :

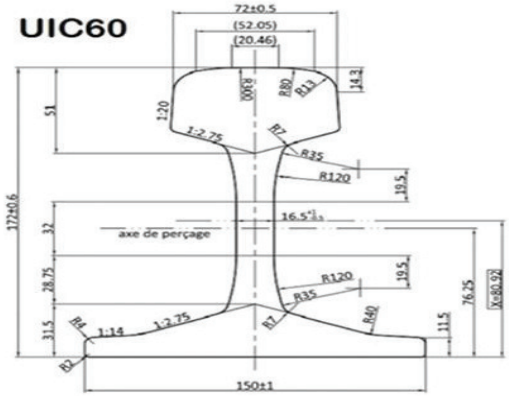


Figure III - 2:Dimension de rail UIC60

Tableau III - 1: Les caractéristique du rail

Caractéristique	Valeur
Masse	60.21 kg/ml
Surface de la section	76.7 cm^2
Hauteur du rail	172 mm
Largeur du champignon	72 mm
Largeur du patin	150 mm
Moment d'inertie (axe x-x)	3038.3 cm^4
Moment d'inertie (axe y-y)	512.3 cm^4
Résistance à la traction	$R \geq 880$ N/mm^2
Allongement	$A \geq 10\%$
Dureté au milieu de la table de roulement	260-300 HBW
Épaisseur âme	16.5 mm
Dimension indicative B	52.053 mm
Dressage	Classe A
Nuance	260 (Carbone manganésé)

ii. Assemblage du rail :

Les rails utilisés dans la construction des chemins de fer sont généralement fabriqués en sections mesurant entre 18 et 36 mètres de long. Assurer la solidité et la continuité de la voie nécessite une liaison solide des extrémités des rails, cette connexion étant établie par deux méthodes : les éclisses et la soudure. **iii. Les éclisses :**

Sont des pièces de métal conçues pour être fixées de manière sécurisée aux extrémités des rails, assurant ainsi leur alignement et leur solidité **iv. Les soudures** il y a deux types de soudure :

- **Soudure électrique :** réaliser en chauffant les extrémités des rails puis en les fusionnant ensemble. Le soudage électrique permet d'avoir longues barres soudées appelées « LRS » (long rails soudes) de longues 288 m.
- **Soudure aluminothermique :** utiliser pour relier les barres du LRS

III.2.2. Les traverses :

Une traverse est un élément fondamental de la voie ferrée. C'est une pièce posée en travers de la voie sous les rails, pour en maintenir l'écartement et l'inclinaison et transmettre au ballast les charges des trains circulant sur les rails

Il existe deux types de traverses utiliser en Algérie :

i. Traverse en bois :

Utiliser généralement dans les appareils de voie « ADV » et les appareils de dilatation **ii.**

Travers en béton : **Bi-bloc** : deux blocs sont reliés par une entretoise en acier pour assurer l'écartement

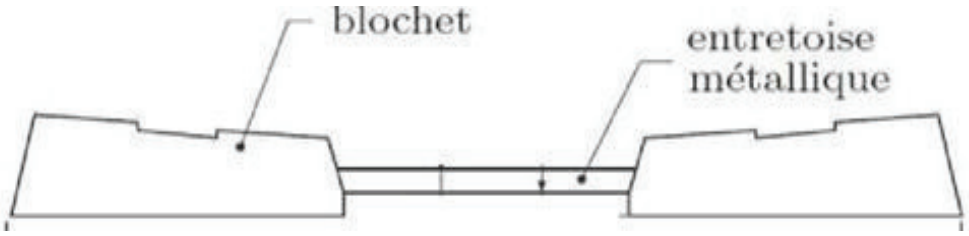


Figure III - 3:Traverse Bi-bloc

Monobloc : poutre en béton précontrainte qui offre une meilleure résistance à la flexion que la traverses bi-bloc et une meilleure répartition des charges

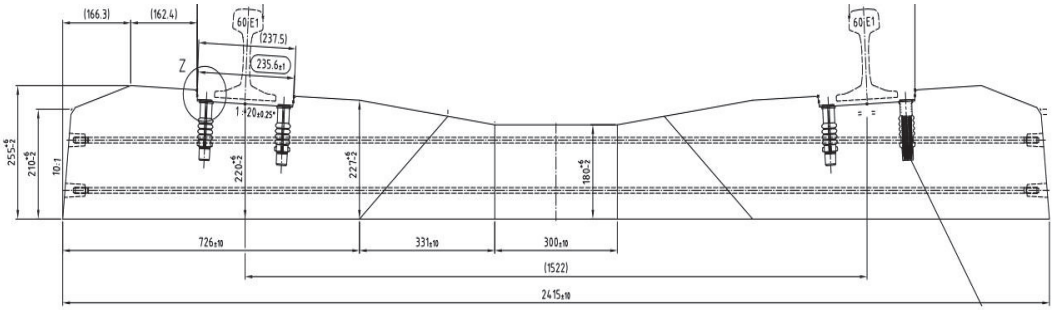


Figure III - 4:Traverse monobloc

III.2.3. Système d'attache :

Le système d'attache est celui qui permet d'assurer la fixation des rails sur les traverses, elles assurent une élasticité dans le sens vertical et horizontal, une semelle d'élastomère de 9 mm d'épaisseur est pose entre le rail et la traverse pour assurer l'absorbation des vibrations des rails.

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



Figure III - 5: Système d'attache élastique

III.3. Appareil de voie :

Les ADV sont un moyen de franchissement ou passage d'un train (voyageur ou marchandise) d'une voie principale à une voie de service ou une voie de croisement.

Généralement on utilise deux types d'appareils de voie :

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

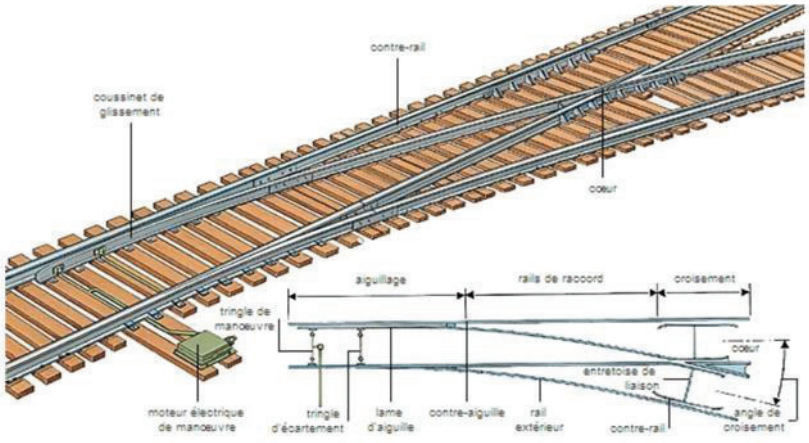
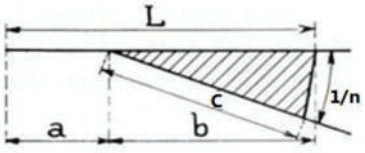


Figure III - 6:Schéma représentative de l'ADV

Tableau III - 2:Grandeurs des diffèrent élément de l'ADV

Appareil de voie (1/n)	R (m)	A (m)	B (m)	C (m)	V (km/h)
1/9	300	16.616	17.922	19.922	50
1/12	500	20.797	22.684	22.684	65



III.3.1. Appareille de dilatation :

Il s'agit d'un appareil de voie constitué de deux rails (aiguilles) taillés en biseau venant se plaquer contre deux autres rails usinés (contre-aiguilles) de manière qu'il n'y ait pas de discontinuité dans la surface de roulement. Il a pour rôle de favoriser les mouvements longitudinaux des rails à un endroit où se cumulent leur dilatation (ou leur contraction) et celle du pont métallique lui-même. Il se compose de deux coupons de rails (aiguille et contre-aiguille) dont les extrémités placées l'une contre l'autre sont taillées en biseau et tenues par deux coussinets. Un fil métallique, gainé de plastique et fixé sur chacune, maintient la continuité électrique du circuit de voie.

Figure III - 7:Grandeurs des éléments du ADV

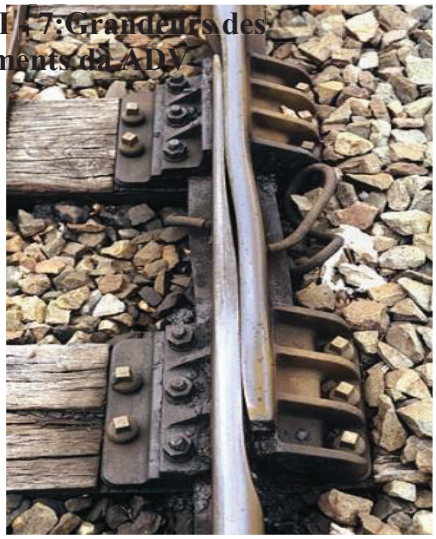


Figure III - 8:Appareille de dilatation

Chapitre VI
Tracé en plan

IV. Tracé en plan :

IV.1.1. Définition :

Le tracé en plan de la voie ferrée est une représentation graphique qui projette orthogonalement tous les points sur un plan horizontal. Il se compose d'une série d'alignements droits et d'arcs de cercles interconnectés par des courbes de raccordement progressif (clothoïde). Cette représentation détaillée de la position de la voie par rapport à son environnement vise à assurer un roulement parfait et sécurisé des véhicules ferroviaires Dans les chemins de fer il y a 2 vitesse caractéristique :

Vitesse de train rapide Vmax : pour les trains rapides (voyageur)

Vitesse de train lents Vmin : pour les train lents (marchandise) **IV.1.2.**

Règle et condition de tracé :

- Utiliser le maximum d'alignements droit On ne doit pas sortir du couloir choisi.
- Éviter le franchissement des oueds et des routes dans la mesure du possible qui nécessite la réalisation des ouvrages d'arts, dans le cas où c'était inévitable le franchissement s'effectuera perpendiculairement à sa ligne d'écoulement ou à partir des endroits les plus étroits
- Éviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières
- Éviter le maximum les propriétés privées
- Adapter le tracé en plan au terrain naturel et suivre les courbes de niveau afin de diminuer les volumes et le cout des terrassements
- Respecter les règlements recommandés par la SNTF et UIC
- Éviter les zones où il y a des problèmes géologique et/ou géotechniques **IV.1.3.**

Les éléments de tracé en plan :

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

- Alignement : R=
- Arc de cercle : R = Constante
- Courbe de raccordement : R =variable

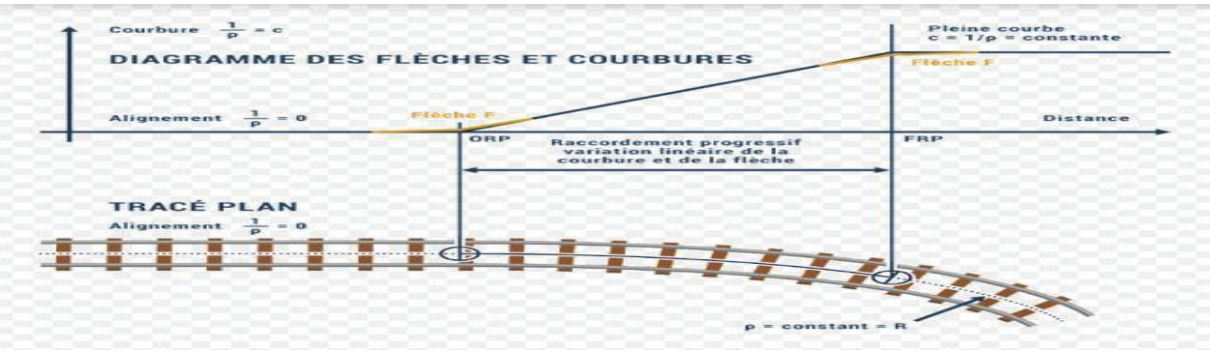


Figure IV - 1:Les élément de tracé en plan

i. Alignements (R=∞) :

Cet élément est caractérisé par sa simplicité et sa capacité à faciliter l'exploitation. Il s'agit du tracé optimal pour les voies ferrées sur le plan technique, où la force centrifuge est négligeable

ii. Les courbes circulaires (R = Cst) :

Lorsque la topographie ne permet pas de créer des alignements droits, on utilise le raccordement circulaire avec un rayon aussi grand que possible, tout en respectant sa valeur minimale **iii. La courbe de raccordement (R= variable) :**

Ce composant géométrique assure la transition en douceur entre un alignement droit et un arc de cercle. Sa courbure évolue progressivement de l'infini à la fin de l'alignement jusqu'à atteindre une valeur constante au début de l'arc de cercle. Dans notre projet, seuls les raccordements entre les alignements et les cercles ont été utilisés. Conditions d'obligation de l'ajout des Rp

IV.1.4. Justification des courbes de raccordement :

Les courbes dz raccordement se justifier par le calcule de Δc :

Tableau IV - 1: Les valeurs de la courbe

Alignement-courbe	**Δc** =1000/R
Deux Courbe de même sens avec R1≠R2	**Δc** =1000/R1 – 1000/R2
Une courbe et contre courbe	**Δc** =1000/R1 + 1000/R2

Tableau IV - 2: Condition d'obligation de l'ajout des RP

V≤ 100 km/h	**Δc** > *9000/Vmax2*
100<V≤ 160 km/h	**Δc** > *7000/Vmax2*
V >160km/h	**Δc** > *4000/Vmax2*

i. Vitesse de référence :

Tableau IV - 3: Vitesse que le maitre d'ouvrage exige dans notre projet

Type de train	Vitesse de référence
Train voyageurs	160 km/h
Train marchandise	70 km/h

IV.1.5. Les caractéristiques géométriques du tracé :

Les paramètres géométriques qui rentre dans l'étude de la nouvelle ligne minière BECHAR TINDOUF- GHAR JBILAT sont :

i. Les devers

Le dévers dans une voie ferrée désigne la différence d'altitude entre les deux files de rails en un point donné. En courbe, cette différence est réalisée en surélevant le rail extérieur par rapport au rail intérieur. Cette surélévation permet de compenser en partie la force centrifuge qui tend à déporter les trains vers l'extérieur de la courbe circulaire et assure une épaisseur de ballast adéquate sous la file de rail la plus sollicitée. La variation du dévers à l'entrée et à la sortie d'une courbe est continue le long de la courbe de transition.

ii. Dévers maximum admissible D_{max}

Les limites maximales autorisées de dévers, conformément aux normes de la SNTF (Chapitre 06) et à la norme IN 0272, sont présentées ci-dessous :

Dmax (Valeur limite normale) = 160 mm	**Dmax (Valeur limites exceptionnelle) = 180 mm**

iii. Dévers théorique :

Pour une meilleure combinaison entre la stabilité sur la voie et un trajet confortable des voyageurs on doit avoir un divers adéquate que se calcule par la formule suivante :

$$D_{th} = \frac{11{,}8 \times Vmax^2}{R}$$

Avec :

- D_{th} : dévers théorique en (mm).
- V : vitesse de train en (Km/h). □ R : rayon de courbe en (m).

iv. Dévers pratique :

Le choix du dévers pour une voie ferroviaire est un compromis essentiel pour assurer la sécurité et le confort des trains, qu'ils soient rapides ou lents, dans des conditions normales de circulation. Ce choix est guidé par un coefficient de proportionnalité, appelé coefficient de dévers, qui reste constant sur une section de voie à trafic homogène, et le rayon de courbe circulaire.

Ce coefficient permet d'ajuster le dévers pratique en fonction de la courbure de la voie, tout en respectant les limites normales des paramètres tels que le dévers, l'insuffisance de dévers, l'excès de dévers, ainsi que les variations de dévers et d'insuffisance de dévers.

Le dévers pratique se calcule par la formule suivante :

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

- Dp : dévers pratique en (mm)
- R : rayon en (m)
- C : coefficient de dévers

Le coefficient de devers adopté se calcule par cette formule : C = 0.006 × $\boldsymbol{V}$v²

Et doit satisfaire les conditions suivantes :

- Doit être un multiple de 15 □ Elle vérifier :

$$0{,}5 \leq \frac{C}{0{,}0118 \times V^2} \leq 0{,}7$$

v. L'insuffisance de devers « I »

L'insuffisance maximale de dévers est la différence entre le dévers théorique, nécessaire pour assurer l'équilibre des trains rapides, et le dévers pratique. Cette différence engendre des forces transversales non compensées pouvant présenter un danger pour la sécurité et le confort des voyageurs, ainsi que pour le coût d'entretien de la voie

$$I = Dth(v) - Dp$$

$$I = \frac{11.8 \times V^2}{R} - Dp \leq Imax$$

- I : L'insuffisance de dévers (mm).
- Dth(v) : le dévers théorique des trains(voyageur) rapide (mm).
- dp : dévers pratique (mm).
- V : vitesse des trains lents (marchandises).

Tableau IV - 4:Les valeurs maximale admissible de l'insuffisance selon l'SNTF

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Insuffisance de dévers (I) Selon SNTF	150 mm	160 mm
Insuffisance de dévers (I) Selon UIC	100 mm	150 mm

vi. Excès de dévers :

Le dévers théorique pour les trains de marchandises est moindre que le dévers pratique (dth < dp), ce qui signifie que ce type de train génère des forces transversales orientées vers l'intérieur de la courbe sur la voie ferrée.

Il se calcule par la formule suivante :

$$E = d_p - d_{th(m)}$$

$$E = dp - \frac{11.8 * Vm^2}{R} < Emax$$

- E : L'excès de dévers en (mm).
- Dth(m) : le dévers théorique des trains (marchandise) lent.
- Dp : dévers pratique en (mm)
- V : vitesse des trains lents (marchandises)

Tableau IV - 5: Valeurs maximale admissible de l'excès selon SNTF

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Excès de dévers selon SNTF	110 mm	130 mm
Excès de dévers selon UIC	70 mm	110 mm

vii. Variation de dévers :

D'une transition fluide d'un dévers nul en alignement droit à un dévers prévu dans une courbe, le passage doit être graduel pour préserver le confort des passagers et limiter l'usure du matériel roulant. Cette évolution progressive s'effectue sur une étendue spécifique nommée "**rampe de dévers**", où la variation du dévers est accompagnée par des ajustements concomitants de l'insuffisance et de l'excès de dévers. Ce processus assurant une transition en douceur et sécuritaire entre les différentes conditions de dévers.

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

La longueur des courbes de transition dépendra du dévers adopté et du taux de variation de dévers admissible

Cette variation est donnée par la formule suivante

$$\frac{dd}{dl} = \frac{dp}{Lrp}$$

Tableau IV - 6: Limite de la variation de dévers par rapport a la longueur

Paramètre	Valeur limite normale (mm/m)	Valeur limite exceptionnelle (mm/m)
Variation de dévers (mm/m)	180/V	216/V

ix. Variation de dévers par rapport aux temps dd/dt :

La variation du dévers dans le temps est donnée par la formule suivante :

$$\frac{dd}{dt} = \frac{dp * Vmax}{3.6 * Lrp}$$

Tableau IV - 7: Limite de variation de devers par rapport au temps

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Variation de dévers (mm/s)	50 mm/s	60 mm/s

x. La variation de l'insuffisance par rapport au temps ΔI/Δt:

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

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

Tableau IV - 8: Limite de variation de l'insuffisance par rapport au temps

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

Lorsque le train passe d'un tronçon droit à une courbe complète à une vitesse supérieure à la vitesse d'équilibre, les passagers commencent à ressentir progressivement les effets de la force centrifuge non compensée en raison de l'insuffisance de dévers. Pour permettre une adaptation progressive, voire inconsciente, du passager à ces effets, il est essentiel de limiter le taux de variation de l'insuffisance de dévers

La variation d'insuffisance se calcule par les formules suivantes

$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \times V}{3.6 \times LRP}$ dans un RP entre alignement et courbe.

$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{|I1 - I2| \times V}{3.6 \times LRP}$ dans un RP entre deux courbes de même sens.

$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{|I1 + I2| \times V}{3.6 \times LRP}$ dans un RP entre deux courbes de sens contraire.

Avec :

I= insuffisance dans la pleine courbe (en mm).

I1 = Insuffisance dans la courbe amont (en mm).

I2 = Insuffisance dans la courbe aval (en mm).

V = Vitesse du mouvement (en km/h).

LRP = Longueur du RP (en m).

IV.1.6. Les doucines :

Lorsque les trains de voyageurs atteignent ou dépassent une vitesse de 60 km/h et que la variation significative du dévers dépasse 60/v, il est indispensable d'installer des doucines orientées aux extrémités des clothoïde

i. Les longueurs minimales des éléments de tracé :

Les longueurs minimales des alignement droits et des pleines courbes pour une vitesse maximale de 160 km/h en présence des doucines sont les suivantes **ii. Courbes avec RP et DOUCINE :**

Les doucines ont des longueurs normales varie entre 30 et 40m ; avec une longueur exceptionnelle égale à 20m.

Tableau IV - 9:Les longueurs minimales du RP, entre milieu de doucines

Paramètre	Longueur minimales
Valeur normale	Vmax/2
Valeur exceptionnelle	Vmax/3

Tableau IV - 10:Les valeurs minimales du RP, entre milieu de doucines

Paramètre	Longueur minimales
Valeur normale	80m
Valeur exceptionnelle	55m

iii. Courbes avec RP sans DOUCINE :

Tableau IV - 11:Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes

Paramètre	Longueur minimales
Valeur normale	Vmax/3
Valeur exceptionnelle	Vmax/5

iv. Courbe sans RP :

Tableau IV - 12:Les longueurs minimales des alignements et pleines courbes sans Rp

Paramètre	Longueur minimales
Valeur normale	Vmax/2
Valeur exceptionnelle	Vmax/2.5

v. Longueurs de courbes de raccordement :

Elle dépend des caractéristique limite suivante :

- Taux de variation de dévers en fonction de la longueur.
- Taux de variation de dévers en fonction du temps.
- Taux de variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps

vi. Détermination de rayon minimale (R min) :

Le rayon minimal autorisé dépend de la vitesse du projet ; il est restreint afin de garantir le confort des voyageurs et de prévenir une trop grande sollicitation des efforts transversaux sur la voie.

Le R min sera défini à partir de l'insuffisance de dévers admissible pour les vitesses maximales et à partir de l'excès de dévers pour les vitesses minimales sans que le dévers maximum ne soit dépassé.

Il se calcule par la formule suivante :

$$d(Rmin) = \frac{Emax * Vmax^2 + Imax * Vmin^2}{Vmax^2 - Vmin^2}$$

$$Rmin\ (m) = \frac{11.8\ Vmax^2}{d(Rmin) + Imax}$$

Avec :

- R : Rayon de courbe (m).
- V : Vitesse (km/h).
- I : Insuffisance de dévers (mm).
- E : Excès de dévers (mm).
- D ($Rmin$) : Dévers associer au rayon minimal (mm).

Rmin	1000 m

IV.1.7. Application sur notre projet :

Dans cette section, nous avons modifié la méthode de calcul utilisée. Cette nouvelle méthode est spécifiquement adaptée à notre projet qui se concentre principalement sur le transport de marchandises.

i. Détails de la Nouvelle Méthode :

- **Optimisation des Rayons** : Les rayons de courbure ont été augmentés à 2300 m pour mieux répondre aux exigences des trains de marchandises.

- **Adoption d'un Devers Théorique Uniforme** : Le devers adopté pour les trains de marchandises est aligné avec le devers théorique, défini par la formule :

$$D(adopter)=D(marchandise)=\frac{11.8\times V(\ marchandise)^2}{R}$$

Ou :

D(marchandise) : est le devers spécifique aux trains de marchandises

V(marchandise) : est la vitesse des trains de marchandises.

- **Élimination de l'Excès de Dévers** : Nous avons éliminé l'excès de devers tout en conservant l'insuffisance, ce qui est plus adapté aux trains de marchandises.

ii. Raisons du Changement :

- **Réduction de l'Usure des Rails** : Ce changement permet de minimiser l'usure des rails, ce qui prolonge leur durée de vie et réduit les coûts de maintenance.
- **Prédominance des Trains de Marchandise** : Étant donné que notre projet se concentre principalement sur le transport de marchandises, il est important que le tracé en plan soit optimisé pour ce type de transport.
- **Efficacité Opérationnelle** : Cette méthode permet une opération plus fluide et efficace des trains de marchandises, en minimisant les coûts de maintenance et en optimisant les performances

iii. Exemple des différentes étapes de calcule pour R=2300m :

- Commençant par l'alignement minimale :

  Vmax/2 = 160/2= Lmin=80 m

- Vérification de l'emploi de RP :

Δc =1000/R= 1000/2300=0,43

Pour *100<V≤ 160 km/h :* Δc > 7000/Vmax2 => 0,43 >7000/160² => 0,43>0.27 RP obligatoire

- Devers adopté pour un rayon R= 2300m :

➢ Pour train rapide : Dth= 11,8xV²/R= 11,8x160²/2300 ≈ 131mm **a ignorer**

➢ Pour train lent : Dth= 11,8xV²/R=11,8x70²/2300 ≈25mm

Donc le divers pratique est le divers théorique marchandise

Insuffisance :

I=dth(v) – dp=131– 25 =106mm< 150 mm

Excé :

E=dp- dth(m)= 25-25 =00mm ≤110mm

Longueur de clothoïde Lrp :

Lrp=dp/180/V =22m en prend : Lrp(adopté)=100m Variation de divers

par rapport au temps : dd/dt = (Dp x Vmax)/(3,6 Lrp)= 25x160/3,6x100=

11.11 ≤50 mm/s La variation de dévers en fonction de la longueur :

dd/dl= (3,6× $\frac{dd}{dt}$)/Vmax = (3,6×11.11)/160= 0.24mm/m = < 1.125 mm/m

 La variation d'insuffisance de dévers en fonction du temps :

ΔI/ΔT=(I×Vmax)/(3,6xLrp) = 106× 160/ 3,6x100 = 47.11≤75 mm/s

Tableau IV - 13:récapitulatif de tous les paramètres géométriques de tracé de notre projet

R(m)	Δc	Obligation de RP	Dp mm	I (mm)	E(mm)	Lrp (m)	Dd/dt ≤50	ΔI/ΔT ≤1.125	Dd/dl ≤1.125
2300	0.43	Obligatoire	25	106	0	100	11.11	47.11	0.24
2300	0.43	Obligatoire	25	106	0	100	11.11	47.11	0.24
15000	0.06	Pas Obligatoire	/	/	/	/	/	/	/

IV.1.8. Conclusion :

Le changement de méthode de calcul pour le tracé en plan a été une décision stratégique visant à optimiser l'infrastructure pour le transport de marchandises, qui est la principale utilité de notre projet.

Cette nouvelle méthode de n'est pas seulement plus adaptée aux besoins spécifiques des trains de marchandises, mais elle joue également un rôle important dans la durabilité des rails. En éliminant l'excès de devers tout en conservant l'insuffisance, nous réduisons l'usure des rails, prolongeant ainsi leur durée de vie et minimisant les coûts de maintenance. Cette approche permet d'assurer une infrastructure ferroviaire plus fiable et durable, capable de supporter les défis opérationnels à long terme

Chapitre V
Profil en long

V. Profil en long :

V.1.1. Introduction :

La création du profil en long constitue une étape fondamentale lors de l'évaluation d'un projet ferroviaire. Elle offre une vue détaillée du terrain parcouru, permettant d'estimer les travaux de terrassement, les ouvrages d'art et les coûts associés. Cet outil est essentiel pour concevoir le tracé de la voie en tenant compte des contraintes géographiques, environnementales et économiques. En bref, le profil en long assure une planification minutieuse qui garantit la viabilité et la durabilité du projet. **V.1.2. Définition :**

i. Profil en long du terrain naturel :

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

ii. Profil en long du projet :

Le profil en long décrit l'apparence globale d'un projet, souvent celui d'une voie ferrée. Habituellement, il se compose d'une suite de tronçons droits reliés par des courbes circulaires.

iii. Déclivité :

On appelle déclivité la tangente de l'angle qui fait le profil en long avec l'horizontale, elle prend le nom de pente pour une descente et rampe pour une monte. **V.1.3. Eléments de profil en long :**

i. Les alignements droits :

Le profil en long de la voie ferrée est conçu avec des déclivités très faibles afin de garantir la sécurité, d'assurer des vitesses de circulation appropriées et d'offrir un confort optimal aux véhicules. Pour ce faire, la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) établit une limite maximale pour les pentes des segments droits. De plus, lors de l'implantation des gares, on utilise généralement un palier de longueur supérieure à 1300 mètres, avec des déclivités de 0.00 %. Les déclivités maximales généralement adoptées sont les suivantes :

Tableau V - 1: Limite déclivité maximale

		Application	
		Normal	***Exceptionnel***
Déclivité maximale	**L<3000 m**	**16 ‰**	**18 ‰**
	3000<L>15000 m	**16 ‰ à 13 ‰**	**18 ‰ à 15 ‰**
	L>15000 m	**13 ‰**	**15 ‰**
	Gares	**0 ‰**	**0 ‰**

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

Eviter les terrassements inutiles.

- Equilibrer les remblais-déblais.

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

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

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

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

Tableau V - 2: Valeurs de la longueur minimale des éléments

Valeur maximal normal	Valeur maximal exceptionnelle
V/2 = 80 m	V/2.5 = 64 m

Comme dans notre projet on a un tonnage de 32.5t/essieu donc on a limité la déclivité (pente, rampes) dans les valeurs suivantes :

Tableau V - 3: Limite des pentes dans notre projet

Pente sens charge	Rampes sens charge
6‰	8‰

ii. Choix des cercles :

Lorsqu'un véhicule ferroviaire traverse un changement de déclivité, il est soumis à une accélération verticale brutale aux extrémités du raccordement. Cette accélération peut provoquer des oscillations dans la suspension du véhicule, ce qui perturbe le confort des voyageurs.

Cette accélération peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\mathbf{Av} = \frac{V_2}{3.6 * Rv}$$

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 d'Av dans la formule :

$$\mathbf{Rv} = \frac{V_2}{3.6 * Av}$$

Tableau V - 4: Les valeurs de rayon minimale selon SNTF

Valeur maximal normal	Valeur maximal exceptionnelle

$0.35V^2$	**$0.25V^2$**

La position des cercles par rapport au terrain naturel est influencée par divers facteurs, notamment :

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

V.2. Application au projet :

Tableau V - 5: Récapitulatif des paramètres de profil

		Formule		*Application*	
		Normal	***Exceptionnel***	***Normal***	***Exceptionnel***
Déclivité	**Sens charge**	**-**	**-**	**6‰**	**-**
	Sens vide	**-**	**-**	**8‰**	**-**
	Gares	**-**	**-**	**0 ‰**	**0 ‰**
Rayon minimal en raccordements verticaux (m)	**-**	**$0.35V^2$**	**$0.25V^2$**	**8960**	**6400**
La longueur minimale des pentes uniformes et des raccordements en profil en long (m)	**-**	**V/2**	**V/2,5**	**80**	**60**

V.2.1. Conclusion :

La construction du profil en long revêt une importance capitale dans l'évaluation d'un projet ferroviaire, aussi bien d'un point de vue économique que technique. Elle prend en considération les déclivités, la coordination entre le tracé en plan et le profil en long, ainsi que l'emplacement des gares.

Chapitre VI
Etudes des contraintes

VI. Etude des contrainte :

VI.1. Introduction :

L'analyse du site est essentielle pour assurer le bon déroulement des travaux de terrassement et de pose de voie. Elle permet d'identifier les obstacles tels que les infrastructures routières et les réseaux divers, considérés comme des contraintes à éviter ou à contourner et protéger, pour ne pas perturber leur fonction

Sur le tracé de PK 138+00 au PK 150+00 plusieurs contraintes ont été enregistrées, principalement associées à :

- Une conduite
- Ligne électrique
- Routes et chemins
- Oueds

VI.2. Les contraintes :

i. La conduite de gaz :

Situe dans une zone de déblais au-dessus de la gare (PK 140+925) on va la déplacée vers une zone de remblais (PK 140+475) et protéger par un cadre en béton arme **ii. Contraintes hydrauliques :**

Le trace travers des oueds de caractéristique temporaire saharien

Oued principale est : Oued Djefadjef « Pk 143+950 »



Figure VII **Figure VI** *- 1:Oued Djefajef***- 1:Oued Djefajef**

iii. Routes et piste :

Il convient d'examiner individuellement tous les types de croisements en fonction de la nature et du flux de circulation de chaque voie traversée, ainsi que de la vitesse maximale autorisée, afin d'analyser adéquatement les problèmes potentiels de croisement. On prévoit en effet, trois solutions possibles :

- **Les passages supérieurs :** sont utilisés lorsque la vitesse des trains est élevée (≥ 100 km/h) et que la topographie ne permet pas d'autres options.
- **Les passages à niveau :** sont utilisés pour les routes à faible trafic
- **Les passages inférieurs :** sont utilisés lorsque la topographie l'exige.

Le tableau suivant représente les déférentes routes traverser par notre trace :

Tableau VI - 1: les déférentes routes traverser par notre trace

PK	Type de route	Solution

141+730	**Piste**	**Piste a supprimé**
141+910	**Piste**	**Piste a supprimé**

142+050	**Piste**	**Piste a supprimé**
142+250	**Piste**	**Piste a supprimé**
143+035	**Piste**	**Piste a supprimé**
144+475	**Piste**	**Piste a supprimé**
144+835	**Piste**	**Piste a supprimé**
145+000	**RN50**	**Passage supérieur**
145+475	**Piste**	**Piste a supprimé**
146+350	**Piste**	**Piste a supprimé**
147+225	**Piste**	**Piste a supprimé**
148+016	**Route**	**Une trémie**
148+428	**Piste**	**Piste a supprimé**



Figure VI - 3:Passage inferieur



Figure VI - 2:Passage supérieur

iv. Lignes électriques :

Le tableau ci dessue ressemble toutes les lignes électriques qui traversent le tracé.

Tableau VI - 2: les PK des lignes électriques

Ligne	PK	Réseau aérien
1	144+950	LBT
2	146+430	LBT

3	149+550	LBT

v.Ouvrage d'art prévue :

Tableau VI - 3: Les PK des ouvrages fréquenté

PK Début	PK Fin	Franchissement	Type d'ouvrage
143+750	144+150	Oued Djefadjef	Viaduc
148+015	148+025	Route	Pont cadre

Chapitre VII Etude hydrologique et hydraulique

VII. Etude hydrologique et hydraulique VII.1.1.

Introduction :

L'étude hydraulique revêt une importance capitale dans la conception des infrastructures critiques telles que les voies ferrées. Dans le cadre de ce projet de fin d'études, notre attention se concentre sur l'étude hydraulique appliquée à la ligne ferroviaire qui relie les villes de **BECHAR et TINDOUF De PK 138 Jusqu'à PK 150**.

L'objectif principal de cette étude est de déterminer le débit de crue le long de la nouvelle trajectoire de cette ligne ferroviaire, dans le but de prévenir tout risque d'inondation et d'assurer la sécurité et la durabilité de l'infrastructure.

Afin de garantir la continuité de la voie ferrée, un dimensionnement précis des structures hydrauliques, telles que les ouvrages d'assainissement et de drainage, est nécessaire. Ces structures jouent un rôle essentiel dans la gestion des écoulements d'eau le long de la voie, ainsi que dans la protection des quais ferroviaires contre les effets néfastes des crues et des inondations.

Ce dimensionnement est basé sur les critères suivantes :

- Ne pas modifier la géométrie naturelle des cours d'eau, dans la mesure du possible.
- Protéger la voie ferrée des crues centennales.
- Maintenir une vitesse minimale dans les ouvrages pour réduire les risques de sédimentation.
- Limiter les vitesses maximales afin de réduire les risques d'érosion à l'intérieur des ouvrages.
- Bien gérer les eaux de ruissellement afin de limiter les problèmes d'érosion dans les talus.
- Prévoir des pentes minimales pour les ouvrages afin d'en faciliter le curage

VII.1.2. Situation du projet

Le projet de la ligne ferroviaire est situé dans la région du sud-Ouest de l'Algérie La ligne ferroviaire se développe le long de la route N°06 à voie unique entre la gare existante de la ville de Béchar et Ghar Djebilet en assurant la liaison avec la ville de Tindouf. La section concernée par cette étude s'étale : du PK 138+000 au PK 150+000.

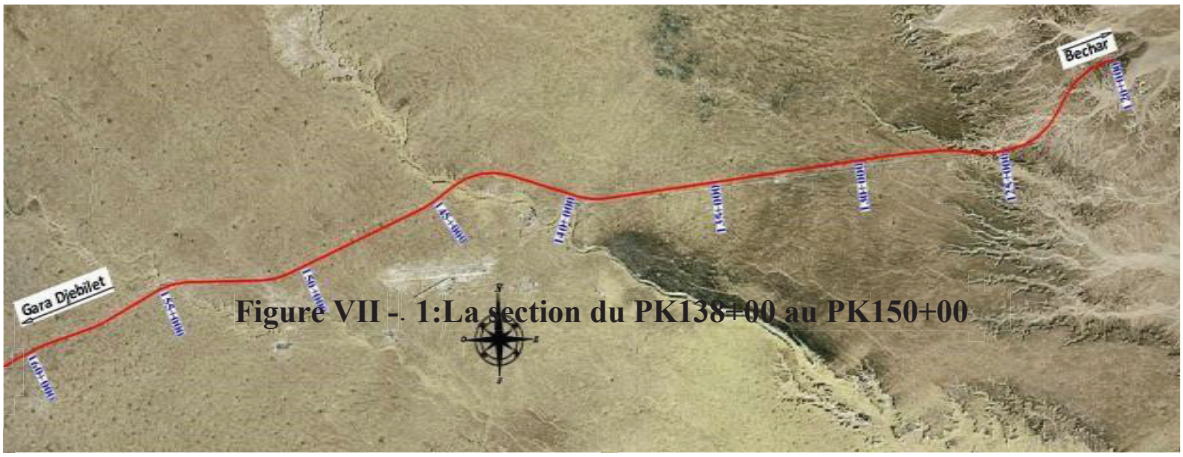


Figure VII -. 1:La section du PK138+00 au PK150+00

VII.1.3. Etude hydraulique :

i. Bassin hydrographie de la zone d'étude :

Le projet de la voie ferrée Bechar-Gara Djebilet traverse deux sous bassins du Sahara algérien il s'agit du :

-sous bassin versant N°01 (Oued Saoura) et -sous

bassin versant N02 (GuidiDraa)

selon la carte basée sur le découpage hydrologique adoptent par l'ANRH (agence nationale des ressources hydrauliques).

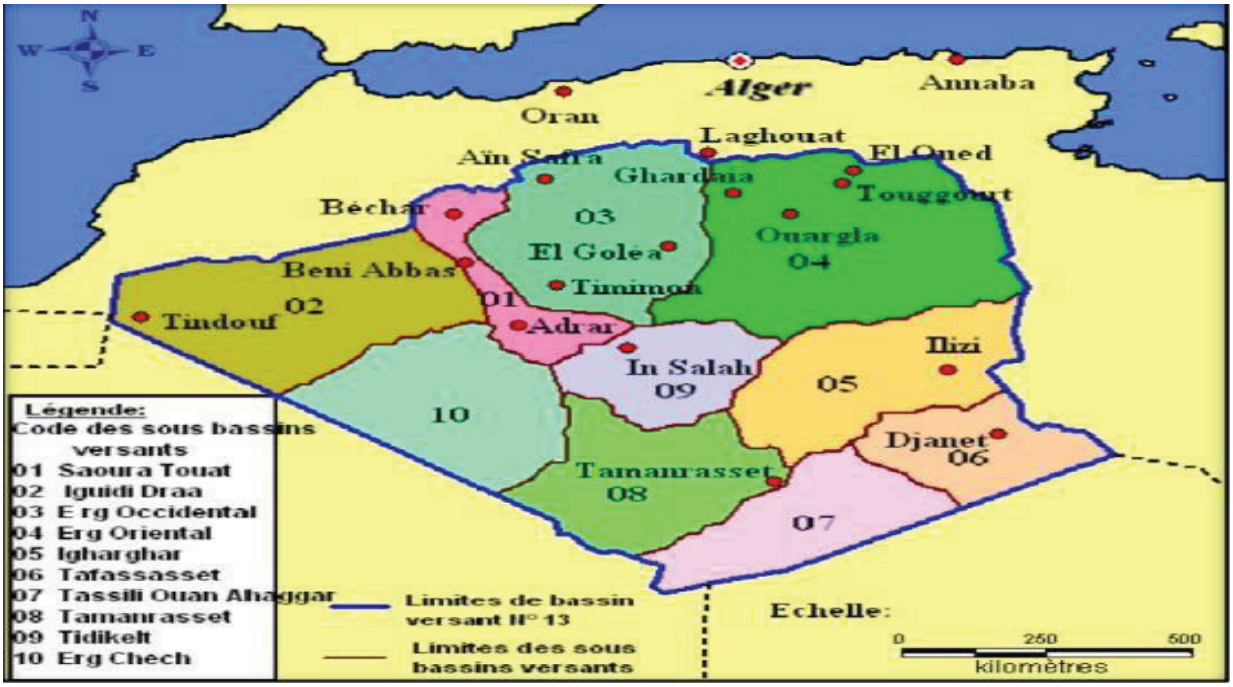


Figure VII -. 2:Carte des sous bassins du Sahara algérienne

ii. Caractéristiques morphologiques des bassins versants :

Le bassin versant se définit comme une surface recevant les eaux qui alimentent une partie ou la totalité d'un cours d'eau.

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

Les caractéristiques des paramètres de bassins versants des Oueds traversant la voie ferrée sont données par le tableau récapitulatif suivant :

Avec :

- P (km) : Périmètre

- Hmax(m) : Altitude max

- Hmin(m) : Altitude min

- Hmoy(m) : Altitude moyenne

- I (%) : pente du talweg principal en %.

- Kc : Indice de compacité

Tableau VII - 1: Caractéristiques des bassins versant

N°BV	PK des BV	Surface (km²)	P (km)	Longueur de talweg	Hmax (m)	Hmin(m)	H moy	Dh	I (pente)	Kc
1	PK 06+075	1189,76	226,25	116,13	1134	743	938,5	391	0,0034	1,83
2	PK 08+000	9,36	21,36	10,07	799	755	777	44	0,0044	1,95
3	PK 09+100	3,2	8,67	3,73	778	758	768	20	0,0054	1,35
4	PK 09+875	2,24	9,61	2,94	780	759	769,5	21	0,0071	1,79
5	PK 10+700	1,03	5,38	2,07	774	759	766,5	15	0,0072	1,48
6	PK 10+925	36,9	43,94	21,28	839	758	798,5	81	0,0038	2,03

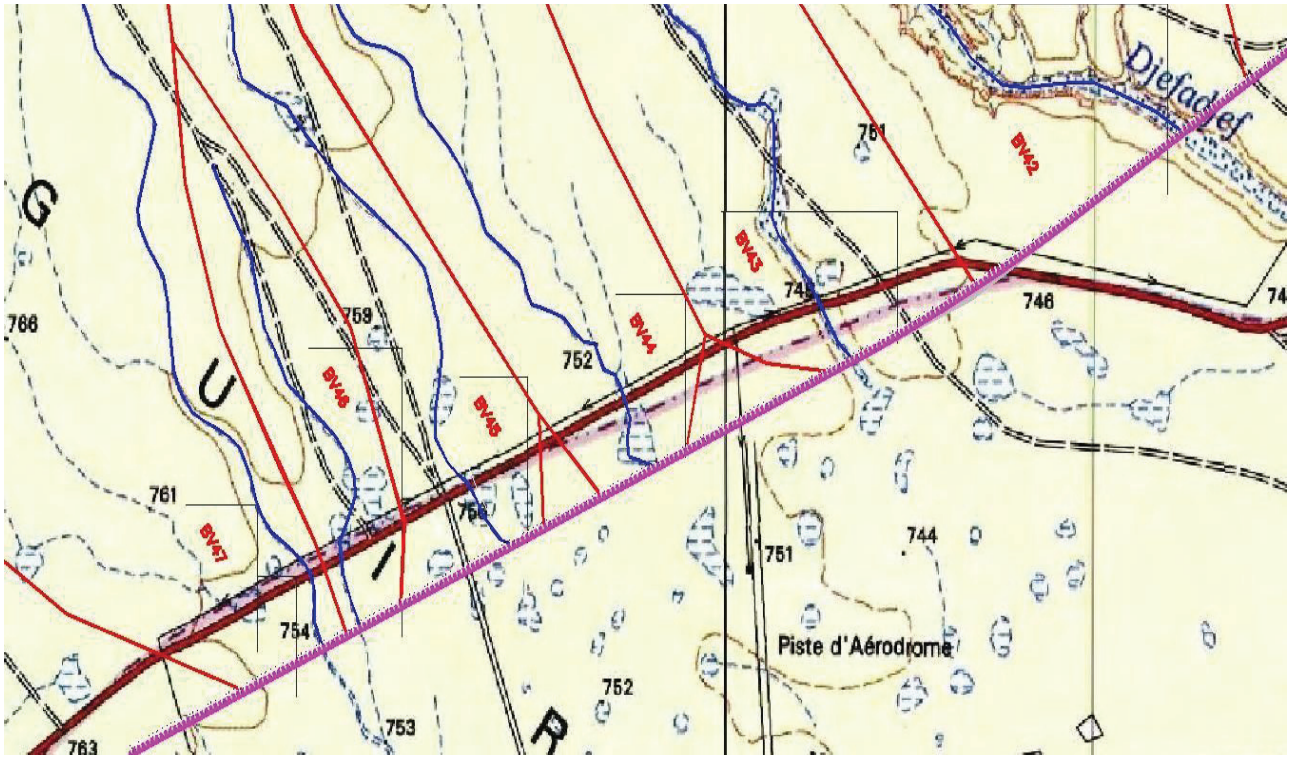


Figure VII **Figure VII** *-3:La délimitation des bassins versant de la zone d'étude sur la carte d'état*-. **3:La délimitation des bassins versant de la zone d'étude sur la carte d'état***-major* **-major**

VII.1.4. Calcul hydraulique :

i. Pluies journalières maximales :

L'étude des pluies journalières est basée sur les données observées sur la station pluviométrique de Béchar

Tableau VII - 2:Pluies journalières maximales fréquentielles

Période de retour	Pjmaxf % (mm)
10 ans	**50.1**
20 ans	**61.4**

50 ans	**76**
100 ans	**86.9**

ii. Pluies de courtes durées :

Le passage des pluies journalières maximales (Pjmax) aux pluies de durées égales au temps de concentration (Ptc%) s'effectue à l'aide de la relation suivante :

$$P_{Tc} = P_{j,max} \times (\frac{tc}{24})^b$$

Avec :

- Pj max (%) : Pluie journalière maximale fréquentielle.
- tc : temps de concentration.
- b : coefficient climatique (Pour la région de Bechar b=0.18) **iii. Temps de concentration :**

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

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

iv. Formule de Ventura : (S < 5 Km²) :

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

• Tc : Temps de concentration en heure.

• S : Surface du bassin versant en km².

• P : Pente moyenne du bassin versant en (m/m).

v. Formule de Passini : (5Km²<S<25Km²)

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

• Tc : temps de concentration (heures)

• L : longueur du talweg (km).

• P : Pente moyenne du bassin versant en (m/m).

• S : Surface du bassin (km2).

vi. Formule de Giandotti : (25 Km² ≤ (S) < 200 Km²) :

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

• L : Longueur du cours d'eau principal en km

• S : Surface du bassin versant en km² • h =hmoy -h min **vii. Calcul de l'intensité de pluie :**

L'intensité de pluie est définie suivant la relation suivante :

$$I = \frac{P_{Tc}}{Tc}$$ **viii.**

Le coefficient de ruissellement :

Le coefficient de ruissellement est estimé par la méthode préconisée de KENESSEY qui est la somme de trois (03) coefficients partiels :

- C1 : dépendant de la pente du bassin versant.
- C2 : dépendant de la nature du sol (perméabilité). □ C3 : dépendant de la couverture végétale du bassin versant

Tableau VII - 3: Désignation des coefficients de ruissellement

Pente	C1		
□ 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

Nature du sol	C2		
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

Couverture végétale	C3		
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

Donc C = C1+ C2+C3 = 0.5 pour tous les bassins de notre projet

VII.1.5. Calcul du débit maximal dans les bassins :

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

i. La méthode rationnelle (A≤10 km²) :

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

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

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

Avec :

- Qa : Débit de crue de fréquence déterminée en m3 /s.
- C : Coefficient de ruissellement.
- I : Intensité de pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration en (mm/h).
- A : Surface du bassin versant en (km2). **ii. La méthode de Crupédix (A≥ 50 km²) :**

$$\mathbf{Q10(c)=R \times (Pjmax\ (10)\ /80)^{2} \times A^{0.8}}$$

- Q10(c) : débit décennal en m3 /s
- P10 : pluie journalière de période de retour décennale, en mm
- A : superficie du BV en km²
- R : Coefficient régional traduisant l'aptitude au ruissellement que l'on prendra ici égal à 1.

Passant du débit décennal au débit centennal calculé par la formule rationnelle :

$$\mathbf{Q100(c)=Q10(c)+\Delta Q\times(\ Y/(2.3) - 1)}$$

D'où : $\mathbf{\Delta Q = Q100(R) - Q10(R)}$

Avec :

ΔQ : La différence entre les débits décennal et centennal calculés par la méthode rationnelle.

y : La variable réduite de Gumbel souvent tabulée en fonction de la période de retour.

Et : $$y = (\ln (-^{\ln (1-\frac{1}{T})}).$$

Tableau VII - 4: Variable Gumbel

Période de retour	2	5	10	20	50	100
Fréquence	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99
Variable Gumbel	0.367	1.5	2.25	2.97	3.902	4.6

iii. La méthode de transition (10≤ A ≤ 50 km²) :

QT = α * Q(RT) + β * Q(CT) Avec :

- QT : débit de projet de période de retour T.
- Q(RT) : débit fourni par la formule rationnelle, période de retour T.

Q(CT) : débit fourni par la formule Crupédix, période de retour T. Et **α, β** coefficients de pondération

α = (50-S)/40 et **β** = 1 – **α**

iv. Résultats de calcul des débits par les 2 méthode :

Les débits de pointe, obtenus par le calcule par la méthode rationnelle pour une période de retour de 100 ans :

v. Méthode Rationnelle :

Tableau VII - 5: Calcul des débits par la méthode rationnelle

N°BV	Surface (km²)	Longeur de talweg	H moy (m)	H(m)	Pente de talweg	Tc (h)	Ptc (100ans)	I 100(mm/h)	Q100 (mm/h)
1	1189,76	116,13	938,5	195,5	0,0034	27,91	89,29	3,20	471,44
2	9,36	10,07	777	/	0,0044	7,57	70,61	9,32	12,12
3	3,2	3,73	768	/	0,0054	3,10	60,13	19,38	8,61
4	2,24	2,94	769,5	/	0,0071	2,25	56,75	25,23	7,85
5	1,03	2,07	766,5	/	0,0072	1,51	52,85	34,90	4,99
6	36,9	21,28	798,5	40,5	0,0038	11,04	75,57	6,84	35,07

vi. Méthode crupédix :

Tableau VII - 6: Calcul des débits par la méthode crupédix

N BV	Surface (km²)	Ptc		I (mm/h)		Q10(m3/s)		Q100 (m3 /s)	
		10	100	10	100	Rationnel	Crupédix	Rationnel	Crupédix
1	1189,76	62.49	108.3	0.76	1.32	179.42	199.25	471 ,44	376.97
6	36,9	46.36	80.41	2.97	5.16	35.08	12.70	35,07	30,04

vii. La formule de transition :

Tableau VII - 7: Calcul des débits par la méthode la formule de transition

N BV	Surface (km²)	Ptc (100ans)	I 100(mm/h)	α	β	Q100 (m3 /s)		
						Rationnel	Crupédix	Transition
6	36.9	75,57	6.84	0.32	0.68	35,07	30,04	31,65

viii. Application sur le projet :

Exemple de calcule pour le **BV n°47**

- Calcul temps de concentration Tc :

En utilisant la formule de GIANDOTI : $Tc=1,25\times \frac{(1,5L+4\sqrt{S})}{\sqrt{h}}$

$Tc=11,04$

- Calcule Ptc $=Pjmax\times(\frac{Tc}{24})^{b}$ avec Pjmax=86,9 (100 ans) et b=0,18

  Ptc= 75,56 h

- Calcul d'intensité de Pluie $=\frac{Ptc}{Tc}=$6,84mm/h

- Calcule de débit par la méthode **rationnelle** : avec C coefficient de ruissellement=0,5 et A= 36,9 km²

$Q=0,278\times C\times I\times A = 35,08\ m^3/h$

- Calcule par la méthode de **crupidex** : avec : R Coefficient régional traduisant l'aptitude au ruissellement égal à 1

$Q10(c)=R\times (Pjmax\ (10)\ /80)^{2}\times A^{0.8} = 12.70$ (m3/s)

$Q100(c)=Q10(c)+\Delta Q\times(\frac{Y}{2.3}-1)$ avec Y variable Gambel = 4,6 et ΔQ = Q100(R) – Q10(R)

Q100= 30,04(m3 /s)

- Calcule par la méthode de **transition :**

QT = α×Q(RT) + β×Q(CT) avec Q(RT) =35,08 et Q(CT) =30,04 et α=0,32 , β=0,68

QT= 31,65 (m3 /s)

VII.1.6. Étude hydraulique :

Le dimensionnement hydraulique des ouvrages de franchissement (buses, dalots, ponts…etc.) s'avère indispensable, et ce pour assurer le transit des écoulements liquides et solides dans le respect des contraintes environnementales. Parallèlement, les ouvrages de collecte, tels que les fossés, jouent un rôle essentiel en canalisant efficacement les eaux de ruissellement superficiel.

i. Estimation des débits de saturation des ouvrage hydrauliques :

Le débit de saturation ou le débit capable de l'ouvrage est calculé par le biais de la formule de Manning Strickler sur un écoulement en régime uniforme.

$Qs = K \times S \times Rh^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i}$ Avec :

- K : Coefficient de Manning Strickler - I : Pente de pose de l'ouvrage (m/m).

- S : Section mouillée (m²).

- Rh : Rayon hydraulique moyen (m)

$Rh = Section\ mouillée / Perimètre\ mouillé$

ii. Dimensionnement des ouvrages de drainage transversaux :

iii. Dimensionnements des buses :

Buse Ouvrage constitué d'au moins un conduit transversal, généralement fait de béton, laissant circuler l'eau sous une route, une voie ferrée ou une autre structure. Pour le dimensionnement des buses, plusieurs paramètres doivent être calculés :

- Surface mouillés **Sm(m²)** :

$$Sm = d^2/4 \times \pi -$$

Périmètre mouillé **Pm** :

$$Pm = d \times \pi -$$

Rayon hydraulique **Rh** :

$$Rh = \frac{Sm}{Pm} = \frac{\frac{d^2}{4}\times\pi}{d\times\pi} = \frac{d}{4}$$

$$\mathbf{Qps} = Q100 = K \times \left(\frac{d}{4}\right)^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{I} \times \frac{\pi}{4} \times \boldsymbol{d}^2$$

D'où : $D(\text{calculé})=\left(\frac{Q100\times 10,079}{K\times\sqrt{I}\times\pi}\right)^{\wedge}\left(\frac{3}{8}\right)$

avec :

- La pente longitudinale du buse i(m/m) : i=0,01
- Buse en béton : Kst = 70

On prend : **D commercial > D calculé Les**

conditions à vérifier :

- Qps > Q100
- $V_{ecoulement}$ <4m/s
- Vérification des condition auto curage tel que :

a) Pour Rq=Qa/Qps= 0.01 => il faut => V > 0.3 m/s

b) Pour Qa/Qps =0.1 => il faut => V > 0.6 m/s **Exemple de calcule :**

$D(\text{calculé}) = \left(\frac{12,12\times 10,079}{70\times\sqrt{0,001}\times\pi}\right)^{\frac{3}{8}} = 2,16$ m

En prend 2× Ø1200 et en remplace dans Qps on obtient :

- Qps=15,926 > Q100= 12,12 conditions 1 verifier
- Vps=3.52< 4 m condition 2 verifier
- Pour 0,01 => V= 2,289 > 0,3 et pour 0,1 => V= 1,127 > 0,6 m/s
  Les conditions d'auto curage sont vérifiées

Tableau VII - 8: Dimensionnement des buses

N° BV	Qa=Q100	D Calculé (m)	D (mm)	Buse	Qps	Vps	Sm	Pm	Rh	Vérification (0,1)	Vérification (0,001)
BV 2	12,12	2,16	2400	Ø1200× 2	15,926	3,521	4,523	7,536	0,6	2.28	1,127
BV 3	8,61	1,906	2000	Ø2000	9,794	3,118	3,141	6,28	0,5	2,027	0.998
BV 4	7,85	1,841	2000	Ø2000	9,794	3,118	3,141	6,28	0,5	2,027	0,998
BV 5	4,99	1,553	1600	Ø800*2	5,402	2,687	2,010	5,024	0,4	1,747	0,86

iv. Dimensionnement des dalots :

Le dalot désigne un petit canal recouvert d'une dalle, un élément de caniveau ou un ouvrage hydraulique semi-enterré, sorte de petit aqueduc en maçonnerie placé sous les remblais des routes ou des voies ferrées. Pour le dimensionnement des dalots, plusieurs paramètres doivent être calculés :

- Surface mouillés Sm(m²) :

$$Sm = 0.8\ H \times B$$

- Périmètre mouillé :

$$Pm = 2 \times (0.8 \times H + B)$$

- Rayon hydraulique :

$$Rh = \frac{Sm}{Pm}$$

- Ht ≤ 2.5 m : Hr =80% la hauteur totale ; □ Ht > 2.5 m

: Hr = Ht-0.5.

Les dimensions retenues pour les ouvrages sont celles qui répondent aux conditions suivantes :

- Qa ≤ Qps
- V écoulement $< 4m/s$
- Les condition d'auto curage On prend :

- La pente longitudinale du dalot i(m/m) : i=0.005.
- Dalot en béton : Ks=70 le calcul du débit de saturation

peut être effectué

$$Qps = Kst \times Sm \times Rh^{\frac{2}{3}}\sqrt{i}$$ **Exemple**

de calcule :

Une proposition de dalot aux dimensions de **B=2** m (largeur) et **H=3** m (hauteur) de **3 cellules**

Donc : **Hr**=0,8×3=2,4m

Sm=0,8× 2,4 ×2× 3 =14,4m²

Pm= (2+0,8 × 3) × 2 × 3=26,4m

Qps=70×14,4× $0{,}706^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{0.005}$ = $47.583 m^3/s > Q100$ condition 1 vérifier

Vps= 3.304m/s $< 4\ m/s$

Pour **Rq**= 0,01 => V=1,057 m/s > 0,3 et pour **Rq**=0,1 => V= 2,148 m/s> 0,6 m/s

Les condition d'auto curage sont vérifier.

Tableau VII - 9:Dimensionnement des dalots

N° BV	Qa=Q100	Ouvrage prévu	H	B	Sm	Pm	Rh	Vps	Qps	Vérification (0,1)	Vérification (0,01)
BV 6	35,08	Dalot	3	2	14,4	26,4	0,545	3,304	47,583	2,148	1,057

v. Dimensionnement des ouvrages de drainage LONGITUDINAUX :

vi. Dimensionnement des fossés :

Les dispositifs de drainage longitudinaux sont des structures ou installations placées le long des routes, des voies ferrées ou d'autres infrastructures pour garantir un drainage efficace des eaux de surface et des infiltrations, préservant ainsi la stabilité et la durabilité de ces voies. Pour identifier les surfaces nécessitant un drainage, on a analysé les profils en travers et les caractéristiques du terrain naturel où le projet est situé.

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

$$\mathbf{Qs=Ks} \times \boldsymbol{Sm}^{2} \times \boldsymbol{Rh}^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{\boldsymbol{i}}$$

Avec :

- Kst : Coefficient de rugosité Strickler **Ks** = 70 (correspondant à des fossés consolidés, revêtement en béton grossier).
- **i** : Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m), égale à 0.003 au minimum
- **Rh** : Rayon hydraulique (m) = Sm/Pm = Section mouillée /Périmètre mouillé

Avec : **Sm**= $(b + z\,h) \times h$. Et **Pm**= $P+2h\sqrt{1+z^2}$

Et : Z :la pente des berges.

On opte pour des fossés de forme trapézoïdale en béton armé

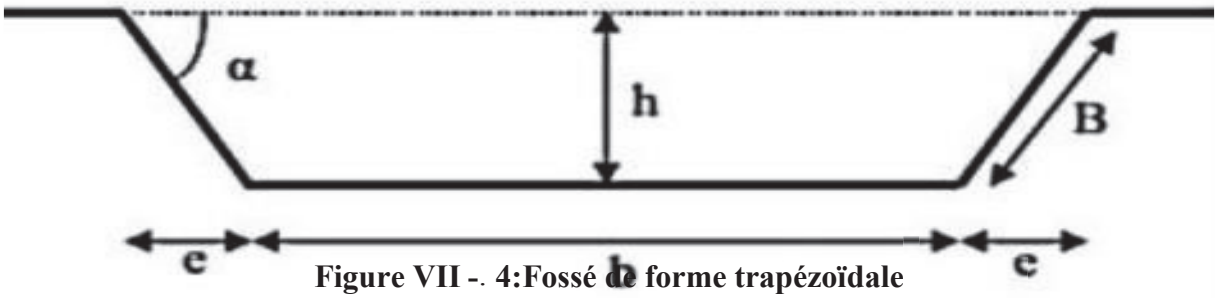


Figure VII -. 4:Fossé de forme trapézoïdale

Notre plateforme est disposée sous forme de toit avec une largeur à de 6.8m droite et 1.2m à gauche (future dédoublement).

On prend comme référence le fossé droit par ce qu'il représente le cas le plus défavorable.

Les paramètre à considérer sont les débits à évacuer qui est rapporté par la plateforme, les bermes et les talus : **Qa= Qpf + Qb + Qt**.

Tableau VII - 10:Calcul des débits à évacuer de déblai

Bv	S(m²)	P(%)	Tc	Ptc	I	C	Q	Qtot
Talu	15316,38	100	0,016	5,860	372,84	0,4	0,635	
plat forme	6419,2	4	0,051	7,588	149,15	0,7	0,186	0,854

berme	944	4	0,020	6,146	314,99	0,4	0,033	

Tableau VII - 11:Calcul des débits à évacuer de remblai

Bv	S(m²)	u	Tc	Ptc	I	C	Q	Qtot
Talu	20790,39	66,7	0,022	8,376	373,56	0,40	0,864	1,351
plat forme	21600	4	0,093	10,827	116,01	0,70	0,488	

De débit le plus défavorable Qa= Qpf + Qt = 0.864 + 0.488=1.351 m^3/s

Les dimensions retenues pour les fossés sont celles qui répondent à la condition le débit calculé est inférieur au débit de saturation (Qa < Qs).

Tableau VII - 12:Calcul de débit de saturation des fossés en fonction de leurs dimensions

I (m/m)	Pente	b	h	Sm	Rm	Rh	Ks	Qs
0,02	0,66	0,5	0,5	0,415	1,698	0,244	70	1,6

Par conséquent, il est approprié d'adopter un fossé aux dimensions b=0.5m et h=0.5 m pente=2/3 (H/V).

VII. Conclusion

Cette étude hydraulique a permis de calculer les débits des bassins versants et de dimensionner les ouvrages hydrauliques nécessaires, tels que les buse, dalot et les fossés. Les résultats montrent que les infrastructures conçues sont adaptées pour gérer les flux d'eau et prévenir les inondations, assurant ainsi une gestion efficace des eaux de ruissellement.

Chapitre VIII :

Géologique et géotechnique

VIII. GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE VIII.1.1.

INTRODUCTION :

L'étude géotechnique et géologique est une étape fondamentale dans la planification et la réalisation de tout projet ferroviaire. Elle vise à évaluer en détail les caractéristiques du sol, de la roche et des formations géologiques qui seront rencontrées tout au long de la construction et de l'exploitation.

Cette analyse approfondie, qui comprend des investigations sur le terrain, des essais de laboratoire et une analyse minutieuse des données recueillies, permet de caractériser précisément les matériaux géotechniques en jeu. Ces informations sont importantes pour évaluer la capacité portante du sol, sa perméabilité, sa résistance à l'érosion et d'autres paramètres essentiels à prendre en compte lors de la conception des fondations, des remblais, des talus et d'autres structures liées au projet ferroviaire.

En comprenant pleinement la géologie et la géotechnique du site, on garantit la stabilité, la durabilité et la sécurité des infrastructures ferroviaires, assurant ainsi le succès et la pérennité du projet dans son ensemble.

VIII.1.2. ETUDE GEOLOGIQUES :

i. Situation géographique :

La zone d'étude est située dans le Sud-Ouest algérien, elle fait partie du Sahara Nord occidental, et se trouve limiter au Nord et au Nord-Ouest par la frontière Algéro–marocaine, à l'Ouest et au Sud-ouest par la Hamada de Guir, à l'Est par le grand Erg Occidental et au Sud par la chaîne de l'Ougarta.

Elle présente une vaste superficie avec une combinaison de trois ensembles morphologiques :

- L'ensemble montagneux accidenté : Djebels ;
- L'ensemble tabulaire : plateau désertique appelé « Hamada » ;
- L'ensemble en cuvette : Dépressions. La région de Béchar est entourée d'une chaîne de montagnes : Le Djebel Antar à 1953 m, le Djebel Grouz à 1835 m, et le Djebel Béchar à 1206 m.

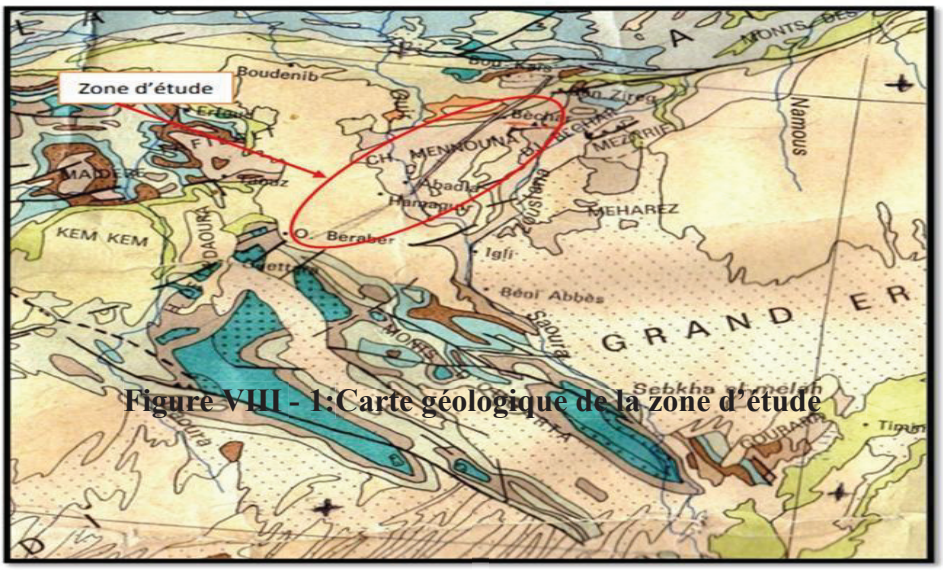
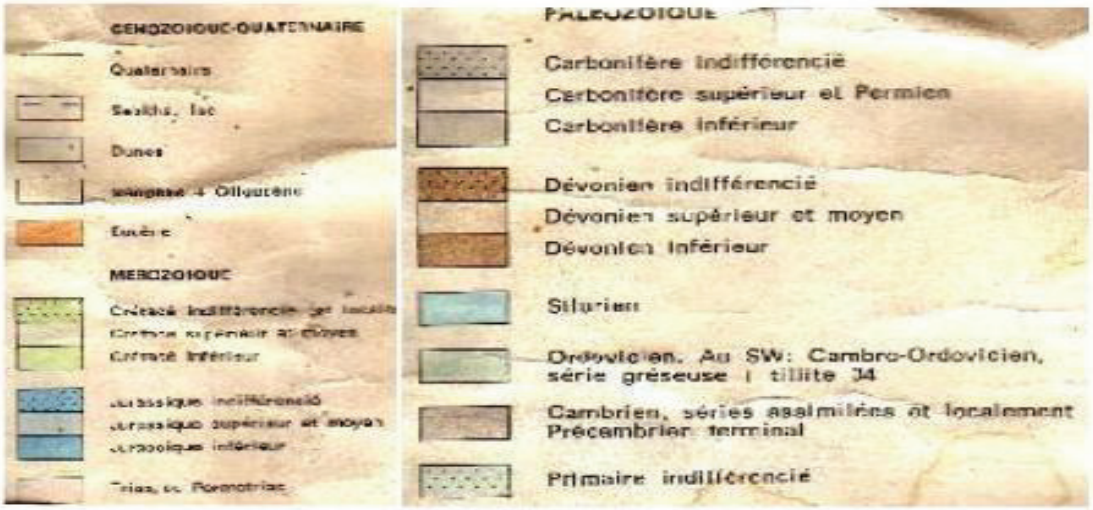


Figure VIII - 1:Carte géologique de la zone d'étude



Carte géologique de la wilaya de Béchar ii.

Sismicité :

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, définies cidessous :

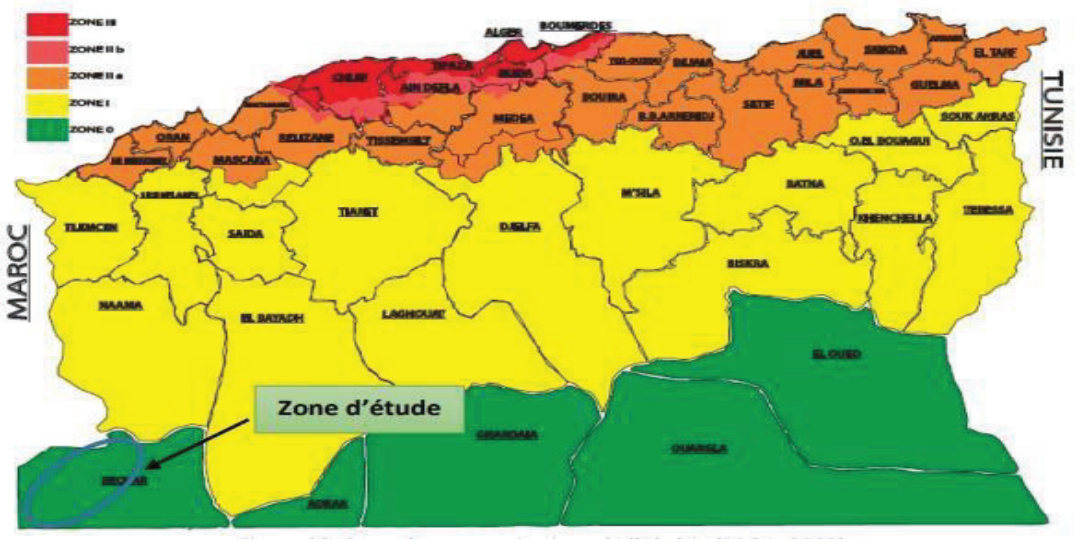


Figure VIII - 2:Carte de zonage sismique de l'Algérie (RPOA,2008)

Zone 0 : sismicité négligeable ;

Zone 1 : Sismicité faible ;

Zone 2 : Sismicité moyenne ;

Zone 3 : Sismicité élevée ;

Zone 4 : Sismicité très élevée.

D'après ce découpage la zone d'étude est située dans **la zone 0**, caractérisée par une sismicité **Négligeable**.

iii. Contraintes géologiques :

iv. Inondation

La morphologie de la zone d'étude, le réseau hydrographique ainsi que le climat aride, font que la zone traversée par le tracé présente une vulnérabilité face au risque d'inondation. Les principales zones à risque d'inondation traversé par le tracé sont énumérées dans le tableau cidessous :

Tableau VIII - 1:Zones à risque d'inondation

PK	Zone inondable
6+900 au Pk 7+200	Traversé d'oued djefdjef

v. Ensablement :

Dans la zone d'étude on constate des traces de sable sous forme de pollution éolienne, localisées généralement au niveau des plateaux (Hamada) et des dépressions. Les principaux pièges à sable rencontrés dans la zone d'étude se trouvent : Dans le couvert végétal.

- Dans les bassins versants et les lits d'oueds
- Auteurs des reliefs

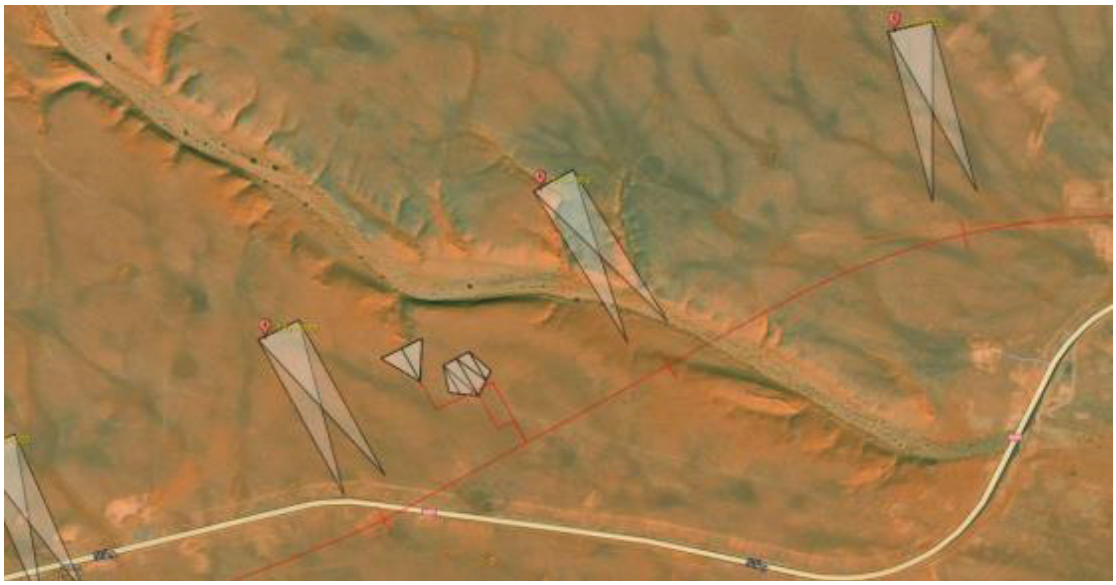


Figure VIII - 3:Sable piégé dans le réseau hydrographique entre le PK 140+00 et PK142+00

VIII.1.3. ÉTUDE GEOTECHNIQUE :

Les études géotechniques peuvent inclure des investigations géotechniques telles que des forages, des essais de pénétration, des essais de laboratoire et des mesures in situ. Ces études permettent d'obtenir des données sur les caractéristiques physiques et mécaniques du sol, telles que la densité, la résistance, la perméabilité et la compressibilité, qui sont nécessaire pour la conception de la structure de la voie ferrée.

i. Programme d'investigation géotechnique :

La campagne de reconnaissance géotechnique fournit une première évaluation des conditions du site, tandis que le programme d'investigation géotechnique est basé sur ces information pour réaliser une étude plus détaillée et approfondie.

En effet, un recueil d'informations détaillé par l'investigation géotechnique sur les caractéristiques physiques et mécaniques du sol, il est possible de prendre des décisions éclairées concernant les méthodes de construction, les matériaux à utiliser et les paramètres de conception appropriés pour assurer la stabilité, la durabilité et la performance optimale.

Tableau VIII - 2:programme d'investigation

Localisation		**Essais In Situ**	
Type	**PK**	**Essai In Situ**	**Prof. (m)**
Plateforme	PK 141+ 500	PU-31-LM/TB	4,00
Plateforme	PK 141+ 500	PDL-31-LM/TB	refus

Plateforme	PK 144+ 600	PU-32-LM/TB	4,00
Plateforme	PK 144+ 600	PDL-32-LM/TB	refus
Plateforme	PK 147+ 598	PU-33-LM/TB	4,00
Plateforme	PK 147+ 598	PDL-33-LM/TB	refus

ii. Puits de reconnaissance :

Les puits de reconnaissance creusés à ciel ouvert, réalisés à l'aide d'une pelle mécanique avaient pour **Objectif :**

- La détermination des agencements lithologiques des strates rencontrées.
- La prise des échantillons remaniés en vue des essais de laboratoire.

Pour chaque puits creusé, une stratigraphie a été rédigée et un prélèvement des échantillons pour des essais au laboratoire.

Tableau VIII - 3:coupes lithologiques des puits de reconnaissance

N°	Profondeur	Lithologie
PU31	**00,00-00,30**	calcaire friable intercalé par des passages caillouteux.
	02,00-02,20	gréseux calcaire
PU32	**00,00-00,20**	remblais (sable)
	00,30-01,30	Sable argileuse jaunâtre intercaler par des blocs gréseux calcaire
	01,30-01,50	gréseux calcaire
PU33	**00,00-00,20**	remblais (sable)
	00,20-01,20	grés calcaire enrobé dans une matrice sable argileux
	01,20-01,40	gréseux calcaire

iii. Pénétromètre dynamique :

Les essais pénétrométriques programmés aux droits des ouvrages hydrauliques le long du tronçon sont mentionnés sans le tableau suivant

Tableau VIII - 4: Résumé des résultats de l'essai du pénétromètre dynamique.

PDL	PK	Profondeur de refus (m)
PDL1 PDL2	147+050	0.16 0.18
PDL1 PDL2	147+800	0.08 0.10
PDL1 PDL2	147+975	0.10 0.12
PDL1 PDL2	148+850	0.26 0.28

iv. Sondage carotté et pressiométriques :

Les sondages carottés et pressiométriques réalisés sont énumérés dans le tableau suivant :

Les sondages carottés réalisés à l'aide des machines de forage et descendus jusqu'à des profondeurs variantes entre 10 et 20 m de profondeur avaient pour objectif :

- Identifier la lithologie du sol
- Prélever des échantillons intacts et remaniés pour des essais au laboratoire.
- Mesurer la profondeur de la nappe d'eau lorsque rencontrée dans les sondages. Vérifier la stabilité des remblais

Tableau VIII - 5: Lithologie des différentes couches

Sondage		Formation géologique
SC 7 PK 142+500	0m – 0.3.m	Sable caillouteux brunâtre
	0.3m –2.5 m	Encroutement gréso-calcaire à passés dur à la base
	2.5 m – 12 m	Calcaire gréseux peu dolomitise dur peu caverneux en état fragmente à des passages encroute par endroits

Sondage		Formation géologique
SC 8 PK 143+00	0m – 1 m	Sable caillouteux brunâtre
	1 m –5 m	Encroutement gréso-calcaire à passés dur par endroits
	5 m – 12 m	Calcaire gréseux peu dolomitise dur peu caverneux en état fragmente à des passages encroute par endroits

Sondage		Formation géologique
SC 3 PK 144+125	0m – 0.3.m	Sable caillouteux brunâtre
	0.3m –4 m	Encroutement gréso-calcaire brunâtre sableux limoneux
	4 m – 15 m	Calcaire gréseux peu dolomitise dur peu caverneux en état fragmente à des passages encroute par endroits

Sondage		Formation géologique
SC 5	0m – 0.2.m	Sable caillouteux brunâtre

PK 147+475	**0.2m –1.5 m**	**Grés altéré friable à inclusion caillouteux à la base**
	1.5 m – 12 m	**Calcaire gréseux micro-conglomératique dur peu caverneux en état fragmente à des passages encroute par endroits**

v. Pénétromètre dynamique :

Les essais pénétrométriques programmés aux droits des ouvrages hydrauliques le long du tronçon sont mentionnés sans le tableau suivant

PDL	PK	Profondeur de refus (m)	Objectif
PDL1 PDL2	147+050	0.16 0.18	Ouvrage hydraulique
PDL1 PDL2	147+800	0.08 0.10	Ouvrage hydraulique
PDL1 PDL2	147+975	0.10 0.12	Ouvrage hydraulique
PDL1 PDL2	148+850	0.26 0.28	Ouvrage hydraulique

vi. Essais au laboratoire :

vii. Essai physique :

- **Teneur en eau naturelle W :** Représente la quantité d'eau contenu dans un échantillon de sol

  Norme : NF P 94-050.

- **Analyse granulométrique :** Dans cette classification selon la granularité, un sol donné est désigné par le nom de la classe granulaire la plus important

% < 5 mm : Pourcentage des passants inférieurs à 5 mm

% <2 mm : Pourcentage des passants inférieurs à 2 mm

% < 80 µm : Pourcentage des passants inférieurs à 80 µm

% < 2 µm : Pourcentage des passants inférieurs à 2 µm

Norme : NF P 94-051 ou NF P 94-052-1.

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

WP (%): Limite de plasticité.

IP (%) : Indice de plasticité

Tableau VIII - 6: Les échantillons prélevés par les essais physique

Puit N	PK de l'axe	Profondeur	Granulométrie	Limite d'Atterberg	
			< 0.08 mm	IP	WL %
P6	138+00	0.50-1.00	13	7.30	22
P7	142+00	0.50-1.00	14	5.3	22.1
P8	145+00	0.50-1.00	15	5.2	22.5
P9	148+00	0.50-1.00	25	6.7	22

viii. Essai mécanique :

- Essai Proctor : L'essai Proctor est un essai qui permet de déterminer la teneur en eau nécessaire pour obtenir la densité sèche optimale d'un sol par compactage

  Norme : NF P 94-093.

- **CBR immédiat :** L'essai CBR immédiat évalue la résistance à la pénétration. Cet essai aide à déterminer la capacité portante du sol, essentielle pour assurer la stabilité et la sécurité.

  Norme : NF P 94-078.

Tableau VIII - 7:Les échantillons prélevés par les essais mécanique

Puit N₀	PK de l'axe	Profondeur	Proctor modifié		CBR
			POPM (t/m3)	W OPM %	
P6	138+00	0.50-1.00	1.99	8	115
P7	142+00	0.50-1.00	2.09	6	105
P8	145+00	0.50-1.00	2.08	9	108
P9	148+00	0.50-1.00	2.06	8	57

ix. INTERPRETATION DES RESULTATS :

x. Puits de reconnaissance :

Pour Puits P6 - PK (138+000) : (pour un seul cas)

PUITS		LITHOLOGIE
PK 138	0.0 m – 0.10m	TVR + cailloux + sableux brunâtre
	0.10m –1m	Sédiments gréso-carbonaté a inclusion des cailloux

Tableau VIII - 8: Les résultats fournie par le laboratoire

%Fines <80 µ	Ip(%)	WL(%)	CaCO3 (%)	YdOPM t/m3	WOPM(%)	CBR à 100%
13	7.30	22	25.2	1.99	8 %	115

Commentaires :

Ces Encroutement gréso-carbonaté sont de faible plasticité (**Ip = 7.3%**).

La valeur de densité sèche OPM est élevée (1.99 T/m3) et de (**CBR=115).**

Il s'agit des formations peu plastiques D'où : Selon la classification **GTR** version 2000, il s'agit d'un matériau de classe B5, c'est-à-dire un sol **sableux et graveleux avec fines**

xi. Classification du sol support selon l'UIC719R :

La classification élaborée par l'Union international des chemins de fer (UIC) a été adopté pour la classification du sol support le long du tracé. Cette classification se base sur les caractéristiques géotechniques ainsi que sur l'état hydrique.

Tableau VIII - 9: La classification du sol selon l'UIC

PK	Nature géotechnique	Classe de la plateforme	
		GTR	UIC
138+00	Sédiments gréso-carbonaté a inclusion des cailloux	B5s	QS2
142+00	Encroutement grésocarbonaté a matrice sableuse brunâtre	B5s	QS2
145+00	Encroutement grésocarbonaté a matrice sableuse brunâtre	B5s	QS2

148+00	Formation gréseuse a passées de calcaire durs a inclusion des cailloux	B5s	QS2

VIII.1.4. Conclusion :

Ce rapport géotechnique a fourni une évaluation détaillée des conditions du sol pour le site de construction proposée. Les investigations ont révélé des caractéristiques géologiques spécifiques, incluant la composition du sol, sa capacité portante. Basé sur ces analyses, des recommandations précises ont été formulées pour les fondations et les travaux de terrassement, assurant ainsi la stabilité et la sécurité des talus et des structures de la voie.

Chapitre IX :
Assise ferroviaire

IX. Assise ferroviaire :

IX.1.1. Introduction :

La couche d'Assise comprend la couche de ballast et la sous couche, leurs rôles principaux sont :

- L'amortissement des vibrations importantes provenant de contact rails-roue.
- La répartition des charges provenant des traverses d'une manière presque uniforme sur la plateforme.
- La contribution a la stabilité longitudinale et transversal de la voie ferre.
- L'évacuation des eaux de ruissèlement par le drainage **IX.1.2. Couche de ballast :**

Le ballast est un granulat utilise dans la construction de voies ferrées et dont 100 % de la surface des graines est entièrement concassée.

La couche de ballast a une épaisseur de **30 cm** sauf au niveau des ouvrages d'arts et tunnels **35cm**

i. Rôle :

Le ballast remplit plusieurs fonctions essentielles pour la voie ferrée :

- Assurer la transmission des charges résultant du passage des trains au sol sans entraîner de déformation par tassement.
- Fixer les traverses de manière encastrée pour garantir une résistance aux déformations longitudinales, une considération particulièrement importante pour la technique des Longs Rails Soudés.
- Assure en raison de sa granularité particulière le drainage et l'évacuation des eaux superficielle.
- Grâce à ses propriétés rhéologiques, il agit comme un amortisseur de vibrations hautement efficace, permettant la dissipation de l'énergie vibratoire par le frottement entre ses éléments constitutifs.

ii. Caractéristiques de ballast :

La qualité de ballaste est exprimé à partir des essais suivants :

- Essai micro-Deval
- Essai Los Angles
- Essai de la résistance à la compression

Le ballast utilise en chemins de fer doit avoir au moins les qualités suivantes :

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

- Pierre rocheuse dure concassée, résistance à la compression : ≥ 12KN

iii. Les inconvénients :

- En cas de contamination par des matériaux indésirables tels que la terre, des opérations de désherbage sont effectuées, cependant, il est essentiel de remplacer régulièrement le ballast.
- Tassement du ballast sous les travers, ce qui provoque une déformation verticale de la voie il est alors nécessaire de réinjecter du ballast de faible granulométrie sous les traverses ; ou bien de réaliser une opération d'entretien à laide dune bourreuse

IX.1.3. Sous -couche :

La sous-couche agit comme une couche d'adaptation intermédiaire entre le ballast et la plateforme, pouvant être mono ou multicouche selon les besoins spécifiques.

De haut en bas, elle est composée d'une couche de sous-ballast constituée de gravier propre et bien gradé (0/31,5), suivie d'une couche de fondation en cas de sol de mauvaise qualité, et enfin, le cas échéant, d'une couche anticontamination comprenant des feuilles de géotextile ou de géomembrane.

i. Rôle de sous-couche :

Elle a des rôles multiples :

- Amélioration de la portance et meilleure répartition des charges
- Contribution a l'amélioration des propriétés vibratoires
- Anticontamation entre la plateforme et la couche de ballast
- Protection contre l'érosion et le gel Evacuation des eaux de pluies **ii.**

Exigence technique :

L'épaisseur et la nature de la sous-couche dépendent :

- Des caractéristiques intrinsèques des sols de la plateforme
- Des conditions climatiques du site
- Des caractéristiques hydrologique et hydraulique de site **iii. Sous-ballast :**

Le sous-ballast représente une composante fondamentale dans la construction des voies ferrées, étant présente de manière constante, même sur des plateformes rocheuses. Sa fonction principale est d'assurer une couche d'égalisation afin de réduire la raideur de la base. Typiquement composé de gravier propre bien gradué de taille 0/31,5 mm, avec au moins 30% de matériau concassé présentant un DRG (Diamètre de la plus grosse roche) ≥ 12, il est compacté à 100% de son Optimum Proctor Normal (OPN). En plus de son rôle d'égalisation, le sous-ballast participe également à la répartition des charges exercées sur le sol de la plateforme.

iv. La couche de fondation :

La couche de fondation, habituellement composée de gravier propre bien gradué, doit être compactée à 100% de son Optimum Proctor Normal (OPN). Son rôle est de supporter la circulation des engins de chantier avant la pose de la couche de sous-ballast. Cependant, elle

n'est pas requise sur les sols de bonne qualité. Les matériaux utilisés doivent répondre à des spécifications précises, telles que le sous-produit de carrière du ballast (0/31,5 mm) proprement gradué avec un DRG supérieur à 10.

IX.1.4. La plateforme :

La plateforme représente la partie supérieure de la structure en terre qui supporte la souscouche. Elle est composée de terres apportées lors d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai ou aménagée en couche de forme.

La plateforme doit répondre à divers critères, tels que la répartition adéquate des charges, l'évacuation efficace des eaux, la prévention de la pénétration du ballast par les limons et les argiles, l'atténuation des vibrations, ainsi que le drainage des eaux souterraines.

i. Classification des sols pour la plateforme :

La qualité d'un sol dépend des deux paramètres ci-après : La nature géotechnique du sol, l'identification géotechnique est utilisée à cet effet.

 Les conditions hydrologiques et hydrogéologiques locales sont considérées comme bonnes lorsque :

- ✓ La couche supérieure du sol est située au-dessus de toute nappe phréatique naturelle.
- ✓ La plateforme ne subit pas de percolations naturelles transversales, longitudinales ou verticales nuisibles, causées par la circulation de l'eau à travers le sol.
- ✓ Les eaux de pluie sont correctement évacuées de la plateforme et les systèmes de drainage longitudinaux sont en bon état de marche.

Si l'une au moins de ces trois conditions n'est pas remplie, les conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont réputées mauvaises.

On distingue Alors les classes de qualité des sols suivants :

Tableau IX - 1: Les classes de qualité des sols:

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

ii. Classification des plateformes :

La portance d'une plateforme dépende de la :

- Qualité du sol constituant le corps de remblai ou du sol en place en fond de déblai. Qualité et de l'épaisseur de la couche de forme (lorsque cette dernière existe).

En fonction des paramètres évoqués précédemment, on peut classifier les plateformes en trois catégories selon leur qualité de portance :

- **P_1** : Plateforme médiocre
- **P_2** : Plateforme moyenne
- **P_3** : Plateforme bonne

Tableau IX - 2: Classification des plateformes

Spécification pour le Cœur du remblai ou esplanade naturelle de déblai		**Capacite de support nécessaire pour la plateforme**	**Spécifications pour la couche de forme**		
Qualité du matériel	**CBR_{min} (a)**		**Qualité du matériel pose**	**CBR_{min} (b)**	**Epaisseur minimal (m)**
QS1	**2-3**	P1	**QS1**	2-3	-
		P2	**QS2**	5	0.5
		P2	**QS3**	10-17	0.35
		P3	**QS3**	10-17	0.5
QS2	**5**	P2	**QS2**	5	-
		P3	**QS3**	10-17	0.35
QS3	**10-17**	P3	**QS3**	10-17	-

Les résultats des travaux sur le terrain indiquent que, pour atteindre une bonne plateforme de classe P3 pour une classe C donnée, une couche de forme est nécessaire.

Pour obtenir une plateforme de qualité de support de type P3 sur des matériaux de classe QS2, nous avons choisi d'utiliser une couche de forme dont la qualité du sol est QS3, avec une épaisseur de 35 cm.

IX.1.5. Dimensionnement des couches d'assise :

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 + souscouche est donnée par l'expression suivante :

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

:

E : classe de la plateforme P1, P2, P3 **a :** classe de

la voie (groupe de 1-6 selon UIC 714) **b :** type et

longueur de la travers **c :** type de

dimensionnement **d :** la charge maximale à l'axe

g : Géotextile

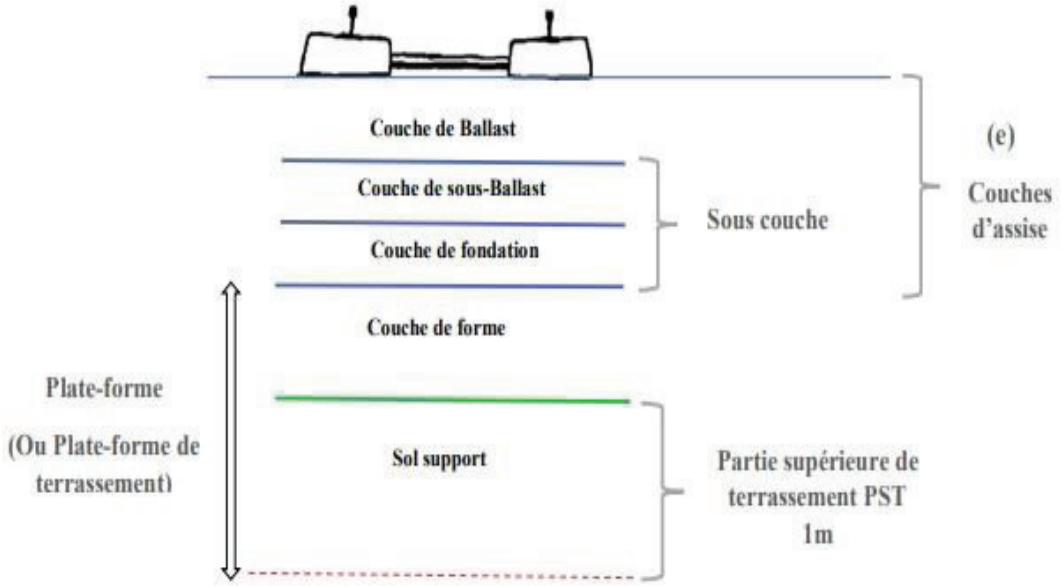


*Figure IX -:Structure d'assise ferrière***Figure IX - 1: Structure d'assise ferrière**

i. Application au notre projet :

E=0,45 m pour une plateforme de classe de portance P3 **a**=0 **b**=

0.0425 m ≈0.05 m pour travers en béton de longueur L=2,415m

c=0 pour un dimensionnement normal **d**= +0,15 m **f**=0,05 **g**=0

e(m)=0.5+0+0.05+0+0+0.15+0.05+0=**0.70m**

L'épaisseur des couches d'assise est alors fixée à **0.70m**

Tableau IX - 3:Les couches d'assise de voie

Couches	Epaisseur (cm)
Ballast	30
Sous-ballast	20

Couche de fondation	20
Couche de forme	35

IX.1.6. Conclusion :

Les structures d'assise de la voie, comprenant la couche de forme et la sous-couche, sont conçues et dimensionnées en tenant compte de la classe de portance de la plateforme ferroviaire ainsi que des conditions géotechniques de la plateforme de support de la voie.

Chapitre X :
Profil en travers

X. Profil en travers :

X.1.1. Introduction :

Le profil en travers, une coupe transversale effectuée suivant un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la voie projetée, détaille les dévers appliqués à la voie et intègre tous les éléments de la superstructure, de l'infrastructure et de l'assainissement**.**il permet de visualiser :

- Les diffèrent couche de l'assise ferroviaire.
- Les gabarits, entraxes et clôtures.
- Les dispositifs hydrauliques et les équipements de signalisation et de télécommunications.

Il permet de calculer les paramètres suivants :

- La position des point théoriques d'entrée en terre des terrassements
- L'assiette du projet et son emprise sur le terrain naturel Les cubatures

Afin d'éviter de répéter sur chaque profil en travers les dimensions générales et les détails constructifs récurrents, un profil unique nommé "profil en travers type" est établi en premier lieu dans un projet de voies ferrées. Ce profil contient toutes les dimensions et tous les détails constructifs, tels que les largeurs des voies, autres bandes, et les dimensions des couches de la superstructure.

Donc on distingue deux types de profil : **X.1.2.**

Profil en travers types :

Une représentation graphique précise regroupe et détaille tous les éléments de la voie, y compris les dimensions de la voie, ses dépendances, la structure de la couche d'assise avec ses composantes et épaisseurs, les pentes des surfaces et des talus, ainsi que le système d'évacuation des eaux.

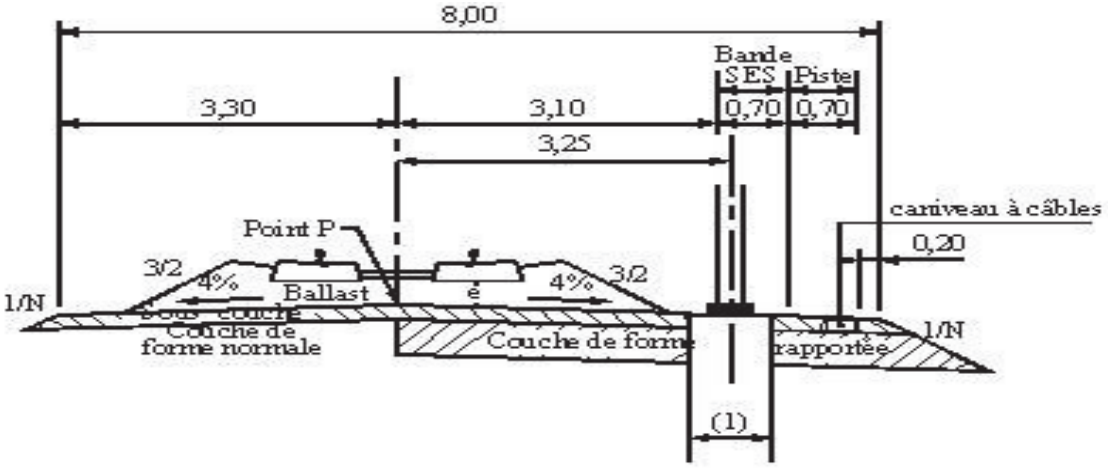


Figure X - 1:Profil en travers typee en travers type **Figure X - 1:Profil en travers type**

X.1.3. Profil en travers courant :

X.1.4. Les éléments de profil en travers :

- **La plateforme :** c'est l'élément sur laquelle repose la voie
- **La voie :** c'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains
- **Assiette :** c'est la surface de la voie délimitée par les terrassements
- **L'emprise :** C'est la surface du terrain naturel affecté à la voie, limitée par le domaine public
- **La berme :** Supporte des équipements (barrières de sécurité, signalisations.).
- **Le fossé :** c'est un ouvrage hydraulique destine à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la voie et talus et les eaux de pluie **X.1.5. Profil type de notre projet :**

Le profil type utilisé sur notre tronçon a été choisi selon les exigences de la SNTF, il est le suivant :

i. Pleine voie :

- Type de la ligne : voie unique mixte
- Ecartement de la voie : 1435 mm
- La voie repose sur une plateforme de 8 m
- La pente latérale en toit de la plateforme 4%
- Les pentes de talus :
  - ✓ En déblais : 1H/1V si H ≤ 6m
  - ✓ En remblais 3H/2V si H ≤ 8m
- Epaisseur du ballast : 30cm
- Epaisseur de la sous-ballast : 20cm
- Epaisseur de la couche de fondation :20 cm **ii. La gare de Hammaguir :**

- Ecartement de la voie : 1435 mm
- Entraxe :
  - ✓ 4.5 m
  - ✓ 4.2 m
- Distance axe de voie – bord de quai : 1,65 m.
- Pente latérale de la plateforme : 4%.
- Epaisseur de ballast : 30 cm.
- Epaisseur de sous-ballast : 20 cm.
- Epaisseur de la couche de fondation : 20 cm

Chapitre XI : Terrassement

XI. Terrassement :

XI.1.1. Introduction :

Les terrassements englobent l'ensemble des travaux effectués sur le sol naturel (comme l'excavation, le chargement, le transport, le nivelage et le compactage), et se concluent par la livraison du sol prêt à accueillir les structures ferroviaires. Ces travaux impliquent des opérations de déblaiement et de remblaiement**.**

XI.1.2. Règles et objectifs :

- Utiliser les matériaux disponibles sur le chantier ou provenant d'une zone d'emprunt aussi proche que possible
- Adapter le terrain naturel au profil en long du projet et garantir une portance suffisante pour permettre la construction des couches de fondation.
- Penser au stabilité, drainage et protection des talus à court et à long terme.

XI.1.3. Remblais :

L'étude de profil longitudinal établi (PK 138+000 au PK 149+879) fait ressortir des tronçons en remblai sur un linéaire de 7850 ml qui ont des hauteurs maximales variable entre 0.42m et 7.85m.

Les remblais seront profilés à 3H/2V (Horizontal/Vertical) à l'exception des zones où la hauteur du remblai dépasse les 8m la pente est de 2H/1V.

Tableau XI - 1:Cas plus défavorable de remblais

PK Début	PK Fin	Linéaire (m)	Hmax (m)	Pente proposer
138+000	**140+750**	2750	7.85	3H/2V
144+250	**149+350**	5100	4.1	3H/2V

XI.1.4. Déblai

Les sections concernées par les terrassements en déblais représentent des hauteurs variables allant de 0.39 m à 6.51 m. (par rapport à l'axe de la voie projetée).

Les déblais seront profilés à 1H/1V (Horizontal/Vertical) à l'exception des zones où la hauteur du remblai dépasse les 6m la pente est de 3H/2V.

Tableau XI - 2: Cas plus défavorable de Déblai

PK Début	PK Fin	Linéaire (m)	H_{max} (m)	Pente proposer
140+750	**143+750**	3000	6.51	1H/1V
149+350	**149+825**	175	0.43	1H/1V

XI.1.5. Etude de stabilité :

Caractéristiques mécaniques et hydrogéologiques et géotechniques des matériaux.

Les principaux paramètres géotechniques déterminés pour chaque lithologie qui sont employés dans les analyses de stabilité des déblais remblais sont les suivants :

- Poids spécifique γ.
- Cohésion c'.
- Angle de frottement interne ϕ'.

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

- Fs ≥ 1.3 à court terme Fs ≥ 1.5 à long terme.
- Fs ≥ 1.1 situation accidentelle (séisme).

i. Vérification de la stabilité des déblais et remblais (logiciel slide 6.0) :

La vérification consiste à calculer le facteur de sécurité global pour diverses positions des centres des cercles de rupture, en comparant la valeur obtenue avec le minimum normalisé. Le facteur de sécurité global est défini comme suit : Fs = Tr / Ts, où :

- **Fs** est le facteur de sécurité,
- **Tr** est la résistance au cisaillement mobilisée **Ts** est la sollicitation au cisaillement.

Le calcul de la stabilité se fait dans le cas statique car la wilaya de Ghardaïa est située dans la Zone sismique 0.

ii. Zone de remblai : (cas le plus défavorable) Pente

proposée : 3H/2V avec une risberme de 2m

Zone sismicité : zone 0 (sismicité négligeable).

Tableau XI - 3: Les paramètres de essaie cisaillement cas remblai

PK Début	PK Fin	Hmax (m)	Nature du terrain	C'(kPa)	γ_h(kn/m^2)	φ°
138+000	**140+775**	7.2	Remblai	15	20	38
			Encroutement gréso-calcaire	100	19	33

Dans notre cas le coefficient de sécurité égale a **1,8**

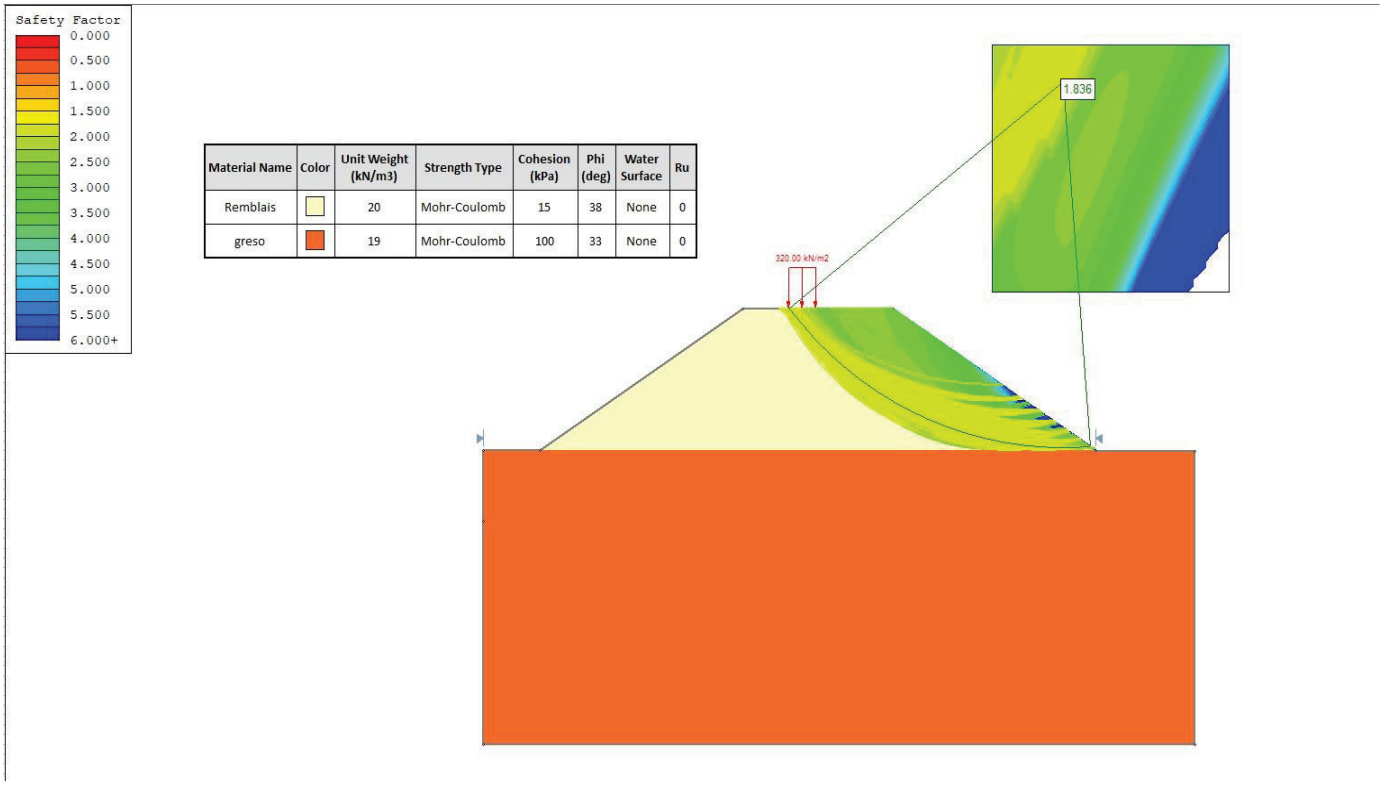


Figure XI- 1:Vérification de stabilité cas remblai

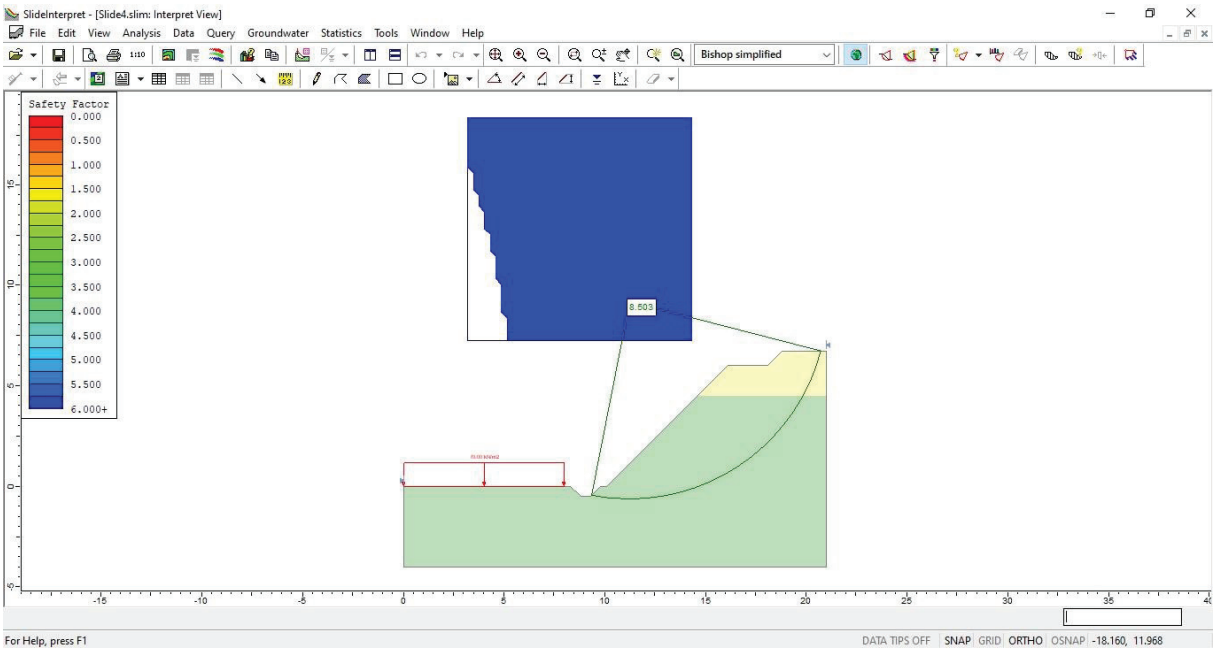
iii. Zone de déblai :

Pente proposée : 1H/1V

Sismicité Zone : Zone 0 (sismicité négligeable)

Tableau XI - 4: Les paramètres de essaie cisaillement cas déblai

PK Début	PK Fin	Hmax (m)	Nature du terrain	C'(kPa)	γ_h(kn/m^2)	φ°
140+775	**143+800**	5.62	Calcaire gréseux	150	19	40
			Encroutement gréso-calcaire	100	19	33



XI.1.6. Calcule des volumes des terrassements :

Les volumes des terrassements sont déterminés une fois la ligne rouge du projet établie, ainsi que les différentes altitudes du terrain naturel, à partir des traces en plan, profils en long et en travers.

Le calcul des cubatures des terrassements a été fait à l'aide du logiciel « CIVIL 3D 2023», les tableaux ci-après résument les résultats obtenus :

Tableau XI - 5: Quantités remblai et déblai

Terrassements	Volume (m^3)
Remblais	291719
Déblais	223045

Tableau XI - 6:Les volumes des matériaux terrassés

Couche	Volume (m^3)
Ballast	23792
Sous ballast	16574
Couche de fondation	18015

Couche de forme	34995

XI.1.7. Franchissement d'écoulement d'eau :

i. Les ouvrages hydrauliques :

Pour franchir l'écoulement d'eau en tout sécurité on envisage la construction des ouvrages, (buse, Dalot) suivant l'importance du cours d'eau franchi. Dans notre tronçon il a été nécessaire de considère 5 ouvrage hydraulique, tel que détaillé dans l'étude hydraulique.

XI. Conclusion :

Dans notre projet, nous pouvons conclure que les ouvrages d'art les plus fréquemment utilisés sont des passages supérieurs (rétablissement routier). Les dalots sont les ouvrages hydrauliques utilisés dans la totalité de notre tronçon d'étude.

Chapitre XII :
Conception de la gare de

HAMMAGUIR

XII. CONCEPTION DE LA GARE HEMAGUIR

XII.1.1. INTRODUCTION :

Une gare ferroviaire est une installation destinée au départ, à l'arrivée et au transit des trains. Elle est généralement équipée de quais pour l'embarquement et le débarquement des passagers, ainsi que de voies de service pour le stationnement des trains. Il existe différents types de gares : les gares voyageuses et les gares marchandise.

XII.1.2. LES DIFFERENTE TYPE DES GARES :

i. Gare Voyageurs : Une gare voyageuse est conçue principalement pour le transport des passagers.

- Elle offre des installations telles que des quais, des guichets de vente de billets, des salles d'attente et d'autres services destinés aux voyageurs. **ii. Gare Marchandises :**
- Contrairement à une gare voyageuse, une gare marchandises est dédiée au chargement, au déchargement et au transfert de marchandises et de fret.

- Elle dispose généralement de voies de chargement, de déchargement et de stockage pour les wagons de marchandises.

iii. Gare Mixte :

- Une gare mixte combine à la fois des installations pour les passagers et pour les marchandises.
- Elle peut servir de point de départ et d'arrivée pour les trains de voyageurs ainsi que pour les trains de marchandises.
- Ces gares offrent donc à la fois des services pour les passagers et pour le fret, combinant les caractéristiques des gares voyageurs et des gares marchandises.

iv. Gare de Croisement :

- Une gare de croisement est une installation où deux voies ferrées se croisent ou se rejoignent.
- Elles permettent aux trains venant de directions opposées de se croiser sans se perturber mutuellement.
- Les gares de croisement peuvent être situées dans des zones où les trains doivent changer de voie ou se croiser pour suivre leur itinéraire respectif.

XII.1.3. INSTALLATIONS DE BASE D'UNE GARE :

On trouve :

- Bâtiment de voyageurs
- Les Quais d'embarquements
- Les salles d'attente, des boutiques, des restaurants pour les voyageurs
- Hangar de stockage pour les marchandises
- Atelier d'entretien des véhicules Passerelles
- Signalisation et Panneaux d'Information

Tout dépend de type de gares et capacité et son utilité.

XII.1.4. AMENAGEMENT DE LA GARE :

i. Installations d'une gare a voyageur :

Les installations et constructions présentes dans une gare ferroviaire varient en fonction de son type, de sa conception et de sa catégorie**.**

ii. Les bâtiments à voyageurs (B.V) :

Sont les principaux édifices dans une gare ferroviaire, où les passagers trouvent les guichets de vente de billets, les salles d'attente, les toilettes, et d'autres installations destinées aux voyageurs. Ces bâtiments servent également de point central pour l'accès aux quais **iii. Les bâtiments à usages divers (B.U.D) :**

Ils comprennent une variété d'installations auxiliaires telles que les bureaux administratifs, les entrepôts de marchandises, les locaux techniques, les salles de réunion, etc. Ils sont souvent situés dans la zone de la gare pour répondre aux besoins opérationnels et logistiques.

iv. Quais :

Les quais sont des plateformes surélevées le long des voies ferrées où les passagers montent et descendent des trains. Ils sont équipés d'abris, de panneaux d'information et parfois de bancs pour le confort des passagers en attente de leur train.

v. Auvents et abris :

C'est une structure située au-dessus des quais ou des zones de passage, offrant une protection contre les intempéries aux passagers et au personnel de la gare. Ils peuvent être en forme de toits, de marquises ou d'autres formes architecturales **vi. Abords :**

Les abords désignent les zones environnantes de la gare, y compris les voies d'accès, les espaces de stationnement, les zones de dépose-minute, les zones piétonnes et les aménagements paysagers

vii. Passages sous terrain et les passerelles :

Les passages souterrains et les passerelles permettent aux passagers de traverser les voies ferrées en toute sécurité. Les passages souterrains sont situés sous les voies, tandis que les passerelles sont des ponts enjambant les voies.

viii. Heurtoir

Le heurtoir, parfois appelé butoir, est une structure de sécurité située à l'extrémité des voies pour arrêter les trains et prévenir les déraillements ou les collisions en cas de dépassement de la limite de la voie.

ix. Parking pour stationnement des véhicules :

Un espace pour stationnement des véhicules des voyageurs et des employeurs aménagés où les conducteurs peuvent garer leurs voitures, motos, camions ou autres véhicules de manière temporaire ou prolongée.

x. Installations de la gare marchandise :

Les installations de la base d'une gare de marchandises sont :

xi. Un BS (bâtiment de service) :

Le (BS) est une installation utilisée pour le stockage d'équipements, d'outils, de matériaux et d'autres fournitures nécessaires à l'entretien et à la maintenance des voies ferrées, des trains et des installations de la gare. Il peut également servir de base pour le personnel chargé des opérations et de la maintenance.

xii. Des cours de débord :

Les cours de débord sont des zones adjacentes aux voies ferrées où les wagons de marchandises peuvent être temporairement stationnés lorsqu'ils ne sont pas en cours de chargement ou de déchargement. Ces zones permettent de libérer les voies principales pour le passage des trains en cours de circulation.

xiii. Quais de débord :

Les quais de débord sont des extensions des quais principaux utilisées pour le chargement et le déchargement des marchandises depuis les wagons de fret. Ils permettent de manipuler efficacement les marchandises sans bloquer les voies principales de la gare.

xiv. Halle de stockage :

Il est destiné au stockage temporaire ou à long terme de marchandises, de matériaux ou d'autres articles. Elle peut être utilisée pour entreposer des marchandises en attente de transfert vers d'autres destinations ou pour les besoins de la gare elle-même, tels que les fournitures et les équipements de maintenance.

XII.1.5. MARGE DE GLISSEMENT A L'AVAL DES SIGNAUX :

i. Définition de la marge de glissement :

Il s'agit de la portion de voie qui se trouve en aval d'un signal fermé et qui prolonge le parcours du train. Aucune autre circulation de train n'est permise dans cette zone pour réduire au minimum les risques d'accidents.

ii. Longueurs de la marge de glissement :

Les longueurs de la marge de glissement sont définies selon la norme UIC 739 comme

Suit : $50 \leq LG \leq 200$

Selon la vitesse de la ligne, on l'utilise comme marge à l'aval des signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie. LG = 200m pour $V \geq 60$ km/h. « **pour notre projet »**

LG = 100m pour $40km/h \leq V \leq 60$ km/h.

LG = 50 m pour $V < 40$ km/h.

XII.1.6. Appareils de Voie :

i. Choix des appareils de voie :

ii. UIC 60-500- 1/12 : avec rayon 500 m nous l'avons utilisé dans la voie principale de la gare, afin d'assurer une bonne vitesse de franchissement des trains qui passent a (65 km/h).

iii. UIC 60-300- 1/9 : avec rayon 300 m pour une vitesse réduite à (50 km/h) utilisé dans le reste des voies. **iv. IMPLENTATION DES APPAREIL DE VOIS :**

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

v. En pointe :

La longueur minimale d'alignement (L1) devra être égale à Vd/2, Vd étant la Vitesse exprimée en km/h de franchissement en voie déviée

vi. En talon de la branche déviée :

La longueur minimale d'alignement à respecter devra être supérieur à Vd×0,1.

vii. En talon de la voie directe :

Longueur minimale d'alignement L2, à réserver, doit être supérieure à 50m.

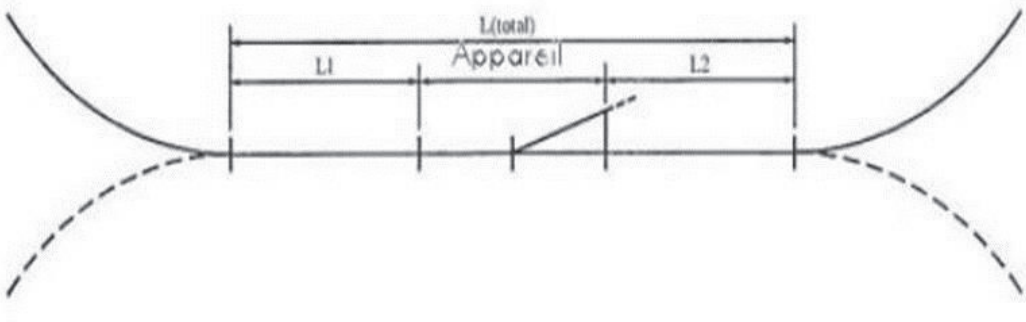


*Figure XII -:1:Paramétre d'implantation des ADV Paramètre d'implan*__Figure XII__ *ation des ADV*__- 1:Paramètre d'implantation des ADV__

Tableau XII - 1:Caractéristiques des appareils de voie utilisé dans notre projet

Appareil de voie	Type d'appareil	Déviation	Vitesse de Franchissement (Km/h)
1	UIC60-500 : 1\12	A droite	70
2	UIC 60-300 : 1/9	A droite	50
3	UIC 60-300 : 1/9	A droite	50
4	UIC 60-300 : 1/9	A gauche	50
5	UIC 60-300 : 1/9	A gauche	50
6	UIC 60-300 : 1/9	A droite	50
7	UIC 60-300 : 1/9	A gauche	50
8	UIC 60-500 : 1/12	A gauche	70

XII.1.7. Garage franc :

Le garage franc est une zone spécifique d'une voie ferrée qui se situe après un signal fermé. Son rôle principal est d'assurer qu'il n'y aura pas de collision entre le train dévié et le train circulant

sur la voie principale, Son emplacement est déterminé en fonction de l'appareil de voie, avec une distance de 3,57 mètres par rapport à son cœur, permettant ainsi de minimiser les risques d'accidents en évitant la collision avec le train en stationnement ou en attente.

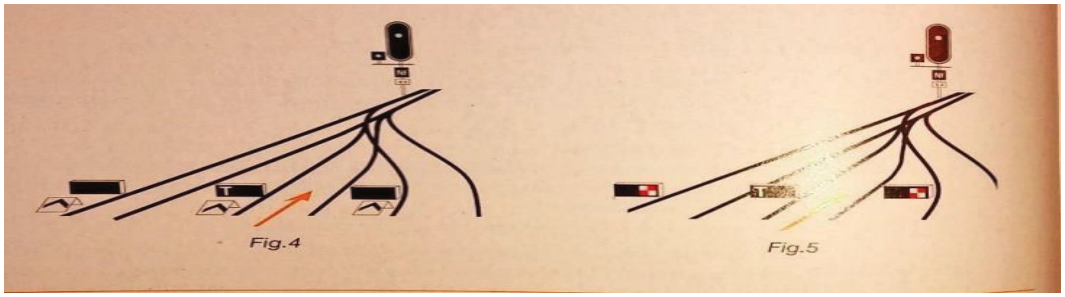


Figure XII - 2:Signalisation des garage francs

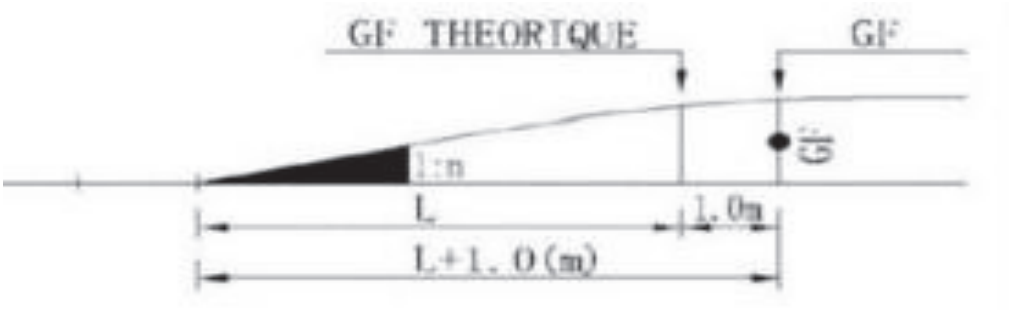


Figure XII - 3:GF Théorique

Il est donné par : **GF= 3.57 × N + 1 avec N= tan(α).**
Avec : **N** : varie selon l'ouverture de l'appareil de voie

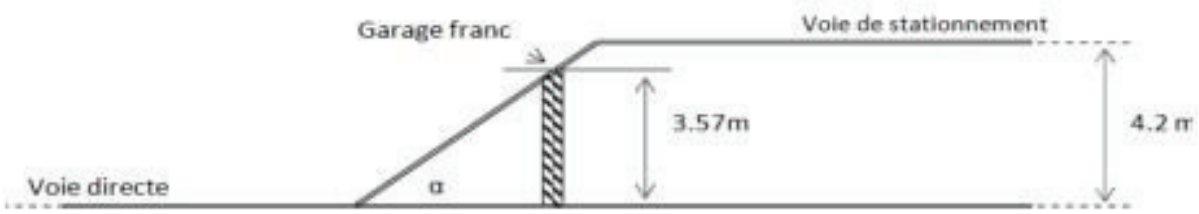


Figure XII - 4:Schéma illustratif de garage franc

Tableau XII - 2: Les longueurs des garages franc

Appareil de voie	Garage franc (m)
UIC60-500 : 1\12	43.84
UIC 60-300 : 1/9	33.13

XII.1.8. LES HEURTOIRS :

Ce sont des équipements installés à la fin d'une voie ferrée dans le but d'immobiliser les trains qui ne parviennent pas à s'arrêter à temps ou qui risquent de dériver, les empêchant ainsi de quitter la voie.



Figure XII - 5:Les heurtoir de sécurités

XII.1.9. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES GARES :

i. La longueur utile d'une voie de stationnement :

C'est la distance requise pour permettre au train de se garer sur la voie de dépassement sans perturber la circulation sur la voie principale ou sur les autres voies de dépassement voisines.

La longueur entre deux garages francs s'appelle la longueur utile, ses valeurs sont représentées par le calcule suivant :

LU = Longueur du train + Distance de glissement + marge de sécurité

Longueur de train = 2150 m

Distance de glissement = 200 m

Marge de sécurité = 50 m

Lu = 2150 + 200 + 50

Longueur utile des voies = 2400 m

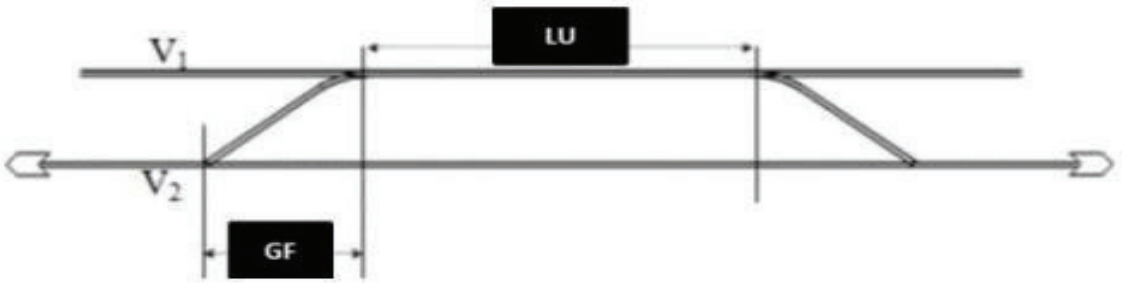


Figure XII - 6:La longueur utile d'une voie de stationnement ii.

Calcul de nombre de voie :

Afin de déterminer le nombre de voies au niveau des gares de La nouvelle ligne minière Bechar-Gara Djebilet on procédera au calcul théorique du nombre des voies aux gares comme suit :

$$m = 1.2\left(\frac{\sum c_i \times n_i \times t_i}{T} + 1\right)$$

m = Nombre de voies

ci = Coefficient de régularité

ni = Nombre de services

ti = Temps d'attente en gare

T = Temps journalier d'ouverture de la gare

ci : La régularité a été définie à 90% pour les trains de fret et à 75% pour les trains voyageurs.

m=4 voies **iii. Déclivité dans les gares :**

La déclivité est déterminée en fonction des activités qui y sont prévues sur la gare. Dans notre projet, la déclivité est de 0‰ afin d'éviter tous déplacement possible des trains.

iv. Dimensionnement de quai :

v. Définition :

Un quai est un aménagement dans une gare ferroviaire conçues pour permettre aux passagers de monter et de descendre des trains en toute sécurité.

Tableau XII - 3:Dimensionnement de quai

Caractéristiques	Description	Choix obtenue
Longueur	Grande ligne : 450m Service régional : 350m Banlieue : 225m	Banlieue
Largeur	Quai intermédiaire B > 8 m. Quai extérieur B ≥ 6m	Quai intermédiaire et extérieur
Hauteur	Quai bas : 350 mm Quai mi- haut : 550 mm Quai haut : 760 ≤ h ≤ 1000 mm	Mi haut

XII.1.10. Les longueurs utiles :

- Longueur de vie 1 :2400 m

- Longueur de vie 2 :2360m
- Longueur de vie 3 :1094m
- Longueur de vie4 :850m

XII.1.11. Passerelle supérieure :

Selon la SNTF :

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

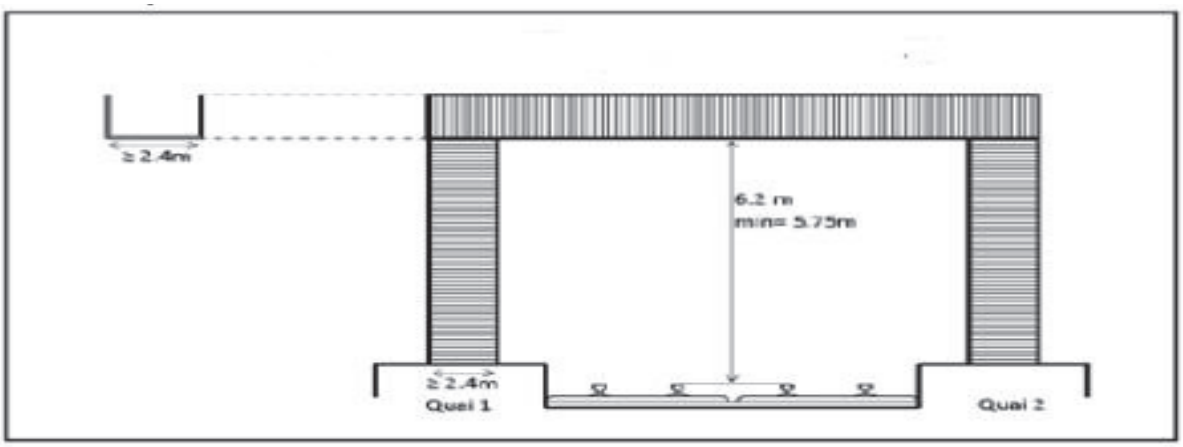


Figure XII - 7:Schema illustrative de passerelle supérieur

Chapitre XIII : ASSAINISSEMENT DE LA GARE

XIII. ASSAINISSEMENT DE LA GARE

XIII.1.1. Introduction :

L'assainissement des gares est important pour la sécurité et le confort des passagers ainsi que la durabilité des infrastructures, l'ingénieur doit concevoir les solutions techniques pour le drainage efficace des eaux pluviales

Ce drainage sera formé par fossés, drains et collecteurs qui conduiront les eaux aux passages hydrauliques (buse, dalot, bassin…) ou directement aux lignes d'eau existantes.

XIII.1.2. Assainissement Transversal

i. Définition

L'assainissement transversal concerne la gestion des eaux pluviales sur la largeur des quais et des plateformes de la gare

- **Pente des quais :** Pour assurer un bon drainage des eaux pluviales, il est essentiel que les quais soient légèrement inclinés. Une pente de 2% en "toit" signifie que les quais sont plus hauts au centre et s'inclinent vers les bords, facilitant ainsi l'écoulement de l'eau vers les côtés. Cette inclinaison permet d'éviter la stagnation de l'eau sur les surfaces où les passagers marchent.
- **Inclinaison des plateformes :** En plus de la pente en "toit" des quais, les plateformes elles-mêmes doivent avoir une inclinaison transversale de 4% en " V " et en "toit". Cette inclinaison plus marquée assure que l'eau s'écoule rapidement vers les bords de la plateforme pour les voies en " toit " et s'écoule vers le milieu pour les voies en " V ", où elle peut être collectée par les systèmes de drainage appropriés.

XIII.1.3. Assainissement Longitudinal

i. Définition :

L'assainissement longitudinal se concentre sur la gestion des eaux de ruissellement le long de la longueur des voies et des quais

ii. Disposition des drains :

Les drains sont disposés longitudinalement, c'est-à-dire le long des voies, avec une pente de 4‰. Cette légère pente assure que l'eau de ruissellement, qui s'infiltre dans le ballast et la plateforme, est dirigée vers les drains

iii. Évacuation vers le réseau d'assainissement

Ces drains collectent l'eau et la dirigent vers le réseau principal d'assainissement (bassin de décantations pour notre cas) via des buses traversées (conduits ou tuyaux) qui ont une pente de 1%. Cette pente assure un écoulement continu et efficace de l'eau vers les systèmes de traitement ou d'évacuation finale, évitant ainsi toute accumulation d'eau qui pourrait endommager les infrastructures ferroviaires ou causer des problèmes de sécurité.

XIII.1.4. Dimensionnement de drainage longitudinale et transversale :

Dans la conception du système de drainage longitudinal et transversale on a opté pour une pluie de référence les considérations suivantes :

- Période de retour de T= 10ans.
- Tc= 15 min pour drains et les collecteurs La pente minimale pour les drains est de 0.3%.
- La pente minimale pour les collecteurs est de 0.5%
- La pente minimale pour les organes de drainage superficielle de plateforme – fossés est de 0.3%.
- Kst=1/ η =90
- C = 0.7 et 0.9
- P_{jmax} = 50.1 mm

Le drain choisi est de type PVC (40% du section supérieur est perforé) **Les**

diffèrent bassins a délimité :

Bassin versant 1 ($\frac{1}{2}$ quais bâtiment voyageur + $\frac{1}{2}$ quais intermédiaires + plateforme 1)

Bassin versant $\frac{1}{2}$ 2 (quais intermédiaires + $\frac{1}{2}$ plateforme)

Bassin versant 3 (8 sous bassin versant)

Bassin versant 4 (5 sous bassin versant)

i. Les caractéristiques des drains :

ii. Drains longitudinaux

Tableau XIII - 1: Les caractéristiques des drains BV 1

N°BV 1	Surface (km²)	(Surface/2) (Km²)	I (pent)	Cr	Tc (h)	I10 (mm/h)	Ptc
QUAIS BV	0,001164	0,000582	0,0020	0,9	0,25	88,12	22,03
QUAIS INTERMEDIERE	0,0014	0,0007	0,0020	0,9	0,25	88,12	22,03
PLATFORME 1	0,002617	0,0013085	0,0040	0,7	0,25	88,12	22,03

Tableau XIII - 2: Les caractéristiques des drains BV 2

N°BV 2	Surface (km²)	(Surface/2) (km²)	I (pente)	Cr	Tc (h)	I10 (mm/h)	Ptc

QUAIS INTERMEDIERE	0,0014	0,0007	0,0020	0,90	0,25	88,12	22,03
PLATFORME 2	0,001362	0,000681	0,0040	0,70	0,25	88,12	22,03

Tableau XIII - 3: Les caractéristiques des drains BV 3

N° BV3	Surface (km²)	I (pente)	Cr	Tc (h)	I10 (mm/h)	Ptc
SBV1	0,000786	0,0040	0,70	0,25	88,12	22.03
SBV2	0,000782	0,0040	0,70	0,25	88,12	22.03
SBV3	0,000782	0,0040	0,70	0,25	88,12	22.03
SBV4	0,000782	0,0040	0,70	0,25	88,12	22.03
SVB5	0,00078245	0,0040	0,70	0,25	88,12	22.03
SBV6	0,00078248	0,0040	0,70	0,25	88,12	22.03
SBV7	0,00078246	0,0040	0,70	0,25	88,12	22.03
SBV8	0,00067347	0,0040	0,70	0,25	88,12	22.03

Tableau XIII - 4: Les caractéristiques des drains BV 4

N°SBV 4	Surface (km²)	I (pente)	Cr	Tc (h)	I 10 (mm/h)	Ptc
SBV1	0,00078963	0,004	0,70	0,25	88,12	22.03
SBV2	0,0007818	0,004	0,70	0,25	88,12	22.03
SBV3	0,00078248	0,004	0,70	0,25	88,12	22.03
SBV4	0,00078255	0,004	0,70	0,25	88,12	22.03
SBV5	0,00072719	0,004	0,70	0,25	88,12	22.03

iii. Drain transversale

Tableau XIII - 5: Les caractéristiques des Buses

BUSES	Surface (km²)	I (pente)	Cr	Tc (h)	I10 (mm/h)	Ptc
BUSE (SBV1, BVQ1/2,BVQ2/2)	0,0047575	0,0040	0,70	0,25	88,12	22.03
BUSE (SBV2-SBV3)	0,001564	0,0040	0,70	0,25	88,12	22.03
BUSE (SBV4-SBV5)	0,00156445	0,0040	0,70	0,25	88,12	22.03
BUSE (SBV6-SBV7)	0,00156494	0,0040	0,70	0,25	88,12	22.03
BUSE (SBV8)	0,00067347	0,0040	0,70	0,25	88,12	22.03
BUSE (BVQ1/2,BVQ2/2, SBV1)	0,00476113	0,0040	0,70	0,25	88,12	22.03
BUSE (SBV2-SBV3)	0,00156428	0,0040	0,70	0,25	88,12	22.03
BUSE (SBV4-SBV5)	0,00150974	0,0040	0,70	0,25	88,12	22.03

iv. Calcule des débites affluentes au système de drainage longitudinal

: Pour déterminer les débits de dimensionnement de chaque structure qui compose le Système de drainage on a utilisé la formule Rationnelle :

$$Q = \frac{C \times I \times S}{3.6}$$

- Q : Débit (m^3/s).
- I : L'intensité de la pluie (mm/h)
- S : La surface drainée par chaque structure (Km2)

v. Dimensionnement des drains :

Chaque drain projeté est calculé à la base de la somme des débites des sous-bassins qui couvre la surface drainée.

Débit de saturation : $Qs = K \times Sm \times Rh^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i}$

Surface moullée : $Sm = \pi \times \frac{D^2}{4}$

Rayon hydraulique : $Rh = \frac{D}{4}$

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

Exemple de calcule : en prend le drain de bassin versant 3 (SBV1)

$Qa = 0.7 \times 88.12 \times 0.00078 \times 0.27 = 0.014$ m3/s

$$D \text{ calculé} = \left[\frac{0.014}{90 \times 3.14 \times \sqrt{0.004} \times (\frac{1}{4})^{\frac{5}{3}}}\right]^{\frac{3}{8}} = 0.1627 \text{ m}$$

En prend : **D commercial** = 200 mm

Vérification ls condition d'auto curage :

$Sm = \pi \times \frac{0.200^2}{4} = 0.0314$ m

$Rh = \frac{0.2}{4} = 0.05$ m

- $Qps = 90 \times 0.0314 \times 0.05^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{0.05} = 0.0767$ m3/h $>$ Q10 = 0,014 m3/s condition vérifier
- $Vps = \frac{0.0767}{0.0314} = 2.44$ m/s < 4 m/s condition vérifier
- Pour 0,01 => V= 1,539 > 0,3m/s et pour 0,1 => V= 0,781 > 0,6 m/s

Les conditions auto curage sont vérifiées

Tableau XIII - 6: Dimensionnement des drains BV1

N°BV1	Qa=Q10	D calculé	D	Qps	Vps	Sm	Vérification (0,1)	Vérification (0,01)
1	0,051	0,264	300	0,226	3,201	0,07	2,08	1,024
2	0,051	0,264	300	0,226	3,201	0,07	2,08	1,024

Tableau XIII - 7: Dimensionnement des drains BV 2

N°BV 2	Qa=Q10	D calculé	D	Qps	Vps	Sm	Vérification (0,1)	Vérification (0,01)
1	0,027	0,208	250	0,139	2,834	0,049	1,842	0,907
2	0,027	0,208	250	0,139	2,834	0,049	1,842	0,907

Tableau XIII - 8: Dimensionnement des drains BV 3

N°S BV3	Qa=Q10	D calculé	D	Qps	Vps	Sm	Vérification (0,1)	Verification (0,01)
1	0,0134	0,16	200	0,076	2,44	0,031	1,539	0,781
2	0,0134	0,16	200	0,076	2,44	0,031	1,539	0,781
3	0,0134	0,16	200	0,076	2,44	0,031	1,539	0,781
4	0,0134	0,16	200	0,076	2,44	0,031	1,539	0,781
5	0,0134	0,16	200	0,076	2,44	0,031	1,539	0,781
6	0,0134	0,16	200	0,076	2,44	0,031	1,539	0,781
7	0,0134	0,16	200	0,076	2,44	0,031	1,539	0,781
8	0,0115	0,151	200	0,076	2,44	0,031	1,539	0,781

Tableau XIII - 9: Dimensionnement des drains BV 4

N° BV4	Qa=Q10	Dcalculé	D	Qps	Vps	Sm	Verification (0,1)	Verification (0,01)
1	0,014	0,16	200	0,076	2,442	0,031	1,539	0,781
2	0,013	0,16	200	0,076	2,440	0,031	1,539	0,781
3	0,013	0,16	200	0,076	2,440	0,031	1,539	0,781

4	0,013	0,16	200	0,076	2,440	0,031	1,539	0,781
5	0,012	0,15	200	0,076	2,440	0,031	1,539	0,781

vi. Dimensions des buses

Tableau XIII - 10: Dimensionnement des buses transversaux

BUSES	Qa= Q10	Calculé	D	Qps	Vps	Sm	Verification (0,1)	Verification (0,01)
BUSE (SBV1,BV1/2, BV2/2)	0,082	0,332	400	0,423	3,372	0,125	2,191	1,0791
BUSE (SBV2-SBV3)	0,027	0,219	300	0,196	2,783	0,07	1,809	0,890
BUSE (SBV4-SBV5)	0,027	0,219	300	0,196	2,783	0,07	1,809	0,890
BUSE (SBV6-SBV7)	0,027	0,219	300	0,196	2,783	0,07	1,809	0,890
BUSE (SBV8)	0,012	0,159	300	0,196	2,783	0,07	1,809	0,890
BUSE (BVQ1/2,BV Q2/2,SBV1)	0,082	0,332	400	0,423	3,372	0,125	2,191	1,079
BUSE (SBV2SBV3)	0,027	0,219	300	0,196	2,783	0,07	1,809	0,890
BUSE (SBV4SBV5)	0,026	0,216	300	0,196	2,783	0,07	1,809	0,890

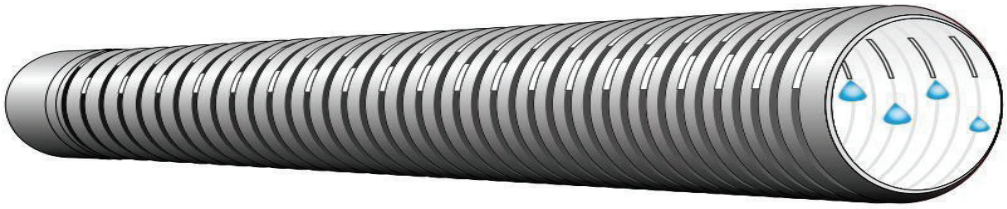


Figure XIII - 1:Exemple d'un drain perforé en RVC vii.

Dimensionnement des fossés :

Notre gare s'étend sur 2,7 km avec une section de 1,2 km en déblai. La configuration de la gare et l'absence de pente (0%) et l'absence de point de rejet naturel compliquent l'évacuation des eaux de ruissellement, l'idée de maintenir une pente minimale de 3 ‰ dans les fossés pour

permettre une évacuation des eaux n'est pas réalisable car si en les réalise avec une pente de 3 pour mille sur une distance de 1,2 km, il faudrait creuser et descendre sous niveau de la terre de 3,6 mètres à la fin de cette distance.

Ce dénivelé est obtenu en multipliant la pente (3 pour mille) par la longueur des fossés (1200 mètres), ce qui donne : **3 mm/m×1200 m=3600 mm=3,6 m**

Une excavation aussi profonde n'est pas réalisable en raison des contraintes techniques et économiques qu'elle impose, ainsi que des risques pour la stabilité de la structure environnante ainsi que pour la sécurité des voyageurs.

Pour surmonter ces défis, nous avons opté pour des solutions de drainage innovantes pour les eaux de ruissellement et installer des fossés le long de la gare en formant un V chaque 100 mètres, des avaloirs seront implantés dans la partie convexe des V pour capter les eaux, sous chaque avaloir, des buses conduiront les eaux à un collecteur principal, qui recueille et évacue les eaux des fossés de chaque côté au **bassin de décantation**.

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

$$\mathbf{Qs=Ks} \times Sm^{2} \times Rh^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i}$$

Avec :

- Kst : Coefficient de rugosité Strickler **Ks** = 90 (correspondant à des fossés consolidés, revêtement en béton grossier).
- **Rh** : Rayon hydraulique (m) = Sm/Pm = Section mouillée /Périmètre mouillé

Avec : **Sm**= $(b + z\,h) \times h$. Et **Pm**= P+2h$\sqrt{1+z^2}$

Et : Z :la pente des berges.

On opte pour des fossés de forme trapézoïdale en béton armé.

Les paramètre à considérer sont les débits à évacuer qui est rapporté par la plateforme, les bermes et les talus : **Qf**= Qpf + Qb + Qt.

Tableau XIII - 11: Caractéristiques des débits à évacuer de déblai (cas le plus défavorable)

Bv	S(m²)	P (%)	Tc	Ptc	I	C	Q	Qtot
Talus	319	100	0,002	3.328	1687,55	0,4	0,06	0,103
Plat forme	418	4	0,013	5.619	432,79	0,7	0,035	
Berme	100	4	0,006	4.801	756,03	0,4	0,008	

Donc on a : Qa= 0,06 + 0,035 + 0,008 = 0,103 m3/s

Les dimensions retenues pour les fossés sont celles qui répondent à la condition le débit calculé est inférieur au débit de saturation (Qa < Qs).

Tableau XIII - 12: Les dimensions des fossés

z	b	h	Sm	Pm	Rh	Ks	Qs
0.6	0,2	0,2	0,0664	0.769	0,098	90	0.179

Par conséquent, il est approprié d'adopter un fossé aux dimensions b= 0.2 m et h= 0.2 m pente= 2/3 (H/V) **viii. Dimensionnement des avaloires**

:

Qav = 0,103 × 2 + 0,082 = 0,288 m3/s

Tableau XIII - 13: Dimensionnement des avaloires

Qa=Q10	D calculé	D	Buse	Qps	Vps	Verification (0,1)	Vermification (0,01)
0,288	0,446	600	Ø600	0,559	1,976	1,285	0,632

En prend : **D commercial** = 600 mm

Donc on doit redimensionner notre fossé pour qu'il soit compatible avec l'avaloire

On prend : b= 0.6 m et h= 0.6 m pente= 2/3 (H/V) **ix.**

Dimensionnement de collecteur :

Le collecteur se dimensionne par la sommation de tous les débits des avaloires

Qc = Qavaloire× 8 = 0,288 ×8 = 2,304m3/s

Tableau XIII - 14: Dimensionnement de collecteur

Qa=Q10	D calculé (1,5%)	D calculé	Buse	Qps	Vps	Verification (0,1)	Verification (0,01)
2,304	0,973	1000	Ø1000	2,181	2,778	1,806	0,889

Donc en prend : **D commercial** = 1000 mm **XIII.1.5.**

Bassin de décantation :

Un bassin de décantation est une structure utilisée pour stoker les eaux pluviales, la région de Bechar est caractérisée par des précipitations extrêmement faibles. Dans un tel environnement aride, chaque goutte d'eau est précieuse, et la gestion des rares événements pluvieux devient

très efficace. C'est dans ce contexte que la conception et l'installation d'un bassin de décantation prennent tout leur sens.

i. Importance du Bassin de Décantation :

- Récupération Maximale de l'Eau Pluviale
- Optimisation de l'Utilisation de l'Eau
- Prévention des Problèmes d'Inondation et d'Érosion **ii. Localisation :**

Le bassin sera situé à proximité des infrastructures de drainage, idéalement en aval des systèmes de collecte des eaux pluviales ou le point le plus bas de système **iii. Conception :**

- **Structure :** Le bassin aura une forme rectangulaire ou circulaire pour optimiser le processus de sédimentation.
- **Matériaux :** Construction en béton armé pour assurer la durabilité et la résistance aux conditions environnementales.
- **Entrée et sortie** : Équipé d'un système d'entrée permettant une répartition uniforme des eaux et d'une sortie munie d'un déversoir pour évacuer l'eau décantée **XIII.1.6. Conclusion :**

Le système de drainage proposé, avec ses fossés formant un zigzague en V, avaloirs et buses connectés à un collecteur principal, et le bassin de décantation, offre une solution viable et durable pour la gestion des eaux de ruissellement dans la gare ferroviaire. Cette approche permet de surmonter les défis posés par la configuration de la gare et l'absence de pente naturelle, assurant ainsi la sécurité et la fonctionnalité des infrastructures.

Chapitre XIV :
SIGNALISATION FERROVIERE

XIV. Signalisation ferroviaire XIV.1.1.

Introduction :

La signalisation ferroviaire est un système conçu pour fournir aux conducteurs de trains les informations nécessaires à la gestion sécurisée de leur convoi. Ces informations, présentées sous forme de codes le long de la voie ou à l'intérieur des véhicules, peuvent inclure des limitations de vitesse, des arrêts non planifiés, des indications sur la direction du convoi, des règles concernant la traction électrique, et bien plus encore.

La signalisation est un des éléments essentiels de **la sécurité ferroviaire. XIV.1.2.**

Evolution des systèmes de signalisation

- Systèmes de signalisation a blocs (1850-1930)
- Les systèmes **ATP** (**A**utomatic **T**rain **P**rotection) (1980)
- Systèmes **ETRMS** (**E**uropéen **R**ailways **T**raffic **M**anagement **S**ystem) **XIV.1.3.**

Objectif de la signalisation :

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

- L'espacement des circulations pour éviter les rattrapages (cantonnement ou block)
- La protection des circulations dans les établissements (convergence, cisaillement...).
- La circulation, dans les deux sens, sur une même voie (nez à nez).
- Les risques de déraillement par excès de vitesse
- Le franchissement des voies ferrées par des routes sur un même niveau (passages à niveau).

XIV.1.4. Différentes fonctions des signaux :

Les signaux sont appelés à remplir les rôles et les fonctions suivantes :

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

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

XIV.1.5. Implantation des signaux

Pour que le conducteur puisse s'arrêter au point à protéger avant le signal d'arrêt, ou respecter la limite de vitesse dans la zone réglementée, il doit être alerté à une distance suffisante pour appliquer les freins. C'est le rôle du signal d'annonce à distance.

Ces distances sont appelées respectivement :

- Distance d'arrêt
- Distance de ralentissement

La distance d'implantation d'un signal à distance est en fonction :

- Du profil moyen de la partie de la voie intéressée (déclivité moyenne)

- De la vitesse maximale à laquelle est abordé le signal à distance. Des caractéristiques de freinage des circulations.

XIV.1.6. Les différents types de blocks :

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

- **Le block manuel (B.M)** : est utilisé sur des lignes peu fréquentées, L'entrée sur une voie en BM est réglementée par un signal de block ouvert manuellement par un agent-circulation.
- **Le block automatique à permissivité restreinte (B.A.P.R)** : est utilisé sur les lignes à moyenne fréquentation. C'est un système d'espacement par signaux en partie ou totalement automatiques.
- **Le block automatique lumineux (B.A.L)** : il est utilisé sur les lignes principales, c'est un système d'espacement par signaux automatiques permissifs, c'est-à-dire pouvant être passés à l'état fermé, sous certaines conditions. Les lignes à voie multiple sont habituellement divisées en plusieurs secteur que l'on appelle des cantons, ce qui permet d'envoyer plusieurs trains sur le même block. Chaque canton est précédé d'un signal de cantonnement, entièrement automatique, commandant l'entrée sur le canton suivant et assurer l'espacement des trains circulant dans le même sens sur une même voie.

XIV.1.7. Système de contrôle et de protection ERTMS :

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

Fonctionnement d'ERTMS :

ERTMS assure les fonctions suivantes :

- Contrôler l'aspect de la signalisation latérale par la balise standard qui communique avec un autre système à bord de train
- Donner l'autorité de déplacement jusqu'au prochain système de signalisation latérale en basant sur le principe de blocage fixé.
- Transformer les informations de signalisation latérale à travers l'Unité de contrôle latéral (LEU) afin de transmettre par la balise jusqu'au train.

- Permet au train de transmettre via une antenne sa position et sa vitesse de façon continue à n'importe quel moment.

- Protection des trains : Communication discontinue voie-train via les balises.

XIV.1.8. Application au projet :

Au niveau de la nouvelle ligne minière Béchar - Ghar Djebilet on utilise le système de signalisation ERTMS (European Rail Traffic Management System) qui offre de nombreux avantages pour améliorer la sécurité et l'efficacité du réseau ferroviaire.

Chapitre XV : IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XV. Impact sur l'environnement XV.1.1.

INTRODUCTION :

L'étude d'impact sur l'environnement est devenue une étape indispensable dans la conception de toute infrastructure, en raison de la négligence humaine et du manque de sérieux face aux enjeux écologiques, la dégradation de notre planète a atteint un point critique où les dommages causés à nos écosystèmes sont devenus, pour certains, irréversibles

Donc Il est de notre responsabilité de veiller à ce que leur implantation ait le moins de conséquences possibles sur l'environnement.

Cela inclut également la construction et l'exploitation des infrastructures, telles que les lignes ferroviaires, qui doivent être conçues pour générer un minimum de nuisances.

XV.1.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT :

- Évaluer de manière systématique et en amont les répercussions potentielles, ainsi que les effets directs et indirects, temporaires et permanents, du projet sur l'environnement.
- Sensibiliser les habitant de la région concerné sur les impacte négative du projet
- Assurer la prévention et l'amélioration de la vie sociale des citoyens et la durabilité des activités agriculturale et animale

XV.1.3. ANALYSE DE L'ETAT INITIAL :

i. Milieu naturel :

ii. Topographie et relief

La wilaya de Béchar est majoritairement située dans les reliefs de la plateforme saharienne à la marge nord-ouest, à la limite de l'accident nord-saharien. Malgré son caractère désertique, la région offre une grande diversité de paysages morphologiques. La transition entre la plateforme saharienne et le domaine atlasique au nord est marquée par l'accident sud atlasique, avec le passage entre ces deux domaines souvent assuré par un système de Hamadas, comme l'Erg occidental **iii. Climat :**

En été, les températures diurnes moyennes peuvent dépasser 40°C, tandis que les températures nocturnes peuvent être assez fraîches, tombant parfois en dessous de 15°C. En hiver, les températures diurnes peuvent atteindre et parfois dépassent les 20°C, mais les nuits peuvent être assez froides, avec des températures qui descendent parfois en dessous de 0°C.

iv. Géologie :

La géologie saharienne, spécifiquement du nord du Sahara occidental, où elle occupe la partie la plus orientale. La plateforme saharienne forme le bord nord de la vieille masse occidentale et se compose d'un socle antécambrien métamorphique et granitisé, d'une série paléozoïque partiellement plissée, de couvertures secondaires et tertiaires, et de placages quaternaires et subactuels.

v. Sismicité et tectonique :

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

vi. Hydrologie :

Le système hydrographique qui traverse le territoire de la Wilaya de Béchar est constitué, comme suit : Bassin Versant du **Guir**, Bassin Versant de **la Zousfana**, Bassin Versant **d'Oued Béchar vii. Milieu biologique**

viii. La Flore :

Le paysage végétal de la région d'étude est principalement constitué de formations steppiques typiques du Sahara nord-occidental algérien. Cependant, dans les dépressions et cuvettes où s'accumulent les eaux de ruissellement, des formations arbustives dominent. Les fonds d'oueds, plus ou moins encaissés, sont colonisés par une végétation ripicole arborescente, comprenant des palmiers dattiers et des arbustes comme l'Acacia raddiana. En dehors de ces habitats, la végétation steppique, souvent dégradée, prédomine. Le terme « pseudo-steppe » est souvent utilisé pour décrire la végétation de la bordure saharienne, notamment les formations à Arthrophytum scoparium et Retama retam.

ix. La faune :

La présence d'une diversité faunique dans la zone d'étude, telle que La faune domestique comme le cheptel caprin et camelin avec une dominance de ce dernier.

Et La faune sauvage comme "Fouette queue, Agama bibronii, scorpion …."

x. Milieu humain :

Population : en 2022 la population de la wilaya est estimée à 308210 habitants **xi.**

Activité économique :

xii. Agriculture :

La superficie agricole totale s'éleve a 1 326 962 hectares. Sur cette étendue seulement 25 387 hectares représentant 1,91% sont utiliser comme terre agricole utiles

xiii. Industrie :

La zone d'activité de Bechar s'étend sur 110 hectares au totales, elle est occupée sue une superficie de 59,51 hectares. Laissant 4.82 hectares disponible. De même la zone d'activité de béni ounif couvre une superficie totale de 50 hectares, actuellement seuls 6,46 sont occupé, laissant 14,79 hectares disponible.

Tableau XV - 1: résumé des impacts environnementaux du projet

Milieu touché	Élément touché	Sources d'impact	Description de l'impact	Importance de L'impact Appréhendé
Milieu physique	Profil et pente des terrains	Excavation et remplissage (déblais et remblais)	Modification du profil et de la pente d'équilibre du terrain naturel par excavation et remplissage.	Faible
	Qualité du sol Les oueds	Déboisement et enlèvement des horizons organiques	Perturbation des horizons de surface et mise à nu du terrain contribue à rendre le sol sensible à l'érosion	Moyenne
		Construction des ouvrages	Modification du profil hydraulique du lit d'oued durant les travaux et perturbation de la qualité de l'eau.	Forte
	Réseau de drainag Qualité des eaux d surface et souterraines	Aménagement des fossés	Le réseau de drainage de la nouvelle infrastructure modifie le drainage local et altère la qualité de l'eau de surface.	Faible
		Excavation et remplissage	L'érosion du sol génère des matières en suspension dans l'eau de surface. Un déversement accidentel d'hydrocarbures ou de matière dangereuse contamine l'eau.	Forte
	Ruissellement et infiltration	Construction de l'infrastructure	Le passage de la machinerie compacte le sol et diminue le coefficient d'infiltration.	Faible
Milieu biologique	Plantations	Déboisement et construction de l'infrastructure	Perte de superficie de plantation	Forte
	Peuplements forestiers	Déboisement	Perte de peuplements de valeur écologique.	Moyenne
	Faune terrestre	Transport et circulation	Risque de collision avec la grande faune.	Faible

	Espace résidentiel	Acquisition	Perte des habitations due à l'acquisition des terrains pour l'implantation de l'infrastructure	Faible
Milieu humain	Espace commercial	Présence et utilisation de l'infrastructure	Amélioration des conditions de développement de commerces.	Moyenne
	Espace agricole	Acquisition	Perte d'espace agricole due à l'acquisition de terrains pour l'implantation de l'infrastructure.	Moyenne

XV.1.4. Les mesures envisagées pour supprimer, réduire ou compenser les conséquences dommageables des différentes phases du projet :

- Garantir une indemnisation juste et équitable des propriétaires concernant le droit d'expropriation exercé par les autorités publiques
- Assurer l'accès aux propriétés privées et garantir la sécurité des résidents et des passants pendant les travaux en mettant en place des mesures appropriées
- Limiter l'abattage des arbres et des arbustes à la zone d'emprise du chantier pour réduire l'impact sur l'habitat de la faune
- Obtenir les autorisations spéciales nécessaires pour effectuer des travaux dans les réserves fauniques et écologiques
- Sensibiliser la main-d'œuvre à la nécessité de préserver les espèces végétales considérées comme "rares", protégées, vulnérables ou menacées
- Inspecter régulièrement les zones perturbées et les terrains remis en état afin de repérer tout signe visible d'érosion et/ou de dépôts de matériaux

XV.1.5. Conclusion :

Le projet de la ligne ferroviaire Gara Djebilet (Tindouf)-Bechar est essentiel pour le transport minier et renforce le réseau national, avec des avantages logistiques et environnementaux. Cependant, il aura des impacts environnementaux et sociaux, comme des perturbations pour les milieux humain, biologique, économique et naturelle en générale. Des mesures ont été proposées pour atténuer ces effets, en mettant l'accent sur la collaboration entre les parties prenantes et une gestion durable des ressources.

Chapitre XVI : Planification

XVI. PLANIFICATION :

XVI.1.1. Introduction :

La planification des travaux sur les chantiers est une étape fondamentale pour garantir l'efficacité, la sécurité et la rentabilité d'un projet de construction. Ce processus nécessite l'élaboration d'un plan détaillé qui établit l'ordre des tâches, les délais, les ressources nécessaires, ainsi que les contraintes à considérer.

XVI.1.2. Définition de la planification :

La planification consiste à préparer un plan détaillé pour atteindre un objectif spécifique dans un certain laps de temps. Les objectifs de la planification sont multiples et varient selon le domaine d'application. Voici quelques objectifs courants de la planification :

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

XVI.1.3. Diagramme de Gantt

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

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

1. Identifier les tâches
2. Identifier les dépendances entre les différentes tâches
3. Estimer les durées
4. Organiser les tâches
5. Créer le diagramme de Gantt à l'aide d'un logiciel de gestion de projet ou d'un tableur
6. Mettre à jour régulièrement le diagramme de Gantt pour refléter l'avancement réel du projet

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

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

Chapitre XVII : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

XVII. DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Tableau XVIII - 1: Devis quantitatif et estimatif

N°DES PRIX	DESIGNATIONS	UNITE	PRIX UNITAIRE	QUANTITÉ	MONTANT
1 - INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER					
1-1	Amenée du matériel et installation général du chantier	F	244,543,997.35	1.00	244,543,997.35
1-2	Repli du matériel et des installations du chantier	F	25,008,497.85	1.00	25,008,497.85
1-3	Encadrement de chantier	F	60,363,956.24	1.00	60,363,956.24
TOTAL INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER					**329,916,451.44**
2 - ETUDES D'EXECTION					
2-1	Études d'exécution des terrassements généraux	F	117,997,426.82	1.00	117,997,426.82
2-2	Études d'assainissement	F	1,896,450.00	1.00	1,896,450.00
2-3	Études d'exécution des Bâtiments voyageurs et aménagement extérieur	F	289,323,470.00	1.00	289,323,470.00
TOTAL ETUDES D'EXECTION					**409,217,346.82**
3 - TERRASSEMENT GENEREAUX					
3-1	Décapage de terre végétale	M3	750.00	83,167.40	62,375,550.00
3-2	Déblais mise en remblai	M3	469.13	178,436.00	83,709,680.68
3-3	Déblais mise en dépôt	M3	486.18	32,829.28	15,960,939.35
3-4	Préparation des surfaces d'assise des remblais	M2	294.00	415,837.16	122,256,125.04
3-5	Mise en remblai des matériaux issus des déblais	M3	309.19	178,436.00	55,170,626.84
3-6	Mise en remblai de terrain meuble issu de lieux d'emprunt	M3	676.20	517,057.90	349,634,551.98
3-7	Couche de forme	M3	2,600.00	34,995.00	90,987,000.00
3-8	Couche de fondation	M3	3,200.00	18,015.00	57,648,000.00
3-9	Sous ballast	M3	3,800.00	16,574.00	62,981,200.00

	TOTAL TERRASSEMENT GENEREAUX				**900,723,673.89**
4 - DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT					
3-0	Buses de tuyaux en béton armé diamètre 1200mm	ML	150,000.00	24.65	3,697,500.00
3-1	Buses de tuyaux en béton armé diamètre 2000mm	ML	152,877.77	30.06	4,595,505.77
3-2	Buses de tuyaux en béton armé diamètre 800mm	ML	156,800.00	34.04	5,337,472.00
3-4	Fossé de forme trapézoïdale en béton armé	ML	11,400.00	12,000.00	136,800,000.00
3-6	Dalot en béton armé type 1 ; coupe transversale 3 X 2,00 m/2 3 cellule	M3	147,000.00	144.19	21,195,694.80
	TOTAL DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT				**171,626,172.57**
5 - TRAVAUX DE VOIE					
5-1	Ballastage voie nouvelle	M3	6,305.00	23,792.00	150,008,560.00
5-3	Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60,34 kg/m)	Tonne	121,250.00	997.78	120,981,067.50
5-4	Fourniture des attachés pour rails UIC 60	U	523.80	110,240.00	57,743,712.00
5-5	Pose de la voie	ML	5,626.00	16,536.00	93,031,536.00
5-6	Fourniture des traverses monobloc	U	10,185.00	27,560.00	280,698,600.00
5-7	Fourniture d'un branchement simple UIC 60-500-1:12	U	15,899,976.16	1.00	15,899,976.16
5-8	Pose d'un appareil de voie simple UIC 60-500 1:12	U	553,627.50	1.00	553,627.50
5-9	Fourniture d'un branchement simple UIC 60-300-1:9	U	9,500,000.00	6.00	57,000,000.00
5-10	Pose d'un appareil de voie simple UIC 60-300 1:19	U	442,902.00	6.00	2,657,412.00
5-11	Traverses de Garage Franc	U	40,891.56	8.00	327,132.48
5-12	Heurtoir	U	936,686.56	2.00	1,873,373.12
	TOTAL TRAVAUX DE VOIE				**780,774,996.76**

6 - BATIMENTS GARES ET AMENAGEMENT EXTERIEUR					
6-1	Réalisation du bâtiment Voyageurs de la gare de HAMMAGUIR	M2	80,000.00	594.44	47,555,200.00
6-2	Réalisation des travaux d'aménagement extérieur de la gare de HAMMAGUIR	M2	40,000.00	5,366.76	214,670,400.00
TOTAL BATIMENTS GARES ET AMENAGEMENT EXTERIEUR					**262,225,600.00**
TOTAL GENERAL (DA) HT					**2,854,484,241.47**

RECAPITULATION	**MONTANT**
INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER	**329,916,451.44**
ETUDES D'EXECTION	**409,217,346.82**
TERRASSEMENT GENEREAUX	**900,723,673.89**
DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT	**171,626,172.57**
TRAVAUX DE VOIE	**780,774,996.76**
BATIMENTS GARES ET AMENAGEMENT EXTERIEUR	**2,854,484,241.47**
TOTAL GENERAL (DA) HT	**5,446,742,882.95**

MONTANT TOTAL EN LETRRE : Cinq milliards quatre cent quarante-six millions sept cent quarante-deux mille huit cent quatre-vingt-deux de dinars.

Chapitre XVIII : Modélisation de la ligne en BI

XVIII. Modélisation de la ligne en BIM XVIII.1.1.

Introduction :

Dans le secteur du transport ferroviaire, la visualisation 3D de la voie est désormais une méthode essentielle pour représenter, analyser et transmettre les caractéristiques d'un réseau ferroviaire. Grâce aux avancées technologiques et aux outils de modélisation 3D les professionnels peuvent créer des modèles réalistes et précis la voie ferrée, améliorant ainsi la coordination et la communication entre les parties prenantes d'un projet. Principe de la méthode utilisée :

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

1- **Intégration des données :** La méthode implique l'intégration des données entre Civil 3D et InfraWorks. Les données du modèle de conception détaillée de la voie ferrée sont exportées depuis Civil 3D vers InfraWorks, permettant ainsi de conserver les informations géométriques et les paramètres de conception.

2- **Contexte global du projet :** InfraWorks fournit un environnement 3D global où la voie ferrée peut être visualisée dans le contexte des autres éléments de l'infrastructure, tels que les routes, les bâtiments, l cours d'eau, etc. Cela permet de mieux comprendre l'impact de la voie ferrée sur son environnement et facilite la prise de décision holistique.

3- Analyse et simulation :

InfraWorks offre des fonctionnalités d'analyse et de simulation avancées qui permettent d'évaluer les performances de la voie ferrée.

4- Retour d'informations et modifications :

Les résultats de l'analyse et de la simulation effectuées dans InfraWorks peuvent être utilisés pour apporter des modifications et des améliorations au modèle de la voie ferrée.

5- Mise à jour et synchronisation des modèles :

Une fois que les modifications sont apportées dans Civil 3D, le modèle mis à jour peut être exporté à nouveau vers InfraWorks pour refléter les changements.

6- Collaboration et communication :

La méthode favorise la collaboration et la communication entre les différentes parties prenantes impliquées dans le projet ferroviaire. Les modèles 3D créés dans InfraWorks peuvent être partagés et visualisés par les concepteurs, les ingénieurs, les décideurs et le grand public, facilitant ainsi la compréhension et la prise de décision collective.

XVIII.1.2. Modélisation de la voie :

Après l'utilisation de c3d pour créer le modèle détaillé de de la voie ferré, en définissant les alignements, les profils en long et en travers, les coupes transversales, les pentes, les dévers, les aiguillages, et. On a exporté le modèle vers Infraworks pour travailler directement sur notre terrain naturel exact, respectant les dimensions tout en corrigeant la conception si on la voit non compatible avec la largeur du terrain, le résultat est représenté ci-dessous :

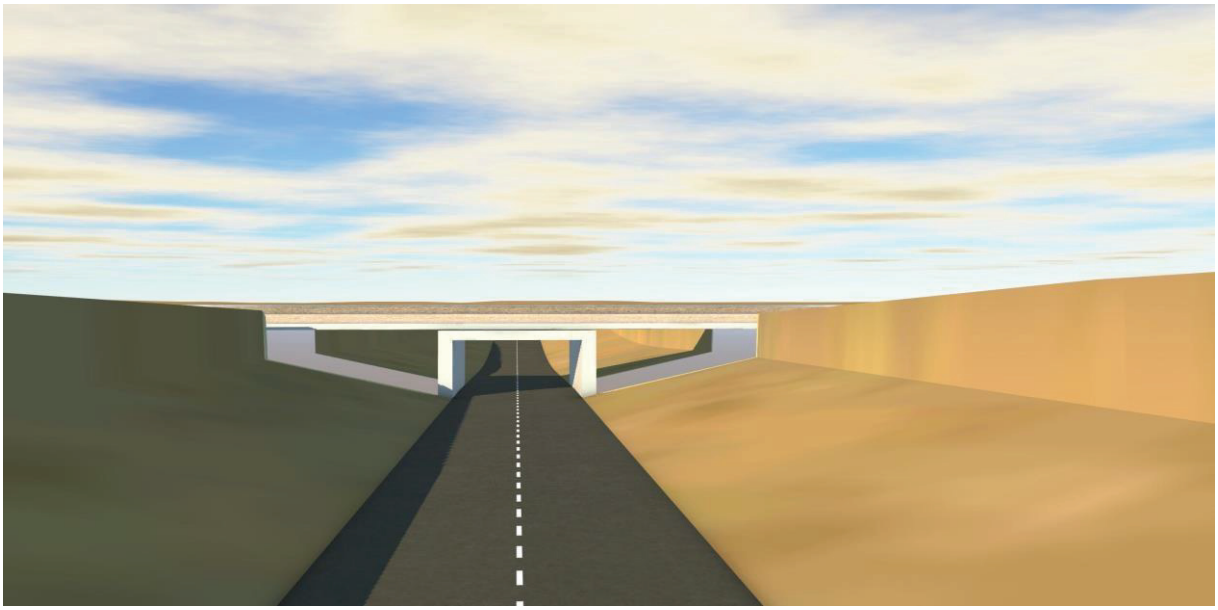


Figure XVIII - 1: Rétablissement routière trémie

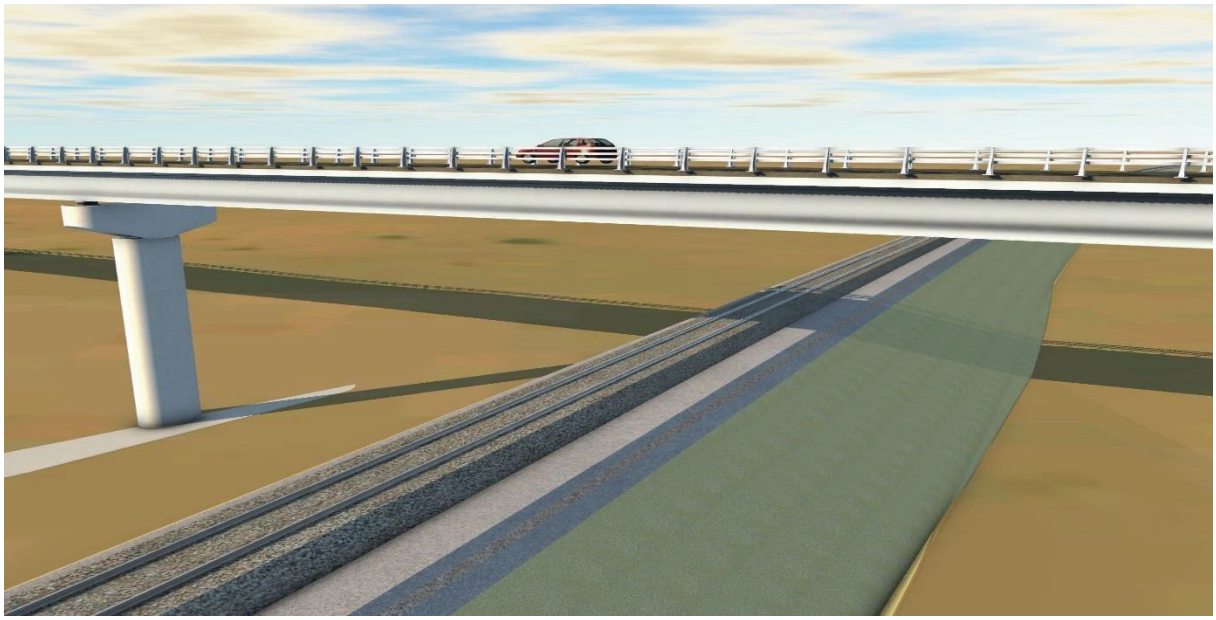


Figure XVIII - 2: Rétablissement routière passage supérieur



Figure XVIII - 3: Modélisation de la gare avec 4 voie et 2 quais



Figure XVIII - 4: Modélisation de la gare HEMMAGUIR en respectant le plan (quais, bâtiment)

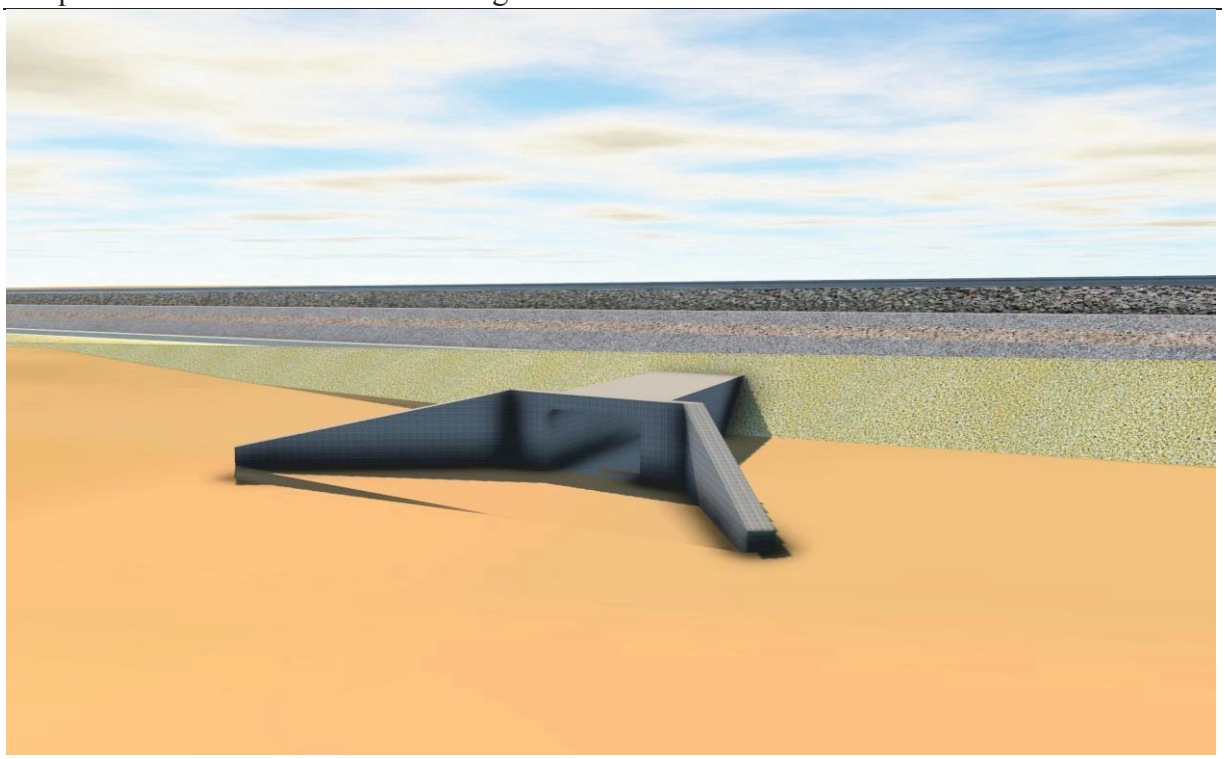


Figure XVIII - 5: Modélisation d 'un ouvrage hydraulique dalot 3x2

XVIII.1.3. Conclusion :

En conclusion, la modélisation 3D des voies ferrées, soutenue par des outils tels que Civil 3D et InfraWorks, révolutionne la manière dont les professionnels du transport ferroviaire visualisent, analysent et communiquent les caractéristiques des réseaux ferroviaires. Cette approche intégrée permet une meilleure compréhension, une conception plus précise et une gestion plus efficace

des infrastructures, ouvrant la voie à des projets plus innovants et durables. Les avancées technologiques dans ce domaine continueront de jouer un rôle clé dans l'évolution du transport ferroviaire, rendant les processus de planification et d'exécution plus fluides et collaboratifs.

Conclusion générale

L'étude et la conception de la ligne ferroviaire pour exploiter la mine de Ghar Jebilet, couvrant le tronçon du PK 138+000 au PK 150+000 et incluant la gare de Hammaguir, constituent un projet d'envergure aux répercussions significatives pour le développement industriel de l'Algérie. À travers ce Projet de Fin d'Études, nous avons démontré l'importance d'une planification rigoureuse et d'une approche méthodologique exhaustive pour répondre aux exigences techniques, économiques et environnementales d'un projet ferroviaire de cette ampleur.

Bibliographie

[1] : SNCF, "Conception du tracé de la voie courante V<220km/h IN 0272.

[2] : SNTF, "Constituants de la voie," Référentiel technique. Chapitre 9 : SNTF, ed.,2005.

[3] : SNTF, "GEOMETRIIE DE LA VOIE," REFERENTIEL TECHNIQUE, 2005.

[4] : UIC, "Caractéristiques de tracé des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides

UIC 703R," Union Internationale des Chemins de fer, DE-Consult, ed., 01.01.89.

[5] : UIC, "ouvrage en terre et couche assise ferroviaire " 719 R, DE-Consult, ed., 1995

[7] : Cour voie ferrée de Mr.Morsli "enseignent à ENSTP "

[8] : SETIRAIL

[9] : Site web Chat GPT " chat.openai.com "

[10] : M. OURANADER Siradj Abderraouf et M. MELIZI Abderraouf : Étude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique AIN EL BEIDA-KHANCHELA du PK 21+388 au PK 35+510 avec l'aménagement et la conception de la gare de M'TOUSSA.

[11] : M. BENDRIHEM Oussama et M. BELHAMRA Akram : Étude de dédoublement, modernisation et/ou rectification du tracé pour augmenter la capacité de la ligne ferroviaire minière EST (Annaba-Tebessa) sur le tronçon du PK 62+000 au PK 74+000, avec la conception de la gare Aouinet, et la modélisation de la ligne en BIM

[12] : M. BOULHIA Abderrahim et M. El FEKAIR Djouad Djaber : Conception et Étude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire Ain Beida-Khenchela du PK 00+000 au PK 10+345 à voie unique électrifie avec réaménagement de la gare Ain Beida en utilisant la technologie du BIM

[13] : M. LABACHI Billel et M. SAOUD Wail : Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique LAGHOUAT-GHARDAIA du PK 212+000 au PK 228+600 avec l'aménagement et la conception de la gare de METLILI.

[14] : M. HAMMOUD Anouar : Etude en APD de la ligne à voie unique Tissemsilt – Boughezoul Tronçon Hassi EL Fedoul – Sidi Laadjel y compris la gare Hassi EL Fedoul du PK 44+675 au PK 57+000

ANNEXES

ANNEXES A

Length:	100.000	L Tan:	66.668
Radius:	2300.000	S Tan:	33.335
Theta:	01₀ 14' 44.0175"		0.181
X:	99.995	K:	49.999
	0.725		479.583
Chord :	99.998	Course:	N 71 ^{0} 10' 52.8547" W

Alignment Curve Report Project Name: C:\Users\Anis\Desktop\ANIS\trace finale.dwg
Report Date: 15/06/2024 02:11

Client: Client Company Project Description: Prepared by: Preparer

Alignment: Axe - (1) (1)
Description:

	Tangent Data		
Length:	1254.129	Course:	s 87^{0} 02' 42.3484" w
	Spiral Curve Data: clothoid		
	100.000	L Tan: S	66.668
Length:	2300.000	Tan:	33.335
Radius:	01 ^{0} 14' 44.0175"		0.181
Theta:	99.995	K:	49.999
x:	0.725		479.583 s 87^{0}
Chord :	99.998	Course:	37.0150" w 27'
	Circular Curve Data		
	19^{0} 41' 51.4284"		
Delta:	2300.000	Type:	RIGHT
Radius:	790.713		
Length:	33.896	Tangent:	399.297
Mid-Ord:	786.825	Extemal.'	34.403
Chord :		Course:	N 81 ^{0} 51' 37.9199
	Spiral Curve Data: clothoid		
Length:	1 oo.ooo	L Tan:	66.668
Radius:	2300.000	S Tan:	33.335
Theta:	01 ^{0} 14' 44.0175"		0.181
X:	99.995	K:	49.999
Chord:	0.725		479.583
	99.998	Course:	N 71 ^{0} 10' 52.8547" W

Tangent Data

Length:	1412.914	Course:	0 45' 58.1881" W

Spiral Curve Data: clothoid

Circular Curve Data

Delta:	45 0 01' 29.3261"	Type:	LEFT
Radius:	2300.000		
Length:	1807.412	Tangent:	953.275
Mid-Ord:	175.268	Extemal.'	189.725
Chord:	1761.264	Course:	s 28' 33.1313" w

Spiral Curve Data:
clothoid

Length:	100.000	L Tan:	66.668
Radius:	2300.000	S Tan:	33.335
Theta:	01 0 14' 44.0175"		0.181
X:	99.995		49.999
Y:	0.725		479.583
Chord:	99.998		s 62 0 07' 59.1172" w
		Course:	

Tangent Data
1059.260

Length:		Course:	43' 04.4507" w

Circular Curve Data

Delta:	05 0 53' 02.4605"	Type:	RIGHT
Radius:	10000.000		513.929
Length:	1026.955	Tangent:	13.197 s
MidOrd:	13.180	Extemal.'	64^0 39' 35.6809" w
Chord:	1026.503	Course:	

Tangent Data

Length:	4127.491	Course:	s 67^0 36' 06.9112" w

ANNEXES B

PVI Stations Report

Client: Client Company

Project Name: C:\Users\Anis\Desktop\ANIS\lis.dwg

Project Description:

Report Date: 14/06/2024 19:29:38

Prepared by: Preparer

Name: Axe - (1)

Station Range: 1380+00.000 to 1498+78.874

Vertical Alignment: Axe - (1) - Profil en long - 1

PVI	Station	Elevation (m)	Grade Out (%)	Curve Length (m)
	1380+00.000	735.278	0.676 %	0.000
2	1389+40.000	741.633	0.000 %	81.128
3	1419+07.760	741.633	0.698 %	115.202
4	1439+05.590	755.582	0.324 %	161.808
5	1468+55.840	765.130	0.048 %	112.974
6	1492+00.000	766.257	-0.150%	0.000
7	1499+86.498	765.078		

ANNEXES C Canalisation circulaires partiellement remplie

Q / Q p s	V / V p s	h /D	Q / Q p s	V / V p s	h /D
0, 0 0 1	0,1 4	0,0 2	0, 5 3 4	1, 0 2	0, 5 2
0, 0 0 3	0,2 2	0,0 4	0, 5 6 8	1, 0 3	0, 5 4
0, 0 0 7	0, 2 9	0,0 6	0, 6 0 3	1, 0 5	0, 5 6
0, 0 1 3	0, 3 5	0,0 8	0, 6 3 7	1, 0 6	0, 5 8
0, 0 2 1	0, 4 0	0,1 0	0, 6 7 2	1, 0 7	0, 6 0
0, 0 3 1	0, 4 5	0,1 2	0, 7 0 6	1, 0 8	0, 6 2
0, 0 4 2	0, 5 0	0,1 4	0, 7 4 0	1, 0 9	0, 6 4
0, 0 5 6	0, 5 4	0,1 6	0, 7 7 3	1, 1 0	0, 6 6
0, 0 7 1	0, 5 8	0,1 8	0, 8 0 6	1, 1 1	0, 6 8
0, 0 8 8	0, 6 2	0,2 0	0, 8 3 7	1, 1 2	0, 7 0
0, 1 0 6	0, 6 5	0,2 2	0, 8 6 8	1, 1 3	0, 7 2
0, 1 2 6	0, 6 8	0,2 4	0, 8 9 8	1, 1 3	0, 7 4
0, 1 4 8	0, 7 2	0,2 6	0, 9 2 6	1, 1 4	0, 7 6
0, 1 7 1	0, 7 5	0,2 8	0, 9 5 3	1, 1 4	0, 7 8
0, 1 9 6	0, 7 8	0,3 0	0, 9 7 7	1, 1 4	0, 8 0
0, 2 2 2	0, 8 0	0,3 2	1, 0 0 0	1, 1 4	0, 8 2
0, 2 4 9	0, 8 3	0,3 4	1, 0 2 1	1, 1 4	0, 8 4
0, 2 7 7	0, 8 6	0,3 6	1, 0 3 9	1, 1 4	0, 8 6
0, 3 0 7	0, 8 8	0,3 8	1, 0 5 4	1, 1 3	0, 8 8
0, 3 3 7	0, 9 0	0,4 0	1, 0 6 6	1, 1 2	0, 9 0
0, 3 6 8	0, 9 2	0,4 2	1, 0 7 3	1, 1 2	0, 9 2
0, 4 0 0	0, 9 4	0,4 4	1, 0 7 6	1, 1 0	0, 9 4
0, 4 3 3	0, 9 6	0,4 6	1, 0 7 1	1, 0 9	0, 9 6
0, 4 6 6	0, 9 8	0,4 8	1, 0 5 7	1, 0 6	0, 9 8
0, 5 0 0	1, 0 0	0,5 0	1, 0 0 0	1, 0 0	1, 0 0

ANNEXE D : classification de l'agressivité selon la norme :

Classe d´agressivité	Spécifications [%]	environnement - niveau de protection
A0	0,0 - 0,24	non agressif
A1	0,24 - 0,60	faiblement agressif
A2	0,60 - 1,20	moyennement agressif
A3	1,20 - 2,40	fortement agressif
A4	> 2,40	très fortement agressif

Tableau 10 : Classification des environnements agressifs (NF P 18-011, 1992)

ANNEXE E : classification des sols selon UIC 719R.

Classe de qualités des sols	Classification des sols (identification géotechnique)
QS0 : Sols impropres	0.1 sols organiques. 0.2 sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonné, humides et donc non compactables. 0.3 sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse) 0.5 sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels par exemple). 0.6 sols mixtes « minéraux organique ».
QS1 : Sols médiocres	1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (sauf sols0.2). 1.2 Roches très évolutives par exemple : - Craies de ρd <1.7t/m^3 et de friabilité forte – Marnes - Schistes altérés. 1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (sauf sols 0.2). 1.4 Roches évolutives par exemple : - Craies de ρd < 1.7 <t/m3 et de friabilité faible - Schistes non altérés. 1.5 Roches tendres par exemple : Si Microdeval en présence d'eau (MDE)>40 et Los Angeles LA>40.
QS2 : Sols moyens	2.1 Sol comportant de 5 à 15% de fines. 2.2 Sols comportant moins de 5% de fines mais uniformes (Cu≤6). 2.3 Roches moyennement dures par exemple : Si 25<MDE≤40 et 30<LA<40.
QS3 : Bons sols	3.1 Sols comportant moins de 5% de fines 3.2 Roches dures par exemples : Si MDE≤25 et LA≤30

ANNEXE F : Classification UIC selon classification GTR

Classification de la norme NF P 11 300			Classe de qualité des sols (voir tableau 3 - page 15)			
Classe	**Désignation**	**Sous-classe**	**QS 0**	**QS 1**	**QS 2**	**QS 3**
A	*Sols fins*	**A1**	A1h	A1m & A1s	A1s B.C. Hydro. saison sèche	
		A2	A2h	A2m & A2s	A2s B.C. Hydro. saison sèche	
		A3	A3h	A3m & A3s		
		A4	A4h	A4m & A4s[a]		
B	*Sols sableux et graveleux avec fines*	**B1**				
		B2	B2h	B2m	B2s B.C. Hydro.	
		B3				Propre et bien gradué Dureté élevée
		B4	B4h	B4m	B4s	Propre et bien gradué Dureté élevée
		B5	B5h	B5m	B5s	
		B6	B6h	B6m	B6s B.C. Hydro.	
C	*Sols comportant des fines et de gros éléments*	**C1**	La classe de qualité est celle de la fraction 0/50			
		C2	fraction 0/50 de classe de qualité QS0 $w \geq 1{,}25\ w_{OPN}$	fraction 0/50 de classe de qualité QS0 $w < 1{,}25\ w_{OPN}$	fraction 0/50 de classe de qualité QS1	Propre et bien gradué Dureté élevée
D	*Sols insensibles à l'eau*	**D1**			Assurer la traficabilité Planche d'essai	
		D2		Dureté faible	Dureté moyenne	Propre et bien gradué Dureté élevée
		D3		Dureté faible	Dureté moyenne	Propre et bien gradué Dureté élevée

ANNEXE G : Les paramètres de dimensionnement E, a, b, c, d, f et g

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

ANNEXE G

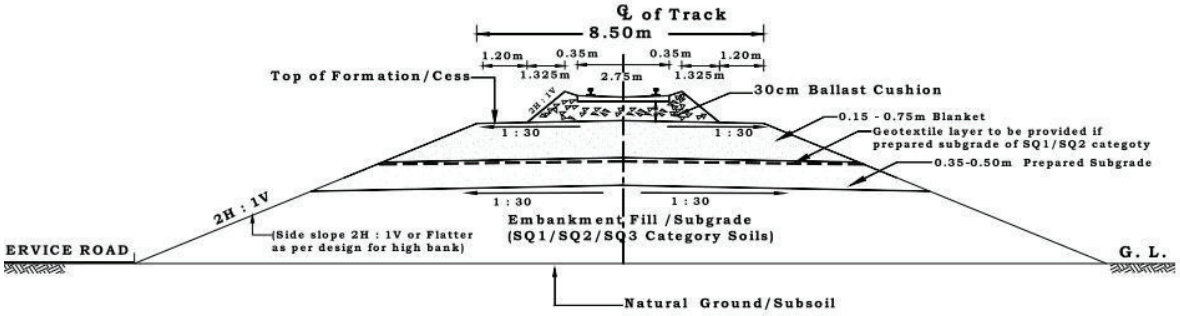
NOTE : Tous les droits sont réservés a l'auteur pour des raisons juridiques.

Sketch - 1

Extrapolation of 'd' value given in UIC Code 719 R, 1994

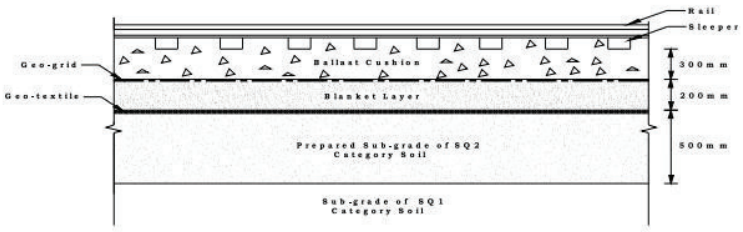


SKETCH - 4



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.