République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة

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 APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE A VOIE UNIQUE BECHAR/TINDOUF/GARA DJEBILET DU PK639+000 AU PK654+000 AVEC LA CONCEPTION DE LA GARE DE OUM AL ASSEL

Présenté par :

BENDAAS Selsabil

Encadré par :

Mr Dahmane Fares
Mr Medani Sami
Mme Mahiaoui Mahdia

Promotion 2023/2024

© ENSTP-FJ - Garidi – Vieux Kouba

Remerciement

Avant tout, je remercie Dieu pour le courage et la volonté qu'il m'a donné pour terminer ce travail.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mes encadrants de mémoire, Mr Dahmane, Mr Medani et Mme Mahiaoui. Je les remercie énormément de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Je désire aussi remercier les professeurs de l'école nationale supérieure des travaux publics et toute l'équipe administrative qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires

J'exprime ma gratitude à toute l'équipe du GCB. Je remercie en particulier mon maitre de stage MEDANI SAMI pour avoir eu la patience de répondre à mes innombrables questions et m'aider à faire avancer mon étude.

Et enfin mes remerciements s'adressent également aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer mon modeste travail.

Dédicace

Papa, maman

Je vous remercie de m'avoir tant donné, de m'avoir fait croire en l'amour et d'avoir logé en mon cœur tant d'affectations, quand le monde extérieur peut parfois être si cruel.

A ma sœur Loudjaine, mon frère Wassim

A ma cousine Kaouther

A mes chers amis Sarah, Noureddine, Maissa, Asma, Fifi et Amira,

A moi-même

Bendaas Selsabil

TABLE DES MATIERES

Introduction générale 1

I PRESENTATION DU PROJET 2

I.1 Introduction 2

I.2 Géographie 3

I.3 Relief 4

I.4 Climat 4

I.5 Sismicité 4

I.6 Présentation du projet. 4

I.7 Caractéristiques du projet 5

I.8 Conclusion 5

II SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE 6

II.1 Introduction 6

II.2 Armement de voie 6

II.2.1 Le rail 6

II.2.2 Traverses 8

II.2.3 Attaches et semelles 9

II.2.4 Appareil de voie 9

II.3 Ballast 9

II.4 Conclusion 10

III TRACE EN PLAN 11

III.1 Introduction 11

III.2 Condition à respecter dans le tracé en plan 11

III.3 Les éléments du tracé en plan 11

III.3.1 Alignement : 11

III.3.2 Arc de cercle 11

III.3.3 La courbe de raccordement 11

III.4 Paramètres géométriques du tracé. 12

III.4.1 Rayon minimal 12

III.4.2 Dévers 12

III.4.2.1 Le dévers d'équilibre (théorique) 12

III.4.2.2 Le dévers pratique. 12

III.4.2.3 Insuffisance de dévers. 12

III.4.2.4 Excès de dévers. 13

III.5 Description générale du tracé. 14

III.6 Conclusion 15

IV PROFIL EN LONG 16
IV.1 Introduction 16
IV.2 Définitions 16
IV.3 Eléments de composition du profil en long 16
IV.3.1 Choix des alignements droits 16
IV.3.2 Choix des cercles 17
IV.3.3 Raccordement circulaire 17
IV.4 Application au projet : 17
IV.5 Contraintes du tracé 18
IV.6 Conclusion 18

V ETUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE 19
V.1 Introduction 19
V.2 Analyse environnementale 19
V.2.1 Les précipitations mensuelles : 19
V.2.2 Les Températures : 19
V.2.3 Humidité relative 19
V.2.4 Les vents 19
V.3 Etude hydrologique 20
V.3.1 Réseaux hydrologiques 20
V.3.2 Délimitation des bassins versants 21
V.3.3 Caractéristiques des bassins versants 22
V.3.4 Les caractéristiques des BV qui traversent notre projet 23
V.3.5 Temps de concentration 23
V.4 Pluviométrie : 24
V.4.1 Précipitation journalières maximale 24
V.4.2 Caractéristiques de la station de TINDOUF 24
V.4.3 Estimation des coefficients de montana : 24
V.4.4 Les pluies de courte durée 25
V.4.5 Calcul de débit maximal dans les bassins (débit de crue) 25
V.4.6 Estimation des débits de projet 27
V.5 Etude hydraulique 27
V.5.1 Dimensionnement des ouvrages transversaux 27
V.5.2 Dimensionnement des ouvrages longitudinaux : 29
V.6 Conclusion 30

VI ETUDE GEOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE 31
VI.1 Introduction 31
VI.2 Etude géologique 31
VI.2.1 Topographie et géomorphologie 31
VI.2.2 Aperçu sismique 31
VI.2.3 Aperçu géologique 31
VI.2.4 Lithologie 32
VI.3 Etude géotechnique 32
VI.3.1 Programme d'investigation géotechnique 32
VI.3.1.1 Essai in situ 32
VI.3.1.2 Essais au laboratoire 32
VI.3.2 Analyse et interprétation des résultats de la campagne géotechnique 33
VI.3.2.1 Puits de reconnaissance (nature lithologique) 33
VI.3.2.2 Pénétromètre dynamique Lourd PDL (résistance et refus PDL) 34
VI.3.2.3 Sondages carottés et essai SPT (NFP 94-116) 34
VI.3.2.4 Résultats des essais pressiométriques (NFP 94-110-1) 35
VI.3.2.5 Résultats des essais au laboratoire 37
VI.4 Conclusion 38

VII ASSISE FERROVIAIRE 39
VII.1 Introduction 39
VII.2 Les composantes de la couche d'assise 39
VII.2.1 Ballast 39
VII.2.1.1 Les caractéristiques du ballast 40
VII.2.2 Sous couche 40
VII.2.2.1 Rôle de la sous couche 40
VII.3 La plateforme 40
VII.4 Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise 41
VII.5 Exigence pour les matériaux 42
VII.6 Conclusion 42

VIII PROFIL EN TRAVERS 43
VIII.1 Introduction : 43
VIII.2 Les éléments du profil en travers 43
VIII.2.1 Eléments de superstructure 43
VIII.2.2 Eléments de l'infrastructure 43
VIII.2.3 Eléments du talus 43
VIII.2.4 Eléments d'assainissement 43
VIII.3 Profil en travers type de mon projet : 43
VIII.4 Calcul des cubatures. 44
VIII.5 Conclusion 44

IX TERRASSEMENTS 45
IX.1 Introduction 45
IX.2 Les caractéristiques géotechniques 45
IX.2.1 Propriétés géotechniques de l'assise ferroviaire et du corps de remblai 45
IX.3 Etude de stabilité du terrassement. 46
IX.4 Traitement des zones inondables 46
IX.4.1 Traitement des zones inondables 47
IX.5 Conclusion 47

X CONCEPTION DE LA GARE OUM AL ASSEL 48
X.1 Introduction 48
X.2 Type de gare 48
X.3 Étude du plan de masse d'une gare 48
X.4 Aménagement de la gare 48
X.4.1 Installations d'une gare à voyageur 48
X.4.2 Marge de glissement à l'aval des signaux 48
X.4.3 Garage franc 49
X.4.4 La longueur utile d'une voie de stationnement 49
X.4.5 Heurtoir 49
X.5 Caractéristiques géométriques des gares 50
X.5.1 Quai 50
X.5.2 Déclivité dans les gares 51
X.5.3 Les appareils de voie 51
X.6 Application au projet 52
X.6.1 Description de La Gare OUM EL ASSEL 52
X.7 Assainissement transversale 53

XI SIGNALISATION FERROVIAIRE 55
XI.1 Introduction 55
XI.2 Objet de la signalisation ferroviaire 55
XI.3 Les signaux 55
XI.4 Signalisation classique 56
XI.5 Types de blocs 56
XI.5.1 Block Manuel (B.M) 56
XI.5.2 Block automatique à permissivité restreinte (B.A.P.R) 56
XI.5.3 Block automatique lumineux (B.A.L) 56
XI.6 Le principe du système ERTMS : 58
XI.7 Caractéristiques principales du système de signalisation pour notre projet. 59
XI.8 Conclusion 59

XII ETUDE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL 60
XII.1 Introduction. 60
XII.2 Impacts de la phase de réalisation 60
XII.3 Description des mesures envisagées pour supprimer, réduire et/ou compenser les conséquences dommageables 61
XII.4 Impacts positifs de la phase d'exploitation 62
XII.4.1 Impacts sur le plan socio-économique : 62
XII.4.2 Impacts positifs de l'usagers du mode ferroviaire 62
XII.5 Conclusion. 62

XIII DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF 64

Conclusion générale 66

LISTES DES FIGURES

Figure I-1 Plan synoptique de la nouvelle ligne minière Bechar-Gara Djebilet Tindouf[7]_2
Figure I-2 Zone d'étude [7] _____ 3
Figure I-3 Carte zonage sismique de l'Algérie [8]_____ 4
Figure II-1 Composants de la section transversale du rail_____6

Figure II-2 Profil rail du type UIC60 E1[10] _____ 7
Figure II-3 Les composantes de la voie _____ 10
Figure III-1 Les éléments du tracé en plan_____11

Figure III-2 le dévers d'équilibre_____ 13
Figure V-1 Les bassins hydrographiques de l'Algérie (Bouchedja ,2012)[14]_____ 20
Figure V-2 Délimitation des bassins versants _____ 21
Figure V-3 Choix de la pluie journalière maximale après l'ajustement[18] _____ 25
Figure V-4 schéma du fossé proposé_____30

Figure VII-1 les couches de l'assise ferroviaire _____ 39
Figure IX-1 zone inondable PK648+200 au PK648+435 [19] _____ 47
Figure IX-2 zone inondable PK649+219 au PK649+408 [19] _____ 48
Figure X-1 schéma du garage franc _____ 50
Figure X-2 Schéma illustratif de la longueur utile _____ 50
Figure X-3 Heurtoir _____ 51
Figure XI-1 schéma illustratif d'un canton _____ 57
Figure XI-2 les trois niveaux de ERTMS _____ 59

LISTES DES TABLEAUX

Tableau I-1 caractéristiques du projet 5
Tableau II-1 caractéristiques du rail type UIC60 E1 7

Tableau III-1 les valeurs d'alignement minimal[1] 11

Tableau III-2 limites de variation de dévers[1] 12
Tableau III-3 Valeur limite de l'insuffisance de devers[1] 13
Tableau III-4 Valeur limite d'excès de devers[1] 13
Tableau III-5 Paramètres géométriques du tracé[1] 14
Tableau III-6 Tableau récapitulatif des paramètres du trace 15
Tableau IV-1 les longueurs minimales des éléments de profil en long[1] 15
Tableau IV-2 Valeurs de Rayon vertical minimale [1] 16
Tableau IV-3 Valeur des paramètres du profil en long 16
Tableau IV-4 les contraintes du tracé 17
Tableau V-1 Les précipitations moyennes mensuelles[13] 19

Tableau V-2 Les températures moyennes mensuelles[13] 19
Tableau V-3 Répartition de l'humidité relative de la station de Tindouf[13] 19
Tableau V-4 Les moyennes mensuelles des vitesses du vent[13] 19
Tableau V-5 les caractéristiques des BV 23
Tableau V-6 Précipitation journalière maximale[18] 24
Tableau V-7 caractéristiques de la station de Tindouf[18] 24
Tableau V-8 Les coefficients de Montana[18] 24
Tableau V-9 Les débits maximal (méthode rationnelle) 26
Tableau V-10 Les débits maximal (Mallet-Gauthier) 26
Tableau V-11 Estimation des débits de projet 27
Tableau V-12 liste globale des ouvrages a projeté 28
Tableau V-13 conditions d'auto-curage des buses 29
Tableau V-14 condition d'auto-curage des dalots 29
Tableau V-15 débit du talus et de la plateforme 30
Tableau V-16 Dimensionnement du fossé proposé 30
Tableau VI-1 coordonnées des puits de reconnaissances 33
Tableau VI-2 Résultats d'essai PDL 34
Tableau VI-3 Nature lithologique et RQD 34
Tableau VI-4 Nombre de coups SPT 35
Tableau VI-5 résultats des essais pressiométriques 35
Tableau VI-6 propriétés physiques et mécaniques du sol 37
Tableau VI-7 classification GTR et UIC 37
Tableau VI-8 résultats des essais réalisés sur échantillons intacts récupérés des sondages 38
Tableau VII-1 couches d'assise proposées 41
Tableau VII-2 structure de la couche d'assise 42
Tableau VII-3 matériaux proposés pour les couches 42
Tableau VIII-1 les cubatures (déblais/remblais) 45
Tableau VIII-2 les cubatures de la couche d'assise 45

Tableau IX-1Propriétés géotechniques de l'assise ferroviaire et du remblai 46
Tableau IX-2 Résultats des calculs de stabilité au glissement 47
Tableau X-2 Les longueurs minimales de l'appareil de voie. 52

Tableau X-3 les longueurs utiles de la gare 53
Tableau X-4 : Schéma de la gare proposée 54
Tableau XI-1 les risques ferroviaires 56
Tableau XI-2 les principaux signaux ferroviaires et leur indication 58

Tableau XI-3 XI.7 Caractéristiques principales du système de signalisation_____60
Tableau XII-1 Impacts négatifs avec les mesures d'atténuation_____62

ملخص

هذه المذكرة عبارة عن دراسة مفصلة لقسم من مشروع السكة الحديدية الجديدة الرابطة بين بشار/تندوف/غار جبيلات من الكيلومتر 639 000 إلى الكيلومتر 654 000 بما في ذلك تنظيم محطة ام العسل . تم تحديد الخصائص التقنية الملائمة للسكة الحديدية من قبل الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية SNTF وفقا لمعايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية UIC تمت الدراسة بواسطة البرنامج COVADIS .17

ABSTRACT

This thesis is a detailed study of a section of the new railway project connecting Bechar/ Tindouf/Gara Djebilet from PK 639 000 TO PK 654 000 including the design of Oum al Assel station.

This study was designed according to the standards of the International Union of Railways (UIC) and based on recommendations from the National Railway Transportation Company (SNTF). The study was conducted using the Covadis software.

RESUME

Ce mémoire est une étude détaillée d'une section du nouveau projet de chemin de fer reliant Bechar/Tindouf/Gara Djebilet du PK 639 000 au PK 654 000, y compris la conception de la gare d'Oum El Assel. Les caractéristiques techniques appropriées pour le chemin de fer ont été déterminées par la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) selon les normes de l'Union Internationale des Chemins de fer (UIC). L'étude a été réalisée à l'aide du programme COVADIS.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Depuis l'invention du rail au début du XIXe siècle, il a révolutionné le transport terrestre, permettant de relier des villes et des pays sur de longues distances de manière économique et révolutionnaire.

Le transport ferroviaire joue un rôle très important dans le développement des pays, c'est un mode de transport compétitif et écologique qui permet de transporter de grandes quantités de marchandise et de voyageurs sur de longues distances, il représente aussi un pilier du développement économique et sociale en facilitant les échanges et le commerce internationale.

Le secteur ferroviaire, bien que riche en avantages, doit relever de nombreux défis pour garantir sa pérennité et son expansion future, en renforçant la sécurité, améliorant la performance par des services plus compétitifs, et réduisant l'impact environnemental.

Dans le cadre du développement du réseau ferroviaire national et du transport ferroviaire, l'Agence Nationale d'Étude et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (ANESRIF) a lancé le projet étude et réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire BECHAR/TINDOUF (Gare Djebilet) sur 950 km, cette thèse s'intéresse à l'étude d'un tronçon de cette voie ferrée.

Ce document est structuré en plusieurs chapitres qui couvrent les différents aspects de notre étude, il est divisé en 14 chapitres organisé comme suit :

- **Chapitre I** description détaillée de l'objectif du projet étudie et ses caractéristiques
- **Chapitre II** détail de la superstructure de la voie
- **Chapitre III, IV** l'étude géométrique de la voie
- **Chapitre V, VI,** l'analyse des données collectées pour l'étude l'étude hydrologique, hydraulique, géologique et géotechnique
- **Chapitre VII, VIII :** le dimensionnement de l'assise ferroviaire et l'élaboration du profil en travers.
- **Chapitre IX** étude de la stabilité des terrassements
- **Chapitre X** la conception de la gare Oum El Assel
- **Chapitre XI,** définition des systèmes de la signalisation ferroviaire
- **Chapitre XII,** l'étude d'impact environnemental
- **Chapitre XIII** le devis quantitatif et estimatif.

CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET

I PRESENTATION DU PROJET

I.1 Introduction

Les autorités algériennes ont initié un projet visant à promouvoir le développement économique et social des wilayas de Tindouf et Bechar, tout en modernisant le réseau ferroviaire national. Ce projet consiste en l'étude et la réalisation d'une nouvelle ligne ferroviaire reliant Bechar à Tindouf (Gara Djebilet) sur une distance de 950 kilomètres.

Son objectif principal est d'établir une voie de transport vitale pour le fret et les minerais, reliant ainsi les installations industrielles aux ports desservis par le réseau ferroviaire national.

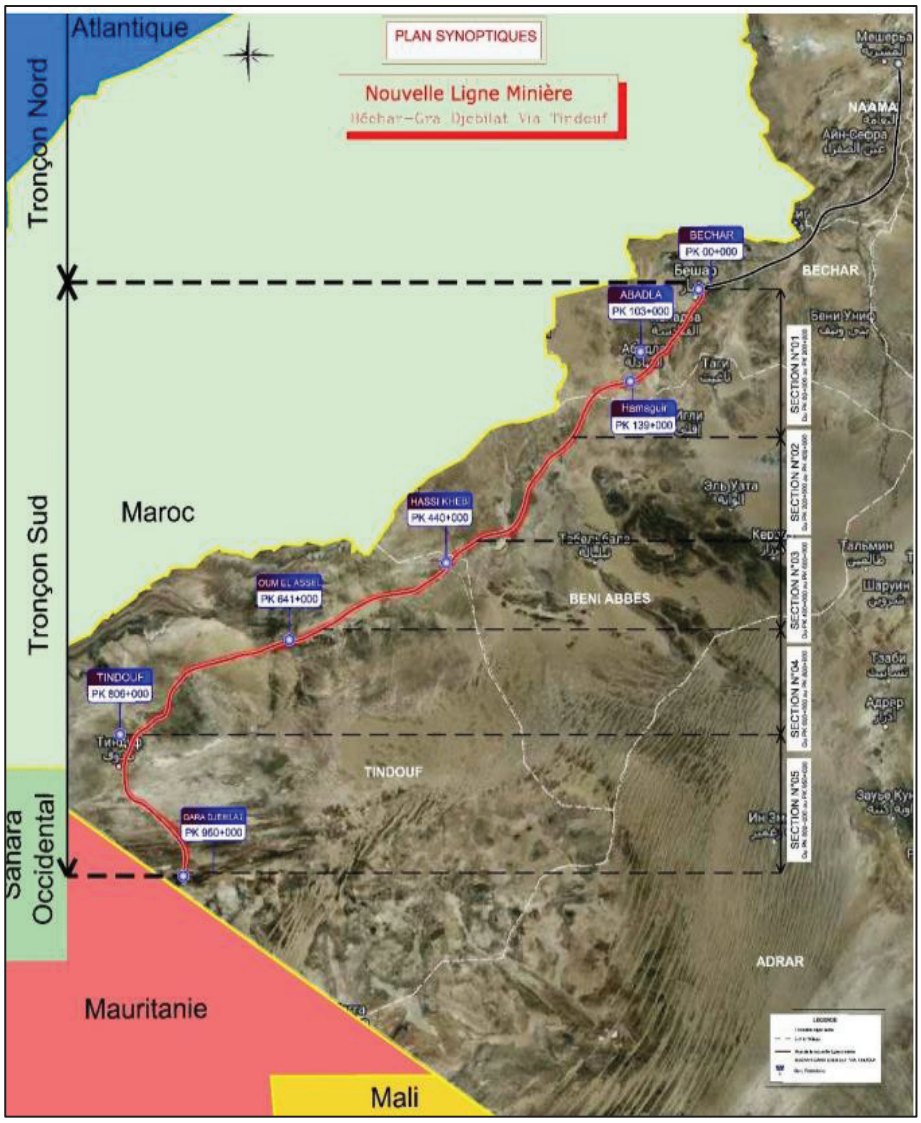


Figure I-1 Plan synoptique de la nouvelle ligne minière Bechar-Gara Djebilet via Tindouf [7]

Cette ligne ferroviaire minière de l'Ouest, conçue pour transporter plus de 140 tonnes de minerai de fer quotidiennement du gisement de Gare-Djebilet, joue un rôle central dans le réseau de transport minier. Elle reliera le gisement de Gare-Djebilet à la ligne ferroviaire Béchar-Oran, en traversant les régions d'Abadla, Tabelbala, Hammaguir, Hassi Khebi, Oum L'Assel et Tindouf.

Afin de faciliter la progression des études et la réalisation de ce projet, celui-ci a été subdivisé en cinq (05) sections distinctes :

1. Section 01 de 200km : du Pk 0+000 au Pk 200+000.
2. Section 02 de 200km : du Pk 200+000 au Pk 400+000.
3. Section 03 de 200km : du Pk 400+000 au Pk 600+000.
4. Section 04 de 200km : du Pk 600+000 au Pk 800+000.
5. Section 05 de 150km : du Pk 800+000 au Pk 950+000.

Dans ce mémoire, l'attention est portée sur un segment qui fait partie de la quatrième section. Il s'agit donc d'une nouvelle ligne ferroviaire à voie unique, du PK639.000 au PK654.000 avec la conception de la gare d'OUM L'ASSEL.

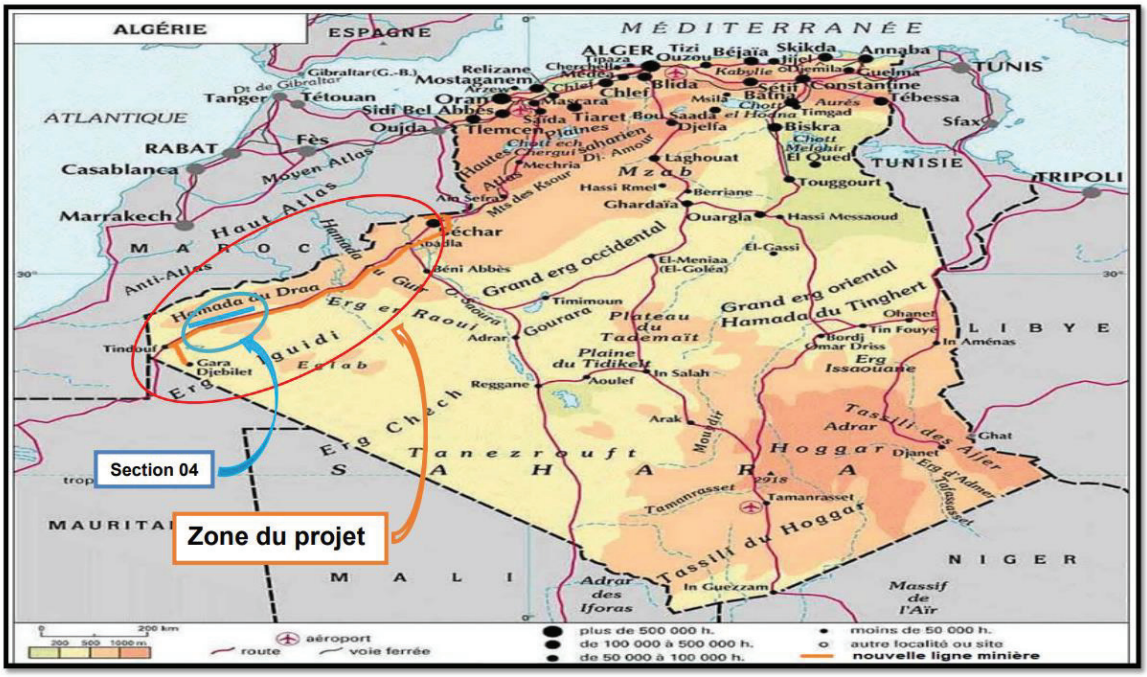


Figure I-2 Zone d'étude [7]

I.2 Géographie :

La wilaya de Tindouf est située au sud-ouest du pays et occupe une position géostratégique. Elle s'étend sur une superficie de 158 874 km^2 et a pour chef-lieu la ville éponyme de Tindouf.

Établie en 1984 suite à une scission de la wilaya de Béchar, elle partage ses frontières avec le Maroc au nord, la wilaya de Béchar au nord-est, le Sahara occidental à l'ouest, la wilaya d'Adrar à l'est et la Mauritanie au sud.

Tindouf se distingue par le fait qu'elle compte le moins de communes et de daïras parmi les wilayas algériennes, se composant uniquement de deux communes : Tindouf et Oum el Assel, qui ensemble forment la seule daïra de Tindouf.[9]

I.3 Relief

La zone d'étude se situe dans une région désertique à une altitude moyenne de 467m. Le relief étudié est globalement plat.

I.4 Climat

Oum Al Assel connaît un climat désertique chaud, caractéristique de la zone saharienne hyperaride, au cœur du Sahara. Les étés y sont très longs et extrêmement chauds, tandis que les hivers sont courts et modérément chauds. Ce climat est largement hyperaride et extrêmement sec tout au long de l'année, avec des précipitations annuelles moyennes d'environ 27mm.

I.5 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 ci-dessous :

- Zone 0 : sismicité négligeable,
- Zone I : sismicité faible,
- Zone IIa : sismicité moyenne,
- Zone IIb : sismicité élevée,
- Zone III : sismicité très élevée.

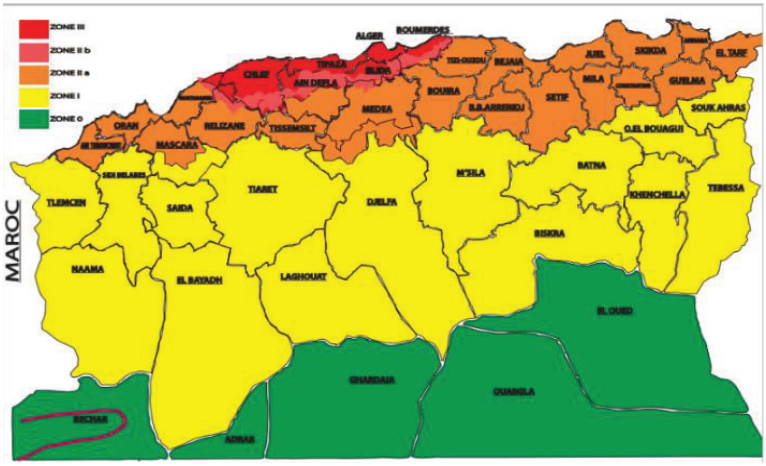


Figure I-3 : Carte zonage sismique de l'Algérie [8]

D'après ce découpage notre région d'étude appartient à la zone 0, caractérisée par une sismicité négligeable.

I.6 Présentation du projet.

La portion étudiée de la ligne ferroviaire reliant Gare Djebilet (Tindouf) à Béchar se situe entre les points kilométriques PK639+000 et PK654+000, en direction de Tindouf, sur une distance de 15 kilomètres.

Le tronçon s'oriente principalement du nord-est au sud-ouest, en suivant la route nationale RN50 qui relie Abadla dans la wilaya de Béchar à Chenachene dans la wilaya de Tindouf.

L'ensemble du tracé de la ligne ferroviaire Béchar-Tindouf/Gare Djebilet traverse des zones arides et désertiques, couvrant l'intégralité de la wilaya de Tindouf et le sud de l'Algérie en générale.

I.7 Caractéristiques du projet

Tableau I-1 caractéristiques du projet

Items	Caractéristiques
Longueur de tracé	15km
Trafic	Mixte (marchandise minéraliers /voyageur)
Minerais transporté	Le fer
Ligne	Voie unique
Vitesse marchandises	70km/h
Vitesse voyageur	160km/h
Ecartement de la voie	1435mm
Charge à l'essieu pour les voies	32,5 t
Charge à l'essieu pour les OA	32,5 t
Mode de traction	Diesel
Ouvrage d'art	Pour double voie
Type de rail	UIC60E1
Type de traverse	Mono bloc TBP
Type d'attache	Elastique (NABLA)
Appareil de voie utilisé	UIC-60 300- 1 :9 avec une vitesse de 45 km/h. UIC-60 500- 1 :12 avec une vitesse de 65 km/h.
Largeur de la plateforme	8m pour une voie unique
Logiciel à utiliser	Covadis
Longueur de la Gare	2650m

I.8 Conclusion

Le projet de la nouvelle ligne ferroviaire Gara Djebilet (Tindouf)-Bechar est une liaison stratégique sur le plan socio-économique national, il sert à une liaison minière qui relie le grand gisement de fer de Gara Djebilet (Tindouf) par Bechar en première phase, pour atteindre Oran en deuxième phase.

Chapitre II : Superstructure de la voie

II Superstructure de la voie

II.1 Introduction

La superstructure d'une voie ferrée fait référence à l'ensemble des éléments situés au-dessus de la plateforme de la voie. Elle comprend notamment les rails, les traverses, les fixations, les ballasts et tout autre équipement utilisé pour soutenir et maintenir les rails en place. La superstructure est essentielle pour assurer la stabilité, la durabilité et la sécurité de la voie ferrée, ainsi que pour garantir un roulement efficace des trains.

II.2 Armement de voie

II.2.1 Le rail

Les rails sont fondamentaux pour la structure de toute voie ferrée, assurant le guidage des roues des trains. Ils fournissent une surface stable et robuste pour le déplacement fluide des trains, supportant leur poids et favorisant leur mouvement régulier. Fabriqués généralement en acier pour leur résistance, les rails sont sélectionnés pour leur capacité à supporter des charges importantes et à résister aux conditions météorologiques les plus extrêmes.

Les rails remplissent plusieurs fonctions importantes dans le système de voie ferrée

1-Guidance : Les rails assurent le guidage des roues du train, assurant ainsi leur maintien sur la voie et prévenant les déraillements

2-Support : Les rails répartissent de manière équilibrée le poids du train, limitant ainsi la pression exercée sur les éléments sous-jacents

3-Douceur : Les rails fournissent une surface lisse aux roues, réduisant ainsi la friction et permettant au train de se déplacer de manière efficiente

4-Sécurité : Les rails contribuent à la sécurité globale de la voie en réduisant les risques d'accidents et en garantissant la stabilité du train.

Le profil du rail se compose de :

Le patin : largeur pour transfert de charge à la traverse, portée d'éclissage et zone pour les attaches

Le champignon : courbure pour le contact roue-rail et masse pour fretter la zone de contact

L'âme : raccord avec la portée d'éclissage

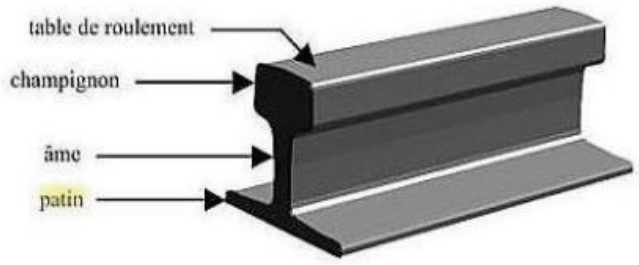


Figure II-1- Composants de la section transversale du rail

La table de roulement : elle est la surface supérieure du champignon, sur laquelle les roues du train roulent.

Dans ce projet, le type de rail utilisé est le Vignole UIC 60 E1.

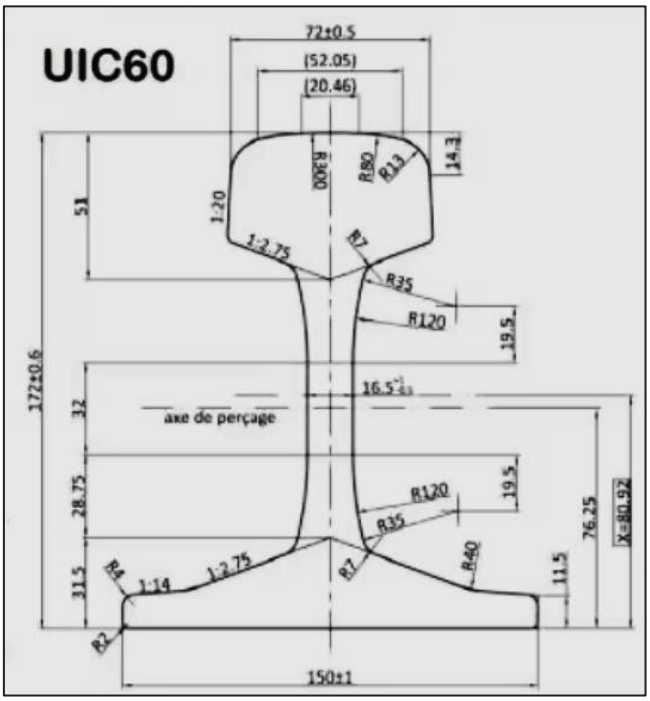


Figure II-2 Profil rail du type UIC60 E1[10]

II.2.1.1 Caractéristique du rail type UIC60 E1

Tableau II-1 caractéristiques du rail type UIC60 E1

Caractéristiques	Valeur
Masse	60,21kg/ml
Surface de la section	76,7 cm^2
Hauteur du rail	172 mm
Largeur du champignon	72 mm
Largeur du patin	150mm
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 ≥ 880 N/mm2
Allongement	R ≥ 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-manganèse)

II.2.1.2 Assemblages des rails

Les rails employés dans la construction des voies ferrées sont habituellement fabriqués en longueurs variant de 18 à 36 mètres. Pour garantir la solidité et la continuité de la voie, il est essentiel d'assurer une connexion robuste entre les extrémités des rails. À cette fin, deux techniques sont couramment employées : l'utilisation d'éclisses et le soudage

Soudure : après la fabrication des rails, souvent acheminés par train, ils sont dirigés vers des installations de soudage électrique et aluminothermique. Ce

processus permet de créer de longues barres soudées, appelées "LRS" (long rails soudés).
Ces LRS sont ensuite transportées sur des véhicules spéciaux et placées sur les voies en construction ou en réparation.

- Une éclisse de chemin de fer est une pièce métallique servant à raccorder deux rails consécutifs d'une voie ferrée. Les éclisses sont apposées par paire, à l'aide de boulons

Le joint éclissé entre deux rails constitue un point faible de la voie même si à température élevée aucune lacune ne subsiste.

Sous l'effet de la charge, l'assemblage se dégrade, les abouts s'affaissent les roues viennent frapper le rail en aval, en mater l'about et par rebondissement, retomber à quelques centimètres de son extrémité,

Un tel coup de marteau entraine l'usure prématurée du matériel roulant, un certain inconfort pour les voyageurs et surtout la détérioration de la qualité de l'ensemble de la voie.

- Les traverses proches du joint dansent en détruisant rapidement les propriétés élastiques du ballast et le nivellement
- Les éclisses battent dans leur logement
- Les trous de boulons peuvent être à l'origine de fissures pouvant aller jusqu'à la rupture par fatigue. [11]

Pour ces diverses raisons, et étant donné les avancées dans le soudage de l'acier des rails qui permettent d'obtenir des soudures résistantes aux charges en mouvement, notre choix s'est porte sur un assemblage par soudure.

Soudure aluminothermique :

Le soudage aluminothermique est un processus de soudage qui utilise une réaction chimique entre la poudre d'aluminium et l'oxyde de fer pour créer une réaction exothermique. Cette réaction chauffe le métal sans nécessiter de source de chaleur ou de courant externe. Le produit de cette réaction est du fer, avec de l'oxyde d'aluminium comme déchet. Un des grands avantages de la soudure aluminothermique est que la contraction thermique est très contrôlable et prévisible, ce qui permet d'obtenir un tassement uniforme lors du refroidissement

Soudure électrique :

Soudage électrique des rails est une méthode courante utilisée pour assembler des sections de rails de chemin de fer. En appliquant un courant électrique aux extrémités des rails, la chaleur générée permet de les fondre et de les forger ensemble, assurant une connexion solide et durable. Ce processus permet de créer des sections de rail continues, réduisant les points de faiblesse et améliorant la durabilité

- Le soudage électrique des rails se fait généralement dans des installations spécialisées appelées ateliers de soudage de rails et le soudage aluminothermique se fait sur chantier

II.2.2 Traverses

Les traverses de chemin de fer, jouent un rôle essentiel dans l'infrastructure ferroviaire en assurant la stabilité et le soutien des voies. Ces pièces rectangulaires et allongées sont placées perpendiculairement aux rails, contribuant à la répartition du poids des trains, ce qui garantit un transport sécurisé et efficace.

Rôle des traverses :

- Maintenir les rails à l'écartement normal 1435mm
- Répartition des charges
- Permettre l'inclinaison de 1/20 aux rails
- L'épaisseur de la traverse donne la rigidité nécessaire avec une certaine élasticité
- Leur élasticité aide à absorber les principaux efforts de flexion et de torsion
- Permettre le bourrage mécanique de la voie

Les traverses en béton sont les plus utilisées en Algérie pour la construction des voies ferrées. Il existe deux types de traverses en béton :

• **Bibloc** : deux blocs sont reliés par une entretoise en acier pour maintenir l'écartement,

• **Monobloc** : poutre en béton précontrainte elle offre une meilleure résistance à la flexion que la traverse bibloc et une meilleure répartition des charges verticale.

– Pour notre étude le choix s'est porté sur la traverse Mono bloc TBP

II.2.3 Attaches et semelles

Les semelles et les attaches sont très importantes pour la stabilité du rail

Les semelles sont généralement en élastomère (caoutchouc) (environ 9mm d'épaisseur), elles jouent le rôle d'un amortisseur

L'attache élastique est recommandée pour les voies à trafic important

Caractéristiques mécaniques.

- Assure un effort vertical de serrage du rail sur la traverse le plus constant possible
- Transmettre des efforts latéraux a la traverse
- Couple de renversement important, s'opposant au déversement du rail

II.2.4 Appareil de voie

Les appareils de la voie sont un moyen de franchissement ou passage d'un train d'une voie principale a une voie service ou de franchissement d'une voie de croisement

Les appareils de voie sont de deux types :

- Les branchements : Le branchement est un appareil de voie qui permet le passage du matériel roulant suivant deux (ou plus) itinéraires ayant une branche commune.
- Les traversées : La traversée est un appareil de voie qui permet le passage du matériel roulant suivant des itinéraires qui se coupent

II.3 Ballast

Le ballast est un élément essentiel de la superstructure d'une voie ferrée. Il s'agit d'un lit de roche concassée, qui est répandu sous les traverses et les rails pour soutenir et stabiliser la voie.

Le ballast remplit plusieurs fonctions importantes :

•Distribution de la charge : Le ballast répartit uniformément la charge des rails et des trains sur le sol sous-jacent, ce qui aide à prévenir le tassement du sol et à maintenir la stabilité de la voie.

•Drainage : En permettant le drainage de l'eau de pluie et en empêchant l'accumulation d'eau sous la voie, le ballast aide à prévenir l'affaissement du sol et la détérioration des éléments de la voie.

•Absorption des chocs et des vibrations : Le ballast agit comme un amortisseur en absorbant une partie des chocs et des vibrations générés par le passage des trains, ce qui contribue à réduire l'usure des rails et des traverses.

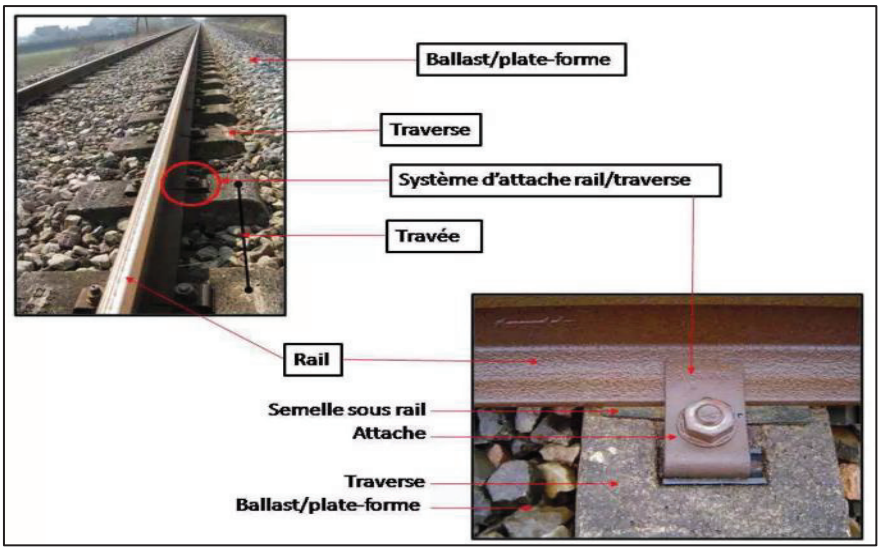


Figure II-3 Les composantes de la voie

II.4 Conclusion

Le bon choix de la superstructure de la voie ferrée assure le bon roulement, la sécurité des trains et le confort des voyageurs. Dans le chapitre suivant nous présentons le tracé en plan de notre tronçon.

CHAPITRE III : TRACE EN PLAN

III TRACE EN PLAN

III.1 Introduction

Le tracé en plan de la voie ferrée consiste à représenter orthogonalement tous les points sur un plan horizontal. En général, il est composé d'une série d'alignements droits et d'arcs de cercle reliés entre eux par des courbes de transition progressive.

III.2 Condition à respecter dans le tracé en plan

Pour réaliser un bon tracé, économique et technique, tout en respectant les normes, plusieurs recommandations doivent être prises en compte. Voici quelques-unes des plus pertinentes :

- Respecter le couloir des points topographiques déterminés lors de l'étude APD,
- Les rayons de courbures du tracé doivent avoir des valeurs importantes afin d'éviter l'usure du rail sur lequel circulent ces trains lourds,
- Un excès de devers est minimisé pour assurer aux trains lourds un contact maximal entre les roues et les rails, réduisant ainsi au minimum les problèmes d'usure des rails et des roues,
- Respecter les normes de la SNTF.

III.3 Les éléments du tracé en plan

III.3.1 Alignement :

Un alignement droit dans le tracé en plan d'une voie ferrée correspond à une courbe de rayon infini (R=∞).

Tableau III-1 les valeurs d'alignement minimal[1]

Valeur limite normale	$\frac{V}{2}$=80m
Valeur limite exceptionnelle	$\frac{V}{3}$=53,33m

III.3.2 Arc de cercle

C'est la partie circulaire de la courbe (rayon constant).

III.3.3 La courbe de raccordement

Il est nécessaire d'inclure des transitions à courbure progressive, en plus des alignements et des arcs, afin d'éviter les changements brusques de direction lors de la transition entre un alignement et un arc ou entre deux courbes circulaires.

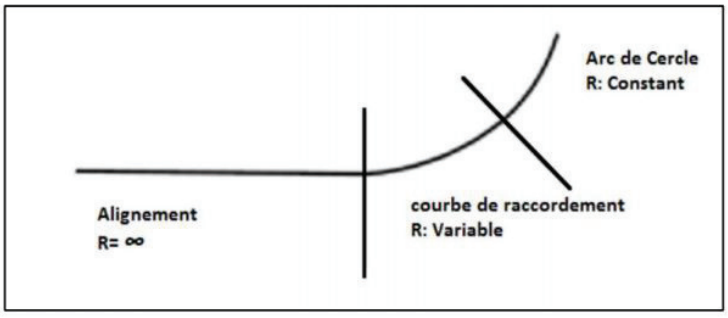


Figure III-1 Les éléments du tracé en plan

III.4 Paramètres géométriques du tracé.

III.4.1 Rayon minimal

$$R_{min} \geq \frac{11{,}8 * V_{max}^2}{I + D}$$

I : l'insuffisance de devers

D : le dévers

V_{max} : la vitesse maximale

III.4.2 Dévers :

Le dévers est la différence d'altitude entre les deux files de rails en un point de la voie.

Tableau III-2 limites de variation de dévers [1]

Valeur limite normale	160mm
Valeur limite exceptionnelle	180mm

III.4.2.1 Le dévers d'équilibre (théorique)

C'est le devers nécessaire pour compenser totalement la force centrifuge. Il est calculé à l'aide de la formule théorique :

$d_{th} = \frac{11{,}8V^2}{R}$, pour une ligne à voie d'écartement normal

V : vitesse des trains

R : rayon de courbe.

III.4.2.2 Le dévers pratique.

En pratique, l'application du dévers théorique est impossible en raison des vitesses variables des trains, notamment entre les trains rapides et les trains lents. Ainsi, il a été décidé de définir un dévers réel pour répondre à ces variations de vitesses.

Il est donné par la formule

$$dp = \frac{1000C}{R}$$

C : coefficient de dévers, il doit être un multiple de 15

$$C = 0{,}006V^2$$

V : vitesse du train le plus rapide exprimée en km/h

Sa valeur en général est comprise entre, celle des trains rapides et celle des trains lents, elle est donnée par :

$$0.5d_{th} \leq dp \leq 0.7d_{th}$$

III.4.2.3 : Insuffisance de dévers.

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

Les valeurs maximales admissibles sont :

Tableau III-3 Valeur limite de l'insuffisance de devers [1]

Valeur limite normale	150mm
Valeur limite exceptionnelle	160mm

III.4.2.4 : Excès de dévers.

L'excès de dévers est limité pour éviter l'usure prématurée du rail intérieur dans les courbes.

Les valeurs maximales admissibles sont les suivantes

Tableau III-4 Valeur limite d'excès de devers[1]

Valeur limite normale	110mm
Valeur limite exceptionnelle	130mm

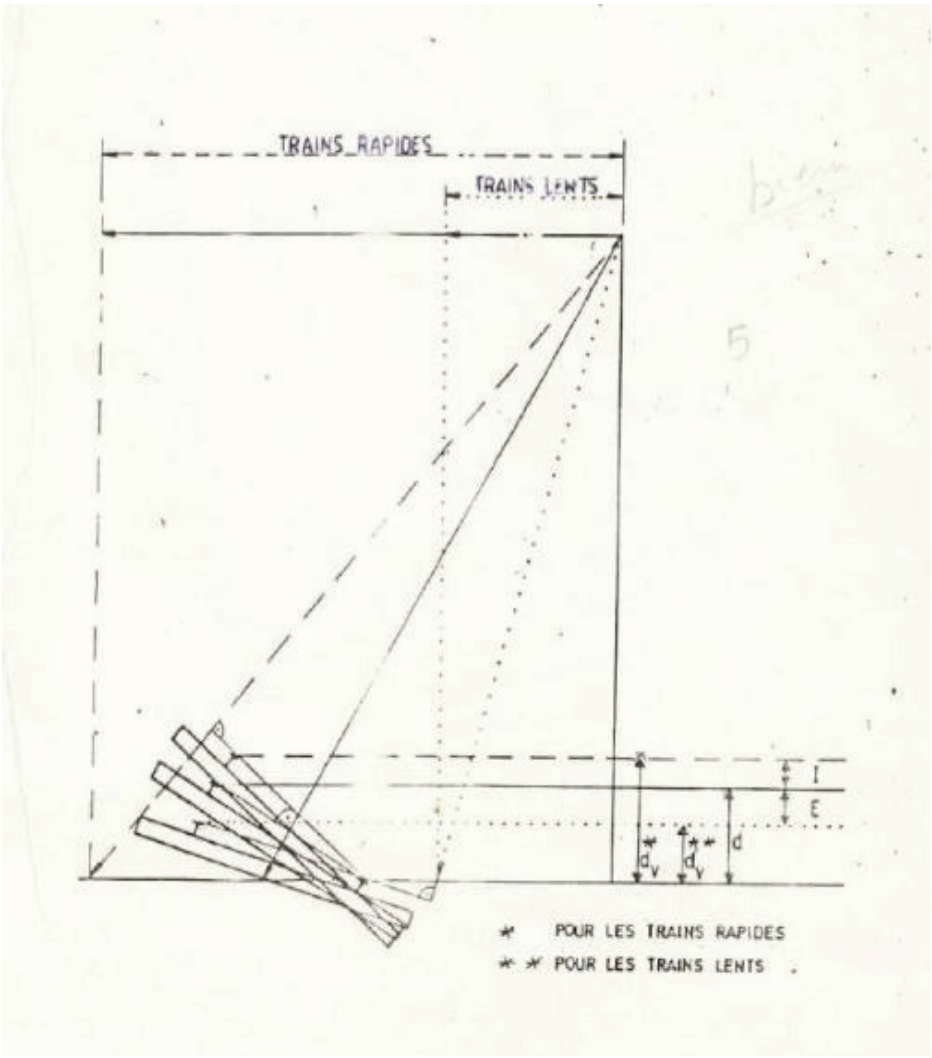


Figure III-2 le dévers d'équilibre

Tableau III-5 Paramètres géométriques du tracé[1]

	Formules		Application	
	Normal	Exceptionnel	Normal	Exceptionnel
Devers maximal d(mm)	-	-	160mm	180mm
R_{min}	$\frac{11{,}8V^2{}_{max}}{D_{max}+I_{max}}$		974	
Longueur maximale des alignements	$\frac{V_{max}}{2}$	$\frac{V_{max}}{3}$	80	53
Longueur minimale des pleines courbes	$\frac{V_{max}}{2}$	$\frac{V_{max}}{3}$	80	53
Insuffisance de dévers admissibles	-	-	150	160
Excès de dévers admissible			110	130
La limite de la variation de dévers par rapport à la longueur	$\frac{180}{V_{max}}$	$\frac{216}{V_{max}}$	1,125	1,350
La limite de la variation d'insuffisance de dévers par rapport au temps.			75	90

III.5 Description générale du tracé.

- Le tracé de la voie est conçu pour un transport mixte, voyageurs et marchandises avec la dominance de trafic de minerai de fer.
- Le tracé en plan choisi est constitué de grand alignement droit avec seulement deux rayons importants afin de protéger les rails contre l'usure due à la circulation des trains minéraliers lourd et d'assurer le confort des trains de voyageurs
- Pour minimiser l'excès de devers au minimum et protéger les rails contre l'usure les devers ont été réduit à 20 -25mm.

Détail de calcul :

Pour le rayon R=3500m

- Insuffisance de dévers : $I = d_{th} - d_p$ = 86,31- 20= 66,31 mm

- Excès de devers : $E = d_p - d_{th}$ = 3,48 mm

- La longueur de clothoïde : $L_{rp} = \frac{dp*V_{max}}{180}$= 17,78 m. On utilise : L_{rp} = 80m

- Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur : $\frac{\Delta d}{\Delta L}$= 20/80 = 0,25 mm/m.

- Limite de la variation de dévers par rapport le temps : : $\frac{\Delta d}{\Delta t}$= = $\frac{\Delta d \times Lrp}{V \times 3{,}6}$= 11,11 mm/s.

- La variation d'insuffisance de dévers : $\frac{\Delta I}{\Delta t}$= = $\frac{\Delta L \times V}{Lrp \times 3{,}6}$ = 61.66∗120 /3.6∗60 = 36,84 mm/s.

Tableau III-6 Tableau récapitulatif des paramètres du trace

Rayon	d_{th} Voyageur	d_{th} Marchandise	C	C (multiple de 15)	dp	dp adopté	I	E	L_{rp}	L_{rp} Adopté	dd/dl	dI/dt	dd/dt
3500	86,31	16,52	153,6	165	47,14	20	66,31	3,48	17,78	80	0,25	36,84	11,11
2900	104,17	19,94	153,6	165	56,90	25	79,17	5,06	22,22	100	0,25	35,18	11,11

III.6 Conclusion

Le tracé en plan ayant été arrêté, l'étude du profil en long peut être abordée dans le chapitre qui suit.

NB : le tracé est réalisé à l'aide de logiciel COVADIS 17.0f et les éléments du tracé en plan sont représentés dans l'annexe.

CHAPITRE IV :
PROFIL EN LONG

IV Profil en long

IV.1 Introduction

L'élaboration du profil en long revêt une importance capitale dans l'évaluation économique d'un projet ferroviaire, car elle englobe les aspects tels que les terrassements (quantité : déblai remblai ...), les ouvrages d'art et les tunnels.

IV.2 Définitions

•**Le profil en long du terrain naturel** illustre la topographie du terrain le long du tracé en plan, fournissant ainsi la référence pour établir le profil en long du projet

•**Le profil en long du projet** représente l'alignement du projet, habituellement constitué de segments droits reliés par des courbes circulaires.

•**La déclivité** : est définie comme la tangente de l'angle entre le profil en long et l'horizontale. On la désigne comme une pente lorsqu'elle indique une descente et comme une rampe lorsqu'elle indique une montée.

Le profil en long indique le repérage en Points Kilométriques, l'altitude et la déclivité.

IV.3 Eléments de composition du profil en long

IV.3.1 Choix des alignements droits

Le profil en long de la voie ferrée présente des déclivités minimales afin de garantir des vitesses de circulation appropriées tout en assurant la sécurité lors des freinages en descente et le confort lors des départs en montée des véhicules

La disposition des lignes droites par rapport au relief naturel est influencée par divers facteurs tels que :

- Respecter les normes (longueur minimale, déclivité ...)
- Éviter les terrassements non nécessaires.
- Assurer l'équilibre entre les volumes de remblai et de déblai.
- Minimiser le mouvement des terres.
- Ne pas créer des nouvelles contraintes.
- Dans les zones sujettes aux inondations, il est impératif d'utiliser un profil en remblai dont la hauteur dépasse NPHE de 0.5 mètres.
- Minimiser au maximum les valeurs des déclivités au sens chargé pour soulager le matériel roulant,

- **Les longueurs minimales des éléments de profil en long**

Tableau IV-1 les longueurs minimales des éléments de profil en long[1]

Valeur normale : $\frac{V}{2}$	Valeur exceptionnelle : $\frac{V}{2,5}$

- **Les déclivités :**

Le maitre de l'ouvrage a exigé une déclivité maximale normale de 6‰ dans le sens chargé et 8‰ dans le sens déchargé à cause du poids lourds des trains de minerai de fer.

IV.3.2 Choix des cercles

Lorsqu'il y a un changement de déclivité, les véhicules subissent une accélération verticale soudaine aux points d'intersection, ce qui induit des vibrations dans la suspension et altère le confort des passagers. Cette accélération peut être évaluée en utilisant la formule suivante :

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

Pour une vitesse inférieure à 220km/h la valeur maximale de cette accélération est de 0.22m/s 2 ($A_v \leq 0.05$g) (exceptionnellement $0.31^{m}/_{S^2}$) qui est une valeur de confort acceptable en remplaçant les valeurs de A_v dans la formule précédente on trouve :

Tableau IV-2 Valeurs de Rayon vertical minimale [1]

Valeur maximale normale	$0{,}35V^2$
Valeur exceptionnelle	$0{,}25V^2$

IV.3.3 Raccordement circulaire

Le raccordement circulaire est obligatoire dès que

- Δ_P >2‰ si 140≤ 220
- Δ_P >3‰ si 100< $V \leq 140$
- Δ_P >4‰ si V≤140

P est la valeur de la pente en ‰

Δ_P est la valeur absolue de la différence des pentes [2]

IV.4 Application au projet :

Tableau IV-3 Valeur des paramètres du profil en long

		Formule		Application	
		Normal	**Exceptionnel**	**Normal**	**Exceptionnel**
Déclivité	**-L'alignement** **-La gare**	- -	- -	**6‰ dans le sens chargé** **0‰**	**8‰ dans le sens déchargé** **0‰**
Rayon minimal en raccordement verticaux	-	**$0.35V^2$**	**$0{,}25V^2$**	**8960**	**6400**
La longueur minimale des pentes uniformes et des raccordements en profil en long (m)	-	**V/2**	**V/2,5**	**80**	**64**

Nb : Listing de Profil en long Dans L'annexe

IV.5 Contraintes du tracé

Tableau IV-4 les contraintes du tracé

PK	Contrainte	Solution
642+194.12	Piste	Rétablir par un passage inférieur
642+409.60	Piste	Supprimée
642+919.49	Ligne électrique MT	Déplacée
642+976.41	Piste	Supprimée
642+976.52	Conduite AEP	Protection
643+011.01	Conduite AEP	Protection
643+032.16	Conduite AEP	Protection
643+054.30	Ligne électrique BT	Déplacée
643+518.01	Conduite AEP	Protection
643+537.43	Ligne électrique BT	Déplacée
643+550.02	Piste	Supprimée

IV.6 Conclusion

En conclusion, le profil en long de la voie ferrée est un élément essentiel dans la conception et la planification des projets ferroviaires. Il offre une représentation détaillée de l'alignement de la voie, composé de segments droits et de courbes circulaires, ainsi que du terrain naturel le long du tracé. La détermination précise de la déclivité est essentielle pour garantir une circulation sûre et efficace des trains. En résumé, le profil en long joue un rôle fondamental dans la conception, la construction et la gestion des infrastructures ferroviaires, en assurant une intégration harmonieuse entre la voie et son environnement. Nous présentons dans le chapitre suivant l'étude hydrologique et hydraulique.

CHAPITRE V :

ETUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE

V Etude hydraulique et hydrologique

V.1 Introduction

L'étude hydraulique et hydrologique est une tache indispensable pour :

- Évaluer et gérer les risques liés à l'eau ;
- Minimiser les risques d'inondation ;
- Assurer la sécurité et la durabilité le long de l'infrastructure ferroviaire.

Le tracé est traversé souvent par des oueds et des écoulements temporaires qui constituent le principal obstacle à lui trouver des solutions.

V.2 Analyse environnementale

V.2.1 Les précipitations mensuelles :

Tableau V-1 Les précipitations moyennes mensuelles

Mois	Jan	fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	juil.	Aout	Sep	oct.	nov.	déc.
Précipitation (mm)	3	5	2	1	0	0	0	1	6	2	3	4

V.2.2 Les Températures :

Nous avons utilisé la répartition des températures moyennes mensuelles de la station de Tindouf sur la base des statistiques de 15 années

Tableau V-2 Les températures moyennes mensuelles[13]

Mois	Jan	fév.	Mars	avr.	Mai	Juin	juil.	Aout	Sept	oct.	nov.	déc.
Température en °C	14	17,7	20,9	24,4	29,7	34,9	36,8	36,1	32,5	26,8	19,1	14,3

V.2.3 Humidité relative

De même que pour les températures, nous avons eu recours à la répartition de l'humidité relative de la station de Tindouf sur la base les statistiques de 15 ans

Tableau V-3 Répartition de l'humidité relative de la station de Tindouf[13]

Mois	Jan	fév.	Mars	avr.	Mai	Juin	juil.	Aout	Sept	oct.	nov.	déc.
Humidité (%)	43.05	39.46	31.56	31.53	29.85	27.8	18.8	21.4	30	37.4	40.2	45.23

V.2.4 Les vents

Les moyennes mensuelles des vitesses du vent exprimées en (m/s), sont rassemblées dans le tableau ci –dessous

Tableau V-4 Les moyennes mensuelles des vitesses du vent[13]

Mois	Jan	fév.	Mars	avr.	Mai	Juin	juil.	Aout	Sept	oct.	nov.	déc.
Vitesse (m/s)	3.5	3.5	4.3	5.4	5.3	5.3	4.3	5,4	4,3	3,7	3,1	3,1

V.3 Etude hydrologique

L'objectif de l'étude hydrologique est d'évaluer le débit maximum pour des périodes de retour de 10, 50 et 100 ans.

Les étapes à suivre sont les suivantes :

- Présentation des réseaux hydrographiques de la zone étudiée ;
- Délimitation du bassin versant ;
- Analyse des données des stations pluviométriques ;
- Estimation des débits maximums attendus pour différentes périodes de retour.

V.3.1 Réseaux hydrologiques

Les cours d'eau de la région d'étude partagent une caractéristique commune : leur irrégularité. Ils sont tous soumis aux conditions climatiques, avec des débits presque insignifiants pendant la majeure partie de l'année (entre 6 et 10 mois), mais connaissent des crues soudaines et abondantes lors des orages. Ces cours d'eau sont particulièrement puissants pendant les crues, mais leur énergie diminue généralement dans les parties basses, exposées à une évaporation intense

Hydrologiquement parlant et selon la codification des bassins versants établie par l'ANRH, l'ensemble de tracé de la ligne ferroviaire Béchar-Tindouf-Gare Djebilet concerné par cette étude s'inscrit dans le grand Bassin versant SAHARA (Code A.N.R.H : 13) le sous bassin de Tindouf (Code A.N.R.H 13.02-03)



Figure V-1 Les bassins hydrographiques de l'Algérie (Bouchedja ,2012*)* 14]

V.3.2 Délimitation des bassins versants

Le tracé entre les PK 639+000 et PK 654+000 franchit 10 bassins versants

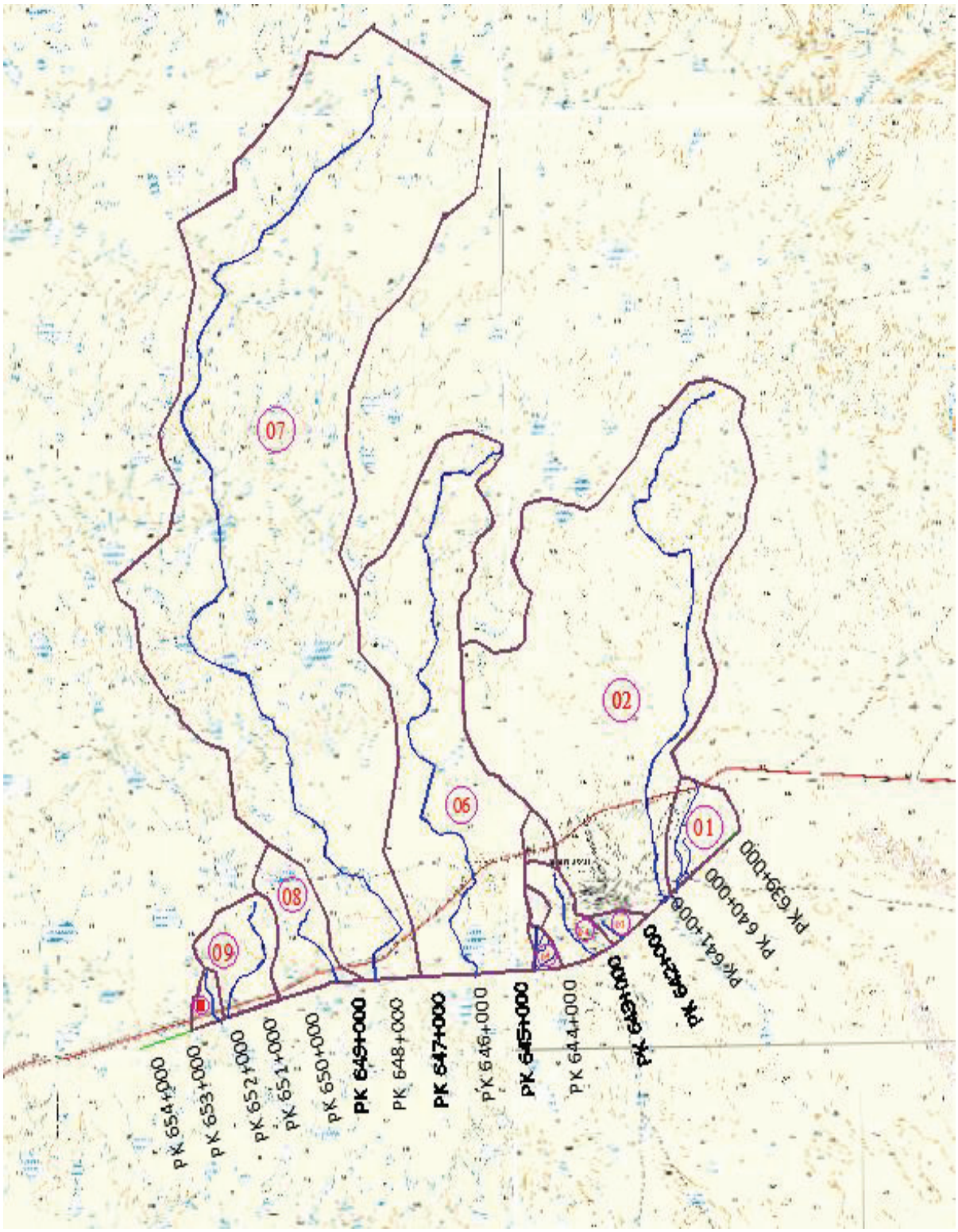


Figure V-2 Délimitation des bassins versants

V.3.3 Caractéristiques des bassins versants

• La surface du bassin versants (Km²).

• Le périmètre (Km).

• La longueur du thalweg (Km).

• L'altitude H_{max} (m).

• L'altitude H_{min} (m).

• L'altitude H_{moy} (m).

• L'indice de compacité ou Gravelius « k_c»

• La pente moyenne (%).

• Le temps de concentration t_c(heure).

• Le coefficient de ruissellement Cr.

• La vitesse de ruissellement (Km/h)

➢ **Choix du coefficient de ruissèlement :**

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

c_1 : Dépend de la pente du cours d'eau principal.

Pentes	c_1		
≤3,5%	0,01	0,03	0,05
3,5 % 11%	0,06	0,08	0,10
11% 35%	0,12	0,16	0,20
>35%	0,22	0,26	0,30

c_2 : Dépend de la perméabilité du terrain

Nature du sol	c_2		
Imperméable	0,22	0,26	0,30
Peu perméable	0,10	0,15	0,20
Perméable	0,06	0,08	0,10
Très perméable	0,03	0,04	0,05

c_3 : Dépend de la couverture végétale du bassin versant

Couverture végétale	c_3		
Rocheux	0,22	0,26	0,30
Prairie	0,17	0,21	0,25
Labours champs	0,07	0,11	0,15
Foret et territoire sableux	0,03	0,04	0,05

Donc :

$$c_r = c_1+c_2+c_3=0,53$$

- **Vitesse de ruissèlement :**

$v_r = \frac{L}{t_c}$ Tel que v_r : vitesse de ruissèlement au droit du BV en (km/h)

L : longueur de talweg principal (km)

t_c : temps de concentration (h)

- **L'indice de compacité de Gravelius :**

$$k_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0{,}28\frac{P}{\sqrt{A}}$$

k_G: L'indice de compacité

A : la surface du bassin versant (Km^2)

P : le périmètre du bassin (km)

V.3.4 Les caractéristiques des BV qui traversent notre projet

Tableau V-5 les caractéristiques des BV

N BV	PK	S (Km^2)	P (Km)	L (Km)	Kg	H_{max}	H_{min}	H_{moy}	Pente	Tc(h)	Cr	$v_r(\frac{km}{h})$
01	640+865,29	2,39	6,34	2,37	1,148	533	518	525,5	0,0063	2,474	0,53	0,958
02	641+165,41	40,43	30,38	12,54	1,337	585	517	551	0,0054	9,485		1,322
03	642+435	0,49	3,28	0,59	1,312	529	521	525	0,0136	0,762		0,774
04	643+190	1,86	6,84	2,06	1,404	536	518	527	0,0087	1,857		1,11
05	644+545	0,43	2,87	0,86	1,225	532	520	526	0,014	0,704		1,22
06	646+037,68	24,78	27,85	13,82	1,567	573	519	546	0,0039	12,323		1,121
07	648+320	78,43	48,73	24,08	1,541	598	523	560,5	0,0031	14,60		1,649
08	649+337	3,60	9,32	1,98	1,375	536	525	530,5	0,0056	3,22		0,615
09	651+847,18	3,25	7,36	2,86	1,143	531	524	527,5	0,0024	4,673		0,612
10	652+130	0,63	3,39	1,11	1,196	531	524	527,5	0,0063	1,28		0,867

V.3.5 Temps de concentration

V.3.5.1 Superficie inférieure à 5 Km² :

Il est calculé par la formule de VENTURA :

$$Tc=0{,}127\sqrt{\frac{S}{I}}$$

Tc : Temps de concentration en heure.

S : Surface du bassin versant en Km².

I : Pente moyenne du bassin versant en (m/m)

V.3.5.2 Superficie comprise entre 5 et 25 km² :

T_C est calculé par la formule de PASSINI :

$$Tc=0{,}11\frac{\sqrt[3]{S*L}}{\sqrt{I}}$$

L : Longueur du cours d'eau principal en Km.

S : Surface du bassin versant en Km².

I : Pente moyenne du bassin versant en (m/m)

V.3.5.3 Superficie comprise entre 25 et 200 km² :

Tc est calculé par la formule de GIANDOTTI :

$$Tc=\frac{4\sqrt{S}+1,5L}{0,8\sqrt{Hmoy-Hmin}}$$

L : Longueur du cours d'eau principal en Km.

S : Surface du bassin versant en Km².

H_{moy} : Attitude moyenne du bassin versant en (m).

H_{min}: Attitude minimale du bassin versant en (m).

V.4 Pluviométrie :

V.4.1 Précipitation journalières maximale

Tableau V-6 Précipitation journalière maximale

Station de TINDOOUF					
Année	P_{jmax}(mm)	Année	P_{jmax}(mm)	Année	$P_{jmax}(mm)$
1993	8	2003	50,90	2013	7,5
1994	**90**	2004	5,6	2014	23,60
1995	2,3	2005	15,10	2015	44,80
1996	21,1	2006	47,90	2016	22,90
1997	4,6	2007	2	2017	4,80
1998	10	2008	9,10	2018	34,50
1999	27,6	2009	32	2019	22,80
2000	20	2010	27,30	2020	4,80
2001	5	2011	22,80	2021	9,40
2002	14	2012	7,80	2022	3,90

V.4.2 Caractéristiques de la station de TINDOUF

Tableau V-7 caractéristiques de la station de Tindouf

Nom station	Code	Latitude	Longitude	Elévation	Cv	b	Ans
TINDOUF	60656	27°42'14.86"N	8°10'9.12"W	443	0,72	0,14	30

V.4.3 Estimation des coefficients de montana :

Tableau V-8 Les coefficient de Montana

	Temps de retour				
Coeff de montana	2ans	5ans	10ans	20ans	50ans
b	0,83	0,83	0,84	0,84	0,84
a	10,21	20,64	27,54	34,16	42,74

Pour les calculs hydrologiques il faut utiliser les valeurs de pluies journalières maximale pour une période de retour de 100 ans (vu l'importance du projet)

Choix de la pluie journalière maximale après ajustement

Model	Nombre de parametre	XT	P (Mi)	P (Mi/x)	B/C	A/C
Lognormal (Maximum Likelihood)	2	125.994	25.00	89.48	243.974	241.171
Pearson type 3 (Method of moments)	3	88.621	25.00	10.10	248.337	244.133
GEV (Method of moments)	**3**	**86.420**	**25.00**	**0.24**	**255.807**	**251.603**
Gumbel (Method of moments)	2	80.095	25.00	0.19	256.328	253.526

Figure V-3 Choix de la pluie journalière maximale après l'ajustement

$P_{jmax} = 86{,}42mm$

V.4.4 Les pluies de courte durée

Étant donné l'impact significatif des précipitations de courte durée sur le calcul des débits maximums requis pour concevoir certains ouvrages de protection, il est essentiel de rechercher la relation entre l'intensité, la durée et la fréquence des pluies. Cette recherche repose sur l'analyse des données pluviométriques enregistrées dans les stations météorologiques de la région d'étude

La relation obtenue est la suivante :

$$P(t)=1{,}13*P_{jmax}\left(\frac{t}{24}\right)^{b}$$

P (t) : Pluie correspondante à un pas de temps t.

P_{jmax} : Pluie journalière maximale de fréquence voulue.

b : exposant climatique de la zone d'étude est égale 0.14.

V.4.5 Calcul de débit maximal dans les bassins (débit de crue)

- **Méthode rationnelle**

Pour les bassins versants dont la superficie ne dépasse pas 25 Km² la méthode de calcul utilisée est la méthode rationnelle :

$$Q=\frac{C*I*A}{3{,}6}$$

Tels que

Q : Débit de crue en m3/s.

C : Coefficient de ruissellement.

I : Intensité de pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration en (mm/h).

A : Surface du bassin versant en (Km^2).

Pour une période de retour de 10 ans

$$i(t)=\frac{a(t)}{t_c^b}$$

Pour une période de retour de 100 ans :

$$i(t) = \frac{\mathrm{P}\ (\mathrm{t})}{tc}$$

Tableau V-9 Les débits maximal (méthode rationnelle)

N	PK	Cr	S	P_{tc}	I_{10}	I_{100}	Q_{10}	Q_{100}
01	640+865,29	0,53	2,39	71,05	12,689	28,71	4,46	10,102
02	641+165,41		40,43	87,737	4,161	9,25	-	-
03	642+435		0,49	60,247	34,603	79,064	2,496	5,704
04	643+190		1,86	68,249	16,38	36,75	4,485	10,063
05	644+545		0,43	59,583	36,98	84,63	2,341	5,257
06	646+037,68		24,78	88,961	3,339	7,22	12,181	26,339
07	648+320		78,43	91,090	2,89	6,24	-	-
08	649+337		3,60	73,716	10,31	22,89	5,464	12,674
09	651+847,18		3,25	77,662	7,54	16,62	3,61	7,952
10	652+130		0,63	64,784	22,385	50,61	2,076	4,694

- **La méthode Mallet et Gautier :**

$$Q_{\max} = 2k \log(1 + aP) \frac{s}{\sqrt{L}} \sqrt{(1 + 4 \log T_logS)}$$

$Q_{\max}$: Débit de crue de période de retour voulue (en m3 /s).

P : Pluie moyenne annuelle est égale 50.50 mm=0,0505m (Voir annexe).

S : Superficie du B.V en Km².

T : Période de retour t en années.

L : Longueur du talweg principal en Km.

a : Coefficient égal à 25 pour l'Algérie.

k : Coefficient variant avec la pente du bassin de 0.50 à 6 (On prend la valeur 2).

Tableau V-10 Les débits maximaux (Mallet-Gauthier)

Nbv	Pk	a	K	P	S	L(km)	Q_{100}
01	640+865,29	25	2	50,5	2,39	2,37	5,917
02	641+165,41				40,43	12,54	44,03
03	642+435				0,49	0,59	2,761
04	643+190				1,86	2,06	4,970
05	644+545				0,43	0,86	1,842
06	646+037,68				24,78	13,82	23,861
07	648+320				78,43	24,08	60,427
08	649+337				3,60	1,98	9,649
09	651+847,18				3,25	2,86	7,267
10	652+130				0,63	1,11	2,354

V.4.6 Estimation des débits de projet

Tableau V-11 Estimation des débits de projet

N bv	Pk	S(km^2)	$Q_{100} m^3/s$
01	640+865,29	2,39	10,102
02	641+165,41	40,43	44,03
03	642+435	0,49	5,704
04	643+190	1,86	10,063
05	644+545	0,43	5,257
06	646+037,68	24,78	26,339
07	648+320	78,43	60,427
08	649+337	3,60	12,674
09	651+847,18	3,25	7,952
10	652+130	0,63	4,694

V.5 Etude hydraulique

V.5.1 Dimensionnement des ouvrages transversaux

Le calcul du débit de saturation est déterminé par la formule de Manning Strickler :

$$Q_s = VS_u = k_s s_m I^{0,5} R_h^{\frac{2}{3}}$$

k_s : coefficient de rugosité =70 pour le béton

R_h : rayon hydraulique=$\frac{section\ mouillee}{perimetre\ mouille}$

I : pente longitudinale de l'ouvrage

Pour le dalot :

- Ht ≤ 2.5 m : Hu =80% la hauteur totale ;
- Ht > 2.5 m : Hu = Ht-0.5.

Exemple de calcul :

- **Prédimensionnement d'un dalot**

Bassin 2

Pm=(2*0,8*h) +L

Sm=0,8*h*l

Rh=$\frac{0,8*h*L}{1,6*H+L}$

Q=k× 0,8 × h × L × $\left(\frac{0,8\times h\times L}{1,6\times h+L}\right)^{2/3} \cdot I^{1/2}$

Pour un dalot de (2*3) ➡ Q=20m^3/s

$Q_{total} = 60 > Q_{100} = 44,,03 m^3/s$

- **Prédimensionnement d'une buse**

Bassin1

$Sm=\pi \cdot \frac{D^2}{4}$

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

$D = 4^{5/8} \times \left(\frac{Q_{(100)}^{max}}{k_s \pi \sqrt{I}}\right)^{3/8}$

Tableau V-12 liste globale des ouvrages a projeté

Bv	Pk	Q_{100}	Ouvrage projeté	Dimensions	Sm	R_h	Pente	Qps	n	Qps_{tota}	Vps (m/s)
Bv1	640+865,29	10,102	Buse	1500	1,52	0,455	0,005	4,45	3	13,35	2,93
Bv2	641+165,41	44,03	Dalot	3*2	5	0,769	0,005	20	3	60	4
	641+215	Fil d'eau	Buse	1500	1,52	0,455	0,005	4,45	1	4,45	2,93
Bv3	642+435	5,704	Buse	2000	2,69	0,446	0,005	7,77	1	7,77	2,88
Bv4	643+190	10,063	Buse	1500	1,52	0,455	0,005	4,45	3	13,35	2,93
Bv5	644+545	5,257	Buse	2000	2,69	0,446	0,005	7,77	1	7,77	2,88
Bv6	645+179	Fil d'eau	Buse	1500	1,52	0,455	0,005	4,45	1	4,45	2,93
	646+037,68	26,339	Dalot	3*2	5	0,759	0,005	20	2	40	4
	647+296,51	Fil d'eau	Buse	1500	1,52	0,455	0,005	4,45	1	4,45	2,93
Bv7	648+320	60,427	Dalot	3*3	7,2	0,692	0,005	33,78	2	67,57	4,691
Bv8	649+337	12,674	Buse	1500	1,52	0,455	0,005	4,45	3	13,35	2,93
Bv9	651+847,18	7,952	Buse	1500	1,52	0,455	0,005	4,45	2	8,9	2,93
Bv10	652+130	4,694	Buse	1500	1,52	0,455	0,005	4,45	2	8,9	2,93
	652+400	Fil d'eau	Buse	1500	1,52	0,455	0,005	4,45	1	4,45	2,93

Cas particulier de notre projet :

Le tronçon objet de notre étude présente deux zones inondables, Ce sont des zones très évasées qui sont inondées en période de crues situe du PK648+200 au PK648+435et du PK649+219 au PK649+408. Ce constat implique la prise des mesures suivantes

- L'obligation de passer avec un profil en remblais.
- L'ajout des buses d'équilibres.

V.5.1.1 Vérification des conditions d'auto-curage

- **Pour les buses**

V > 0.6 m/s pour : Q = 0.1 Qps.

V > 0.3 m/s pour : Q = 0.01 Qps.

Tableau V-133 conditions d'auto-curage des buses

N	PK	Q	Ouvrage prévu	Qs	Vps	Rq	V	0.1Qps	0.01Qps
Bv1	640+865,29	10,102	1500	13,35	2,93	0,756	3,22	0,937	1,87
Bv3	642+435	5,704	2000	7,77	2,88	0,743	3,153	0,921	1,843
Bv4	643+190	10,063	1500	13,35	2,93	0,753	3,217	0,937	1,875
Bv5	644+545	5,257	2000	7,77	2,88	0,676	3,09	0,921	1,843
Bv8	649+337	12,674	1500	13,35	2,93	0,949	3,337	0,937	1,875
Bv9	651+847,18	7,952	1500	8,9	2,93	0,893	3,307	0,937	1,875
Bv10	652+130	4,694	1500	8,9	2,93	0,527	2,965	0,937	1,875

- **Pour les dalots**

Tableau V-144 condition d'auto-curage des dalots

Bv	V >0,6 m/s	V> 0,3 m/s	Rq	Rv	V> 1	Vérification
Bv2	1,28	2,56	0,733	1,092	4,368	Vérifie
Bv6	1,28	2,56	0,438	0,967	3,868	Vérifie
Bv7	1,5	3	0,894	1,129	5,296	Vérifie

V.5.2 Dimensionnement des ouvrages longitudinaux :

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

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

Où :

- La surface mouillée : $Sm = (b+z.\ h).\ h$

Le périmètre mouillé : $Pm = b + 2h.\ \sqrt{1+z^2}$

- Le rayon hydraulique : $Rh = Sm/Pm$

Avec :

- I pente longitudinale de fossé.

- z la pente des berges

Les hypothèses suivantes ont été posées pour la conception

Un fossé à section trapézoïdale sera mis en place dans les zones de déblai, au niveau des accotements de la plate-forme

Les fossés en béton (préfabriqués ou coulés sur place) ont un coefficient de rugosité Strickler $K_s = 70$

La pente longitudinale des fossés en zone de déblai est la même que celle du profil en long de la voie.

Le débit à évacuer qui est la somme des 3 débits La plate-forme et les talus :

$$Q_a = Q_{plf} + Q_t$$

Chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle :

$$\boldsymbol{Q = 0.278 \times Cr \times I \times A}$$

- Q : Débit de crue correspondant au bassin versant, avec une période de retour T (m^3/s).

- C : Coefficient de ruissellement.

- I : Intensité de pluie (mm/h).

- A : Surface du bassin versant considérer : la plate-forme / les talus, en (km^2)

Le système de drainage longitudinal a été dimensionné pour une période de retour de 10 ans. Variable de Montana (a=27,54 ; b= 0,84)

Application sur notre projet :

Le cas le plus défavorable Pk 641 000 au PK 650 400

Les surfaces sont calculées avec le logiciel Autocad

Surface de la plateforme = $4023m^2$

Surface de talus = surfaces de déblais+ surface remblais

Surface de talus = $1943+246=2189m^2$

$$\boldsymbol{Q = 0.278 \times Cr \times I \times A}$$

Q_{plf} = 0,9*0,872*4023*10^ (-6) *88,24=$0,089m^2/s$

Q_t = 0,7*0,872*10^ (-6) *2189*=$0,038m^2$/s

Q= $0,127m^2/s$

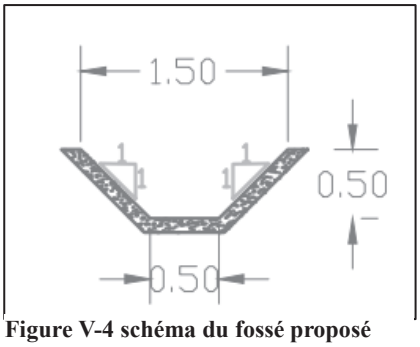


Figure V-4 schéma du fossé proposé

Tableau V-15 débit du talus et de la plateforme

Paramètres	Talus	Plateforme
Cr	0,7	0,9
A (m^2)	2189	4023
Tc(h)	0,25	0,25
I (mm/h)	88,24	88,24
Q_a (m^2/s)	0,038	0,089

- **Dimensionnement du fossé proposé**

Tableau V-16 Dimensionnement du fossé proposé

b	h	z	Sm	Pm	Rh	Ks	I	Qs
0,5	0,5	1,5	0.5	1.9	0,263	70	0,005	1,015

Qs>Q

En conclusion, les types des fossés adoptés pour notre projet de forme trapézoïdal h=0.5m, b=0.5m Pente= (1/1)

V.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons mené une étude hydrologique et hydraulique dans le cadre de notre projet pour garantir sa sécurité et sa stabilité. Nous avons évalué les bassins versants, mesuré les débits d'eau et conçu les infrastructures hydrauliques de manière à réduire les risques d'inondation et à assurer des opérations ferroviaires efficaces

Chapitre VI :
Étude géologique et géotechnique

VI Etude géotechnique et géologique

VI.1 Introduction

L'objectif de l'étude géotechnique et géologique est d'examiner les propriétés physiques et mécaniques du sol, de la roche et des formations géologiques prévues lors des phases de construction et d'exploitation. Cette étude implique des investigations sur le terrain, des essais en laboratoire et l'analyse des données recueillies pour caractériser les matériaux géotechniques.

VI.2 Etude géologique

VI.2.1 Topographie et géomorphologie

Le tronçon d'étude, allant du PK639+000 d'Oum El Assel au PK654+000, traverse un relief relativement plat, dépourvue de végétation dense à part quelques pieds d'arbres d'acacia et d'autres espèces locales dans les lits des oueds.

VI.2.2 Aperçu sismique

D'après le document technique réglementaire D.T.R – B.C. 2.48 des règles parasismiques algériennes RPA99/version 2003. La zone d'étude est classée zone sismique 0 de sismicité négligeable.

- Zone 0 : sismicité négligeable ;
- Zone I : Sismicité faible ;
- Zone IIa : Sismicité moyenne ;
- Zone IIb : Sismicité élevée ;
- Zone III : Sismicité très élevée

VI.2.3 Aperçu géologique

La géologie de la wilaya de Tindouf est composée d'un vaste plateau empâté de terrains paléozoïques et d'une bonne partie de l'axe cristallin (socle).

On y distingue trois unités géologiques :

- La Hamada de Tindouf au Nord-ouest : c'est un complexe grès argileux débutant à la base par un conglomérat et supportant une ou plusieurs dalles calcaires tufeux ou dolomitique avec des lits de silex.

– La Hamada El Aroueta au Sud-est : C'est un plateau formé d'un grès grossier à stratification entrecroisée. La puissance de cette formation géologique croît irrégulièrement d'ouest en est, de quelques mètres à environ 200 m.

- La dépression de Tindouf : Située entre les deux plateaux précédents, elle résulte de l'action combinée de la déflation et de l'érosion, qui ont creusé une dépression fermée, où s'est formée la sebkha de Tindouf. La sebkha constitue le bas-fond collecteur des oueds où s'évaporent les eaux de ruissellement, d'où leur salinité marquée par différentes concentrations de sels.[20]

VI.2.4 Lithologie

Cette diversité géologique a fait que la lithologie de la zone d'étude est très variée. On y retrouve, en effet, mais à des proportions différentes, les dépôts du tertiaire continental, les sables, les graviers, les alluvions diverses, les calcaires, les grès et les schistes primaires.

VI.3 Etude géotechnique

Une étude géotechnique consiste à déterminer la nature du sous-sol d'un terrain en déterminant les caractéristiques physique et mécaniques.

Une connaissance détaillée des terrains traversés est essentielle lors de la réalisation d'un projet ferroviaire, ce qui rend les investigations géotechniques incontournables.

VI.3.1 Programme d'investigation géotechnique

En prenant en considération le tracé en plan et le profil en long un programme d'investigation a été établi comme suit

VI.3.1.1 Essai in situ

- **Puits de reconnaissances**

Ils sont réalisés à la pelle pour la détermination de la nature du sol le long du tracé ainsi pour de fines analyses en laboratoire

La profondeur programmée est de 3m

- **Essais au pénétromètre dynamique lourd (N FP 94-115)**

L'essai de pénétration dynamique, type B, consiste à enfoncer dans le sol par battage de manière continue un train de tiges muni en sa partie inférieure d'une pointe débordante et à noter le nombre de coups nécessaires pour faire pénétrer dans le sol la pointe d'une hauteur h de 20 cm, tout en vérifiant la portance des efforts de frottement éventuels sur le train de tiges.

- **Sondages carottés**

Le sondage carotté permet de prélever de façon continue le sol tel qu'il est dans son état naturel**.**

Allant de 7m à 10m de profondeur

- **Sondages pressiométriques**

Les sondages pressiométriques sont réalisés à des profondeurs allant de 07m à 10m.

L'essai pressiométrique est un essai in situ, il consiste à descendre dans un trou de forage calibré, réalisé au préalable, une sonde gonflable, jusqu'à une profondeur donnée. En appliquant à cette sonde des pressions successives, on mesure les variations de volume V du sol en contact avec la sonde, pour chaque accroissement de pression P.

VI.3.1.2 Essais au laboratoire

Les échantillons prélevés sont soumis à une série d'essais pour déterminer leurs propriétés géotechniques

- La granulométrie
- Les limites d'Atterberg.
- La teneur en eau naturelle.
- La densité spécifique
- L'essai d'indice de bleu VBS.
- Le Proctor modifié
- L'essai CBR imbibé
- Essai de cisaillement
- Compression simple
- Los Angeles
- Micro Deval
- Analyse chimique

VI.3.2 Analyse et interprétation des résultats de la campagne géotechnique

VI.3.2.1 Puits de reconnaissance (nature lithologique) [19]

Tableau VI-1 coordonnées des puits de reconnaissances

Pk	N° de puits	Profondeur (m)	Lithologie
642+000	PU-01	0.00-0.20	Sable fin brun + gravier (des nodules en sable).
		0.20-0.50	Calcaire gréseux en bloc induré, blanc à grisâtre
644+000	PU-02	0.00-0.50	Sable fin brun + des nodules en sable rouge carbonaté
		0.50-1.60	Des blocs en grés dans une matrice de tuf graveleux (grés)
645+000	PU-03	0.00-0.20	Sable fin brun
		0.20-2.00	Cailloux et blocs en grés dans une matrice tuf sableuse
647+000	PU-04	0.00-0.20	Sable fin graveleux brun.
		0.20-2.00	Cailloux et bloc de grès dans une matrice sableuse
648+000	PU-05	0.00-0.10	Sable fin graveleux brun.
		0.10-0.30	Calcaire gréseux induré gris.
650+000	PU-06	0.00-0.10	Sable fin brun.
		0.10-0.50	Calcaire gréseux induré blanc à grisâtre.
651+115	PU-07	0.00-0.40	Calcaire gréseux grisâtre
653+000	PU-08	0.00-0.10	Sable fin brun
		0.10-0.30	Calcaire gréseux induré gris à blanchâtre
654+000	PU-09	0.00-0.10	Sable fin brun
		0.10-0.30	Calcaire gréseux induré gris à blanchâtre.

➢ **Interprétation**

Les données des puits de reconnaissance indiquent que le sol est composé d'un niveau peu épais de 0.15m à 0.5m de sable fin brun parfois graveleux, suivi de Tuf calcaire à blocs et cailloux de 1.6m à 1.8m d'épaisseur, suivi d'un substratum calcaire compact.

VI.3.2.2 Pénétromètre dynamique Lourd PDL (résistance et refus PDL) [19]

Tableau VI-2 Résultats d'essai PDL

PK	Coordonnées		N° de PDL	Refus	Rd(bar)
	X	y			
642+000	698438	3166043	PDL-01	1	392
644+000	696650	3165204	PDL-02	1	390
645+000	695653	3165131	PDL-03	1,6	360
647+000	693655	3165030	PDL-04	1,2	380
648+000	692657	3164980	PDL-05	0,6	370
650+000	690682	3164732	PDL-06	0,6	360
651+115	689722	3164452	PDL-07	1,2	380
653+000	687801	3163892	PDL-08	0,6	380
654+000	686841	3163613	PDL-09	0,8	380

- **Interprétation :**

L'essai PDL montre une résistance à la pénétration très élevée indiquant la très bonne portance du sol, le refus enregistré est entre 0,6-1,6m de profondeur, indiquant le sommet de la formation calcaire.

VI.3.2.3 Sondages carottés et essai SPT (NFP 94-116) [19]

- **Sondage carottée (nature lithologique et RQD)**

Tableau VI-3 Nature lithologique et RQD

N° Sondages-PK	*Profondeur (m)*	*Nature*	*RQD (%)*
PK-640+700	0.00m 1.00m	Sable brun à rougeâtre +gravier et cailloux de grés blanc à gris.	/
	1.00– 04.00m	Tuf calcaire caillouteux (grés) fragmenté.	
	4.00–10.0m	Calcaire gréseux induré.	
PK-643+175	0.00–0.50m	Sable brun à rouge.	/
	0.50– 10.00m	Calcaire gréseux en bloc dans une matrice sableuse tufacée.	
PK 644+975	0.00 –2.00	Calcaire gréseux en cailloux et bloc dans une matrice sableuse.	/
	2.00–07.00	Calcaire blanc induré.	46
PK 645+800	0.00m 0.30m	Sable rouge carbonaté.	/
	0.30–7.00m	Calcaire gréseux induré blanc à grisâtre.	68.65

- **Interprétation**

Les données des sondages carottés ont révélé la présence de deux formations lithologiques bien distinctes. Le substratum est constitué de calcaire gréseux induré, parfois fracturé, surmonté d'un niveau de tuf caillouteux et d'une couche superficielle de sable fin rouge à brun caillouteux et carbonaté, d'une épaisseur variant de 0,3 m à 3 m.

Les valeurs de l'indice RQD oscille entre 46% et 68.65%, indiquant ainsi une qualité moyenne à bonne

- **Résultats des essais SPT**

Tableau VI-4 Nombre de coups SPT

N sondage	Profondeur (m)	N1	N2	N3	N	Classification
SC-001 PK-640+700	1.50-1.95	31	35	46	Refus	Très compact
	3.00-3.45	Refus	-	-	Refus	Très compact
	4.50-4.95	Refus	-	-	Refus	Très compact
	6.00-6.45	Refus	-	-	Refus	Très compact

- **Interprétation**

Les résultats des essais SPT, montrent que le sous-sol est très compact selon le nombre N SPT, qui a enregistré des refus à partir de la surface, justifiant ainsi le substratum calcaire dévoilé par les sondages carottés et les puits de reconnaissance.

VI.3.2.4 Résultats des essais pressiométriques (NFP 94-110-1) [19]

Tableau VI-5 résultats des essais pressiométriques

PS01 Pk 640.700					
Nature du sol		E(bars)	PL(bars)	Pf(bars)	E/PL
0.00m 1.00	Remblai de sable.	148,6	17,55	8,24	8,47
1.00– 04.00	Grés et cailloux avec matrice sableuse	3507,16	48,71	48,71	72
		4182,7	49,43	49,43	84,62
		3804,57	49,52	49,52	76,83
4.00–10.0	Calcaire gréseux induré/Tuf calcaire caillouteux (grés) fragmenté.	4336,62	49,68	49,68	87,29
		4652,79	49,6	49,6	93,81
		3884,79	49,86	49,86	77,91
		3860,96	49,83	49,83	77,48
		3450,44	50,06	50,06	68,93
		4168,22	50,15	50,15	83,12

PS02 PK643+175					
Nature du sol		*E (bars)*	*PL (bars)*	*Pf (bars)*	*E/PL*
0.00–2.00	Sable brun à rouge.	70,6	14,11	6,9	5,00
		85,13	11,52	10,22	7,39
2.00–10.00	Calcaire gréseux en bloc dans une matrice sableuse tufacée.	6158,32	48,22	48,22	127,71
		8414,23	49,32	49,32	170,60
		3279,62	49,64	49,64	66,07
		2740,76	49,92	49,92	54,90
		2294,17	49,98	49,98	45,90
		2161,71	50,01	50,01	43,23
		2072,61	50,1	50,1	41,37
		3775,3	49,81	49,81	75,79

- **Interprétation**

L'analyse des résultats des sondages pressiométriques indique généralement des pressions limites très élevées, dépassant les 25 bars, ce qui confirme la nature du sol traversé, caractérisé par des calcaires compacts, les quelques valeurs de pression limite comprises

entre 11 et 14 bars sont associées à la formation superficielle composée de tuf calcaire caillouteux et de sable fin rouge à brun caillouteux et carbonaté, alors que E/Pl indique généralement sol consolidé (Rocheux).

VI.3.2.5 Résultats des essais au laboratoire [19]

- **Essais réalisés sur échantillons remaniés récupérés des puits de reconnaissance**

Tableau VI-6 propriétés physiques et mécaniques du sol

N° Puits	Prof (m)	WN (%)	D_{max} (mm)	Tamisât à 2.00 mm (%)	Tamisât à 80.0 µm (%)	VBS	WL (%)	IP (%)	WP (%)	LA	MDE	Proctor normal		Indice CBR imbibe			
												ɤdmax	WOPM (%)	c10	C25	c56	A95% ɤdmax
PU-01	0.20-0.50	2,76	>50	55	8	0.25	15,5	6,2	9,3	28,01	29,84	2,06	6,74	16,3	32,9	43,2	37,7
PU-02	0.50-1.60	3,56	>50	54	9	0.40	16,23	8,15	8,08	/	/	1,98	8,69	7,7	17,1	28,5	22,8
PU-03	0.20-2.00	4,24	<50	44	23,08	0,33	28,58	10,24	18,34	/	/	2,1	10,35	10,01	22,25	41,2	32,4
PU-04	0.20-2.00	/	>50	44	20,51	0,17	27,8	8,35	19,45	45,8	60,44	/	/	/	/	/	/
PU-05	0.10-0.30	3,33	>50	54	7	0,56	NR	NR	NR	/	/	2,1	8,12	43,5	10,5	23,4	29,6
PU-06	0.10-0.50	3,68	>50	51	10	0,23	NR	NR	NR	45,48	47,8	2,1	8,98	36,8	8,94	19,8	25,3
PU-07	0.10-0.40	/	>50	41	22,45	0,10	23,77	NM	NM	56,8	85,58	/	/	/	/	/	/
PU-08	0.10-0.30	/	>50	20	8,25	0,25	22,65	NM	NM	28,4	37,2	/	/	/	/	/	/
PU-09	0.10-0.30	3,6	>50	37	10	0,44	NR	NR	NR	/	/	2,11	8,971	11,1	24,6	38,2	32

- **Classification GTR et UIC**

Tableau VI-7 classification GTR et UIC

Pu	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04	PU-05	PU-06	PU-07	PU-08	PU-09
GTR	C1B4TS	C1B4TS	B5TS	C1B52	C1B4TS	C1B4TS	C1B52	C2B41	B4TS
UIC	Qs2(d)	Qs2(d)	QS1(c)	QS1(c)	QS1(c)	QS1(c)	QS1(c)	QS3	Qs2(d)

➢ **Essais réalisés sur échantillons intacts récupérés des sondages carottés**

Tableau VI-8 résultats des essais réalisés sur échantillons intacts récupérés des sondages carottés

SONDAGE	Profondeur	Densité t/m3	RCS (Mpa)	Classification GTR
SC -003 PK 644+975	3.20-3.50	2.10	53.59	R2
	6.00-6.30	2.12	28.9	R2
SC -004 PK 645+800	2.70-3.00	2,15	24,0	R2
	5.20-5.50	2,05	28,0	R2
SC-005 PK 650+350	8.00-8.30	2,04	27,5	R2
SC -006 PK 652+125	5.30-5.55	2.07	25,24	R2

Interprétation

La résistance à la compression simple dénote une classe moyenne selon AFTES

VI.4 Conclusion

Les résultats et conclusions de l'étude géotechnique nous permettent de passer au dimensionnement de l'assise ferroviaire, objet du prochain chapitre.

Chapitre VII : l'assise ferroviaire

VII Assise ferroviaire

VII.1 Introduction

Les chemins de fer ont une énorme capacité de support des poids très lourds donc leur couche d'assise doit être très résistante.

L'assise est composée du **ballast** et de **la sous couche.**

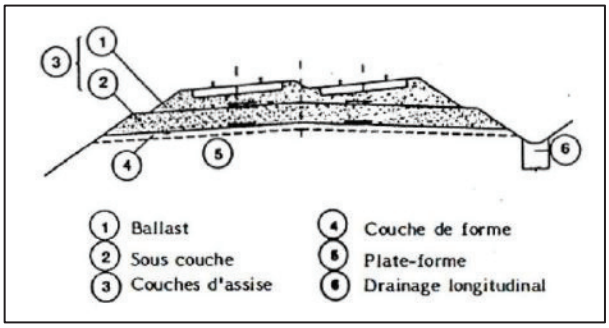


Figure VII-1 les couches de l'assise ferroviaire

VII.2 Les composantes de la couche d'assise

VII.2.1 Ballast

Le ballast est un lit de matériau granulaire concassé sur lequel repose la voie ferrée.

Un bon ballast doit présenter les caractéristiques suivantes : perméabilité, élasticité, solidité, se prêter au bourrage, ne pas être gélif, ne pas se désagréger sous l'influence des agents atmosphériques.

- Perméabilité ; le ballast doit assurer un bon écoulement des eaux car l'eau qui reste dans le ballast y forme finalement de la boue, les traverses qui s'y appuient sont mal assises (traverses boueuses ou danseuses) ; cette eau se gèle en hiver, d'où gonflement du ballast et soulèvement de la voie. En outre, la voie gelée perd son élasticité.
- Élasticité. Celle-ci dérive de la mobilité relative des éléments constituant le ballast. Pour qu'elle soit bonne, il faut que les pierrailles soient de dimensions suffisamment grandes et qu'elles soient bien calibrées.
- Solidité. Le ballast doit être assez dur pour résister aux chocs provoqués par les charges roulantes (broiement) et pour supporter l'action destructrice des outils de bourrage (émiettement). Un ballast tendre ou poreux se désagrège rapidement, il absorbe l'humidité qui retient les poussières et les corps étrangers. Toutes choses égales, le ballast pourra être d'autant plus fin qu'il sera plus dur. [15]

Le rôle du ballast est :

- Assurer une distribution uniforme des charges provoquées par le passage des trains sur la plateforme
- En raison de sa granularité particulaire, il garantit le drainage et l'évacuation d'eau
- Il agit comme un amortisseur de vibration (dissipation de l'énergie de vibration par attrition et contact des éléments)
- L'apport à la stabilité dans les directions longitudinale et transversale de la voie ferrée

- Ralentir l'invasion de la végétation entre les voies
- Ancrer les traverses.

VII.2.1.1 Les caractéristiques du ballast

Suivant la norme (NF P53-695)

- La granularité du ballast se situe approximativement dans la classe 25 à 50 mm (pierre cassée).
- Le coefficient d'aplatissement global (A) suivant la norme expérimentale P 18-561 doit être inférieur ou égal a12%
- Propreté : Les matériaux doivent être expurges de toute matière étrangère. La masse relative des éléments passant au tamis à maille carrées de 1.6mm ne doit pas excéder 0.5 %.
- Les valeurs limites imposées sont :

  $LA \leq 22$

  $MDA \leq 8$

  $LA+MDA : LA+5MDA \leq 54$
- Résistance à la compression : RC ≥1400 kg/cm2.
- Les éléments doivent avoir une forme polyédrique et à arêtes vive.

VII.2.2 Sous couche

La sous-couche est un élément intermédiaire placé entre la couche de ballast et la plateforme. Elle peut être constituée d'une seule couche ou de plusieurs couches superposées.

VII.2.2.1 Rôle de la sous couche

- Renforcement de la capacité de support et une répartition optimisée des charges transférées
- Anticontamination entre la plateforme et la couche de ballast
- Prévention contre l'érosion et les effets du gel.

VII.3 La plateforme

Partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la sous-couche. La plateforme est constituée de terres rapportées dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai.

Pour évaluer la qualité de la plateforme, il convient :

- D'apprécier la qualité de chaque sol composant la plateforme,
- D'apprécier la qualité de la plateforme complète : couche de forme + sol sous-jacent.

Classification des sols pour la plateforme :

La portance d'une plateforme dépend 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).

On peut distinguer, en fonction des paramètres ci-dessus les trois classes suivantes de plateformes en fonction de la qualité de leur portance :

- P1 : Plateforme médiocre.
- P2 : Plateforme moyenne.
- P3 : Plateforme bonne.

Selon les spécifications du projet de la ligne ferroviaire BECHAR / TINDOUF /GARA DJEBILET, la ligne peut offrir un trafic journalier important avec des vitesses voyageuses pouvant atteindre les 160 km/h et un trafic fret d'une vitesse de 70km/h. donc, nous recommandons l'utilisation d'une plateforme de type P3 (qualifiée de bonne plateforme) sur une PST de 1m (matériaux de qualité QS3).

Classe d'arase :

La classe d'arase est établie selon l'état géotechnique et l'état hydrique des terrains traversés (classification GTR). (Annexe)

En se basant sur les résultats géotechniques obtenus, les sols en places sont de qualité QS1 et QS2 ce qui implique des arases AR1 et AR2.

VII.4 Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise

Conformément à la fiche UIC 719 R relative au dimensionnement des couches d'assise, l'épaisseur de la Couche de ballast et des sous couches 'e' est calculée suivant la formule ci-dessous : [5]

$$e \geq E + a + b + c + d + f + g$$

La norme UIC ne réponds pas à toutes les spécifications de notre projet (la charge 32,5t) donc par retour d'expérience le maitre de l'ouvrage a proposé les couches d'assise à réaliser comme suit :

Tableau VII-1 couches d'assise proposées

Sol support	Couche de forme		Classe de la plateforme
	Qualité	Epaisseur minimal	
QS1	-QS1	0,30	P1
	-Sol A traité a 2% chaux vive + 2% ciment	0.30	P2
	-QS2	0,55	P2
	-QS2	0,40	P2
	-QS3	0,60	P3
QS2	-QS1	0,30	P2
	-QS2	0,40	P3
QS3	-QS3	0,30	P3

– **Application au projet**

- E = 0.45 m pour une plate-forme de classe de portance P3
- a = 0
- b = 0.05 pour les traverses en béton de longueur L=2.415
- c = 0 pour un dimensionnement normal.
- d = + 0,15 m (par déduction à la charge 325 KN)
- f = 0,05

- g = 00 pas de géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS3

e = 0,45+0+0,05+0+0,15+0.05+0= 0.70

On prend :

e=70 cm

- Soit un total de 0.70 m en matériaux granulaire + 0.30m de ballast

Nous proposons les épaisseurs des couches d'assise pour une portance P3 comme ci-dessous :

Tableau VII-2 structure de la couche d'assise

Couche	Epaisseur (cm)
La couche de ballast	30
La couche de sous ballast	20
La couche de fondation	20
La couche de forme	30

- **Justification de la PST**

Le fluage est une déformation lente et progressive des matériaux sous une contrainte constante sur une longue période.

A faible vitesse, la durée de contact entre les roues et les rails est plus longue. Cela peut accélérer la dégradation des matériaux et augmenter l'usure par fatigue des rails, surtout dans les zones de courbes ou de déviations.

La faible vitesse et le poids lourds des trains peut contribuer au phénomène de fluage des matériaux de la couche d'assise de la voie ferrée, pour cela on doit réaliser la partie supérieure du terrassement des matériaux de classe QS3.

Pour les déblais de plus de 2m de profondeur, la partie supérieure du terrassement (PST) n'est pas nécessaire, car la fondation est de nature rocheuse (R2 selon le GTR).

En cas de remblai, la partie supérieure du remblai sera réalisée avec des matériaux de classe QS3.

VII.5 Exigence pour les matériaux [7]

Tableau VII-3 matériaux proposés pour les couches

Couche	Matériaux
Ballast	Pierre cassée 25 à 50 mm
Sous ballast	D2, D3, R21, R41, R61
Couche de fondation	B5, D, R21, R41, R61
Couche de forme	B3, C_iB_i, D2, D3, R21, R41, R61, F31 et F71
Matériaux de zone inondable	CiB3, D3, R21, R22, R41, R42, R61, R62, F31et F71

VII.6 Conclusion

À travers ce chapitre, nous avons exploré l'importance de l'assise ferroviaire et son dimensionnement dans la construction de voies ferrées sûres et efficace, Passons

maintenant au profil en traers, qui détaille la disposition et les dimensions des composants de la voie ferrée,

Chapitre VIII :
Profil en travers

VIII Profil en travers

VIII.1 Introduction :

Une fois que le tracé en plan et les profils en long ont été établis, la prochaine étape consiste à développer le profil en travers. Cette phase revêt une importance dans les projets ferroviaires, car elle permet de définir la section type prévue pour le tracé, ainsi que les volumes de déblais et de remblais nécessaires.

VIII.2 Les éléments du profil en travers

VIII.2.1 Eléments de superstructure

- Le type de rail utilisé et la valeur de l'écartement de chaque voie,
- Le type de la traverse utilisé,
- L'épaisseur de la couche de ballast,
- La longueur des butées du ballast,
- La valeur du dévers maximum en courbe,
- La distance entre les axes (cas de plusieurs voies), pour notre projet on a une seule voie.

VIII.2.2 Eléments de l'infrastructure

- Les épaisseurs et la nomination des chaque couches.
- Les pentes transversales de chaque couche.
- La pente latérale de la plate-forme.

VIII.2.3 Eléments du talus

- La pente de chaque talus,

VIII.2.4 Eléments d'assainissement

- Le type et dimension des ouvrages d'assainissement et/ou des drains

VIII.3 Profil en travers type de mon projet :

- Les rails UIC-60 sont espacés de 1435 mm avec des travers Monoblocs M450.
- Type de ligne : voie unique (voie mixte)
- Largeur de plateforme de 08.00 m soit en déblai soit en remblai.
- La pente latérale de la plateforme est de 4%.
- Largeur de marche pied : 1.5 m.
- La hauteur d'armement (différence de niveau entre le P et le FSR) est de 0.731m calculé comme suite :
  - Hauteur du rail : 0,172m.
  - Hauteur de la traverse : 0,220m.
  - Semelle cannelée de 0.009m.
  - Hauteur minimale de ballast : 0.30m.
- Epaisseur du ballast 30cm.
- Epaisseur du sous- ballast 20cm.
- Epaisseur de la couche de forme 30cm.
- Zone inondable : ajout du géotextile anti-contaminant au tour du noyau de remblai et des enrochements latéraux.

- Dans les zones de déblai, les talus ont été établis avec différentes inclinaisons, en fonction des caractéristiques géotechniques différentes types de sols ou de roches.
- Dans les zones de remblai les talus ont été définis avec une pente de 2/1 (H/V), qui est prévue pour la pose de fossés longitudinaux au pied de talus.

VIII.4 Calcul des cubatures.

Les cubatures de terrassement représentent les volumes des déblais et remblais, ils sont effectués à l'aide du logiciel Covadis :

Tableau VIII-1 les cubatures (déblais/remblais)

Déblais(m^3)	Remblais(m^3)
171317,6	751769

Tableau VIII-2 les cubatures de la couche d'assise

Couche	Ballast	Sous ballast	Couche de fondation	Couche de forme	PST
Volume (m^3)	35274,8	25039,7	26960,9	44043,7	177471,1

VIII.5 Conclusion

En établissant la section type projetée et en calculant les volumes de déblais et de remblais, tout en intégrant les préoccupations environnementales, cette étape garantit la création d'une infrastructure ferroviaire qui soit optimale en termes de sécurité, d'efficacité et de durabilité.

Nb les profils en travers types (cas remblai cas déblai sont représentés dans les planches 04 et 05)

Chapitre IX : Terrassements

IX Terrassements

IX.1 Introduction

Les travaux de terrassement sont essentiels pour préparer le terrain à la construction d'une voie ferrée. Ce processus implique le remodelage du relief en effectuant des déblais (enlèvement de terre) et des remblais (ajout de terre) afin de créer une plateforme stable et nivelée. Ces travaux peuvent parfois provoquer des mouvements de terre importants.

IX.2 Les caractéristiques géotechniques

Les principaux paramètres géotechniques employés dans les analyses de stabilité des talus sont les suivants :

- Poids spécifique γ
- Cohésion c
- Angle de frottement interne Φ

Pour les calculs des stabilités, Le facteur de sécurité global, à prendre en considération :

- Fs ≥ 1,2

Les caractéristiques géotechniques suivantes ont été déterminées par formation lithologique en tenant compte des corrélations entre les résultats des essais pressiométriques et les paramètres intrinsèques (cohésion et angle de frottement), les masses volumiques sont issues des données en laboratoire.

IX.2.1 Propriétés géotechniques de l'assise ferroviaire et du corps de remblai prises dans les calculs [19]

Tableau IX-1Propriétés géotechniques de l'assise ferroviaire et du remblai

Nature	Poids volumique (KN/m3)	Cohésion CD (KPa)	Angle de frottement (°)
Couche d'assise	22	10	45
Partie supérieure du terrassement en remblai	20	5	35
Remblai courant	20	5	35
Tuf caillouteux et sable argileux caillouteux rougeâtre compact	20	8	35
Calcaire gréseux grisâtre compact à fragmenté par endroit	21,5	208,5	42

IX.3 Etude de stabilité du terrassement.

La présente analyse traite les profils les plus défavorables, en tenant compte de :

- La hauteur maximale au niveau des différents tronçons ainsi que la nature lithologique du sol support, le long de la ligne ferroviaires.
- Données géotechniques et lithologique du sol support
- Une charge ferroviaire de référence de 84KN/m.
- Le dimensionnement et calcul spécifique des profils de stabilité critiques (Talus de plus de 5m de hauteur) au moyen du logiciel de calcul de stabilité au glissement TALREN
- La vérification de stabilité est effectuée en conditions statique vu que la zone est classée en zone de sismicité nulle (Zone 0).
- Les calculs de stabilité sont réalisés en utilisant la méthode de Bishop.

Justification de la stabilité au glissement :

Tableau IX-2 Résultats des calculs de stabilité au glissement

Pk	Ouvrage	Hauteur	Pente V/H	Fs
641+125	Remblais	9,4	1/2	1,83
643+175	Remblai	8,87	1/2	1,88
647 575	Déblais	5,57	1/3	3,68
650+350	Déblais	7,17	1/3	2,55

❖ **Interprétation**

D'après les résultats illustrés sur le tableau (IX-2) on constate que le facteur est supérieur à 1, donc la stabilité au glissement est justifiée.

Nb : Les résultats de calcul ainsi que les graphiques relatifs au facteur de sécurité sont présentés en annexe.

IX.4 Traitement des zones inondables

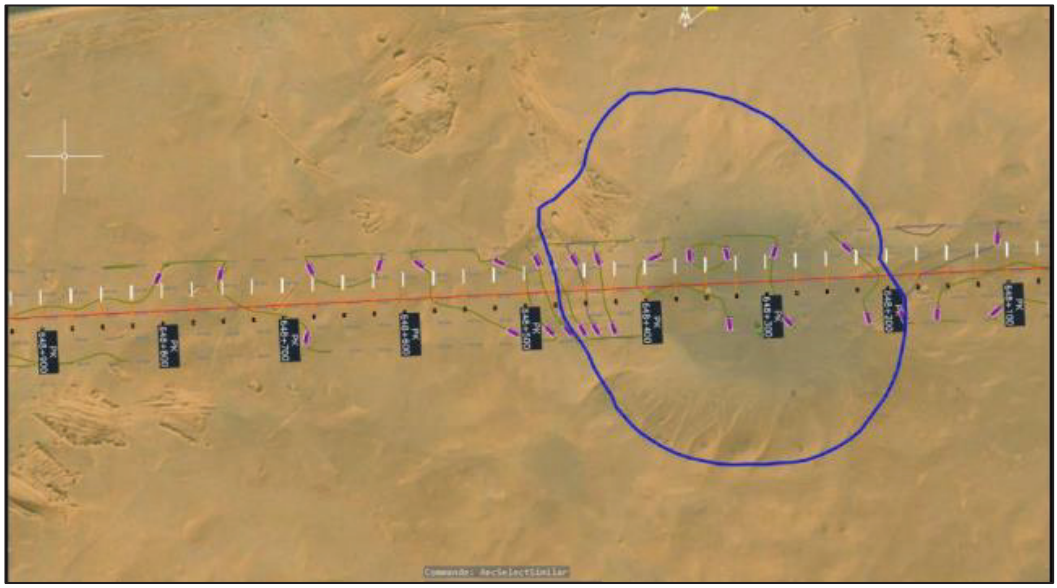


Figure IX-1 zone inondable PK648+200 au PK648+435 [19]

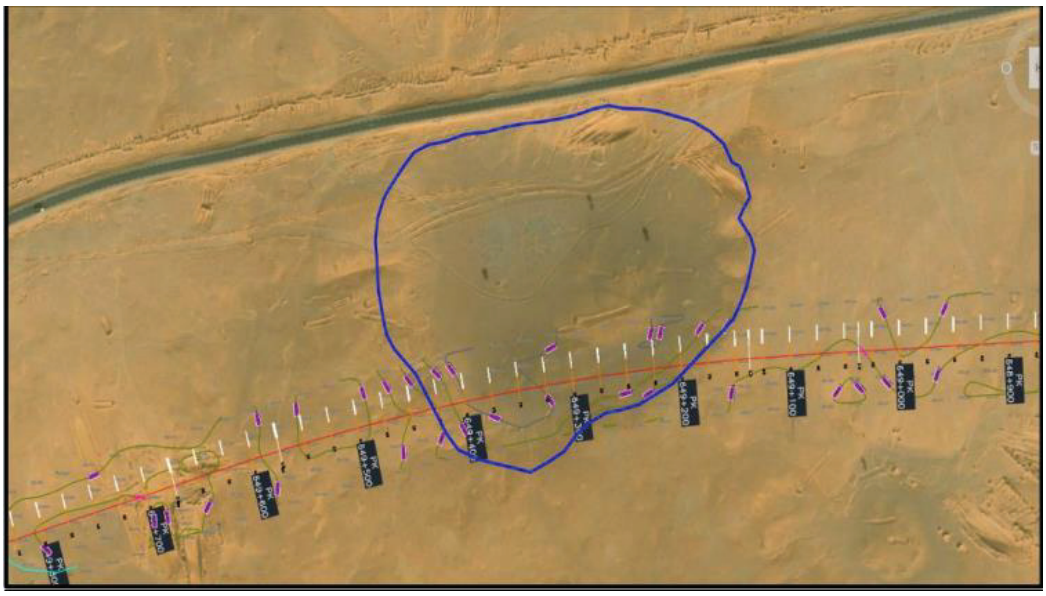


Figure IX-2 zone inondable PK649+219 au PK649+408 [19]

IX.4.1 Traitement des zones inondables

❖ **Traitement par purges**

La purge est une technique géotechnique utilisée pour améliorer la stabilité d'un remblai ferroviaire en remplaçant le sol existant par un matériau drainant, L'épaisseur minimale de cette couche drainante est généralement de 0,5 mètre sauf en cas de rencontre de la roche.

La zone de purge concerne les sections allant du PK648+200 au PK648+435, du PK649+219 au PK649+408.

❖ **Mise en place d'un géotextile protecteur contre les inondations.**

Le géotextile est un tissu non-tissé conçu pour filtrer l'eau et retenir les particules fines du sol. Lorsqu'il est installé autour du noyau central dans la zone inondable, il empêche l'eau de pénétrer et d'éroder le sol environnant.

Spécifications sur les produits : Le tableau présenté dans l'annexe définit les caractéristiques des géotextiles selon le type qui fait référence à son utilisation

Chapitre X :

Conception de la gare d'Oum Al Assel

X Conception de la gare OUM AL ASSEL

X.1 Introduction

Une gare ferroviaire est une installation conçue pour permettre le chargement, le déchargement et le transfert de passagers et de marchandises entre les trains.

X.2 Type de gare

Les gares sont classées en différents types

- Les gares de voyageurs
- Les gares de marchandises
- Les gares mixtes
- Les gares de croisement

X.3 Étude du plan de masse d'une gare

Pour concevoir une gare, il est essentiel de considérer les fonctions de toutes ses installations de base. Cette phase requiert la prise en compte de trois éléments pour l'étude du plan d'ensemble :

- Les catégories de voie : qui permettent de définir la fonction et les composants de la gare
- Le trafic : c'est un élément nécessaire pour estimer l'importance de la gare
- L'emplacement de la gare : qui définit et détermine généralement les deux éléments précédents

X.4 Aménagement de la gare

X.4.1 Installations d'une gare à voyageur

- Le bâtiment de voyageurs est un espace destiné aux passagers, comprenant diverses installations telles qu'une salle d'attente, des guichets de vente de billets, un poste de sécurité, un kiosque, et d'autres équipements
- Les bâtiments à usages divers (B.U.D) constituent des espaces dédiés aux agents de chemin de fer
- Les quais sont des plateformes surélevées, parallèles aux voies ferrées et permettant aux passagers d'accéder aux trains
- Les abris de quais désignent des installations situées sur les quais et destinées à protéger les voyageurs des intempéries
- Les passages souterrains et les passerelles sont des structures construites dans les gares pour permettre aux voyageurs de traverser les voies et de changer de quai en toute sécurité.

X.4.2 Marge de glissement à l'aval des signaux

C'est une section de voie située après un signal fermé, correspondant au trajet du train. Aucun autre train n'est autorisé à circuler sur cette section Cette zone vise à limiter les conséquences d'un accident et, en cas d'interdiction d'occupation, d'éviter une collision si un train ne s'arrête pas avant cette marge.

Les longueurs de la marge de glissement sont établies conformément à la norme UIC 739 de la manière suivante :

- 50 ≤ LG ≤ 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 ≥ 60 km/h.
- LG = 100m pour 40km/h ≤ V ≤ 60 km/h.
- LG = 50 m pour V < 40 km/h.

X.4.3 Garage franc

Le garage franc délimite la partie de la voie réservée aux trains en stationnement. Théoriquement, sa valeur est de 3,57 fois la distance entre les axes des voies directe et déviée. Cependant, pour des raisons de sécurité, il est installé à 1 mètre de cette valeur théorique

GF = 3,57 x N + 1 mètre

N : varie selon l'ouverture de l'appareil de voie.

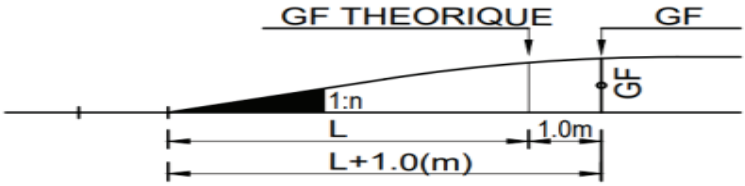


Figure X-1 schéma du garage franc

X.4.4 La longueur utile d'une voie de stationnement

Selon la SNTF, la longueur utile minimale pour les trains voyageurs est de 426 m. Celle des trains de marchandise sur la voie principale, est de 870 m.

Cette longueur est donnée par : **LU=LG+LS+LT+LA+LC**

Avec :

LG= longueur de glissement

LS : longueur de sécurité

LT : longueur maximal train

LA : marge d'arrêt autorisée

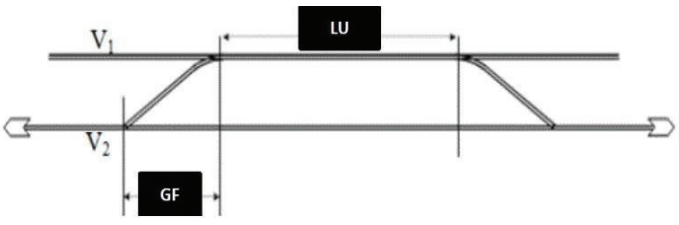


Figure X-2 Schéma illustratif de la longueur utile

LC : tronçon d'isolation pour le système de transport

X.4.5 Heurtoir

Les butoirs sont des dispositifs placés à l'extrémité des voies ferrées. Leur rôle est d'arrêter les trains et d'absorber leur énergie cinétique



Figure X-3 Heurtoir

X.5 Caractéristiques géométriques des gares

X.5.1 Quai

- **La longueur**

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

- **La largeur**

La SNTF recommande pour une telle gare
- Quai intermédiaire B > 8 m.
- Quai extérieur B ≥ 6m.

- **Hauteur des quais**

La hauteur nominale du bord du quai devra être de 550 mm ou de 760 mm au-dessus de la table de roulement selon le type de matériel roulant qui est susceptible de s'arrêter à ce quai.

- Plus grand que 760 mm → quais dits hauts.

- Plus petit que 550 mm → quais dits bas.

- **La distance à l'axe de la voie**

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

La valeur de S est donnée par la formule suivante

$$S = \frac{3750}{R} + \frac{I_1435}{2}$$

$R = rayon\ de\ voie\ (m)$;

$I = ecartement\ de\ voie\ (mm)$

- **L'entraxe des quais :**

$e_{normal} > 11.3$ m.

$e_{minimal} > 9.3$ m

X.5.2 Déclivité dans les gares

La pente en gare doit être réglementée en fonction des différentes activités qui s'y déroulent. Dans notre projet, la pente sera maintenue à 0 ‰ pour prévenir tout mouvement indésirable des trains.

X.5.3 Les appareils de voie

Un appareil de voie est un dispositif de guidage permettant de diriger les trains vers les voies appropriées et de faciliter les changements de direction. Typiquement, un ensemble de voie comprend trois éléments principaux : l'aiguillage, la section intermédiaire et le cœur (ou croisement)

Les appareils de voie comprennent :

- Les branchements simples.
- Les traversées.
- Les traversées jonctions simple (T.J.S) - jonctions double (T.J.D).

Les règles d'implantation selon la norme SNTF sont les suivantes :

Les appareils de voie de la gare sont implantés en alignement droit et en déclivité constante égale à 0‰ ; ils permettent des vitesses de franchissement différentes selon leurs rayons et leurs tangentes.

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

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

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

- En tracé en plan : L'implantation des appareils de voie se fera en respectant les longueurs minimales du tracé indiquées ci-dessous
- En pointe : La longueur minimale d'alignement (L1) doit être égale à $V_d/2$, où V_d est la vitesse de franchissement en voie déviée, exprimée en km/h
- En talon de la branche déviée : Si la sortie de l'appareil est alignée : la longueur minimale d'alignement à respecter doit être égale à $V_d/2$. Si la sortie est en courbe, il faut que
    - $V_d < 100$: il faudra prévoir soit un alignement d'une longueur minimale égale à $V_d/2$, soit prolonger la courbe de l'appareil suivi d'un raccordement progressif
    - $100 \leq V_d < 160$: il est recommandé de prolonger la courbe de la voie déviée par un raccordement progressif dans le même sens pour toute nouvelle situation
    - $V_d \geq 160$: la condition précédente est obligatoire. Quelle que soit la valeur de V_d, la longueur des raccordements doit être calculée de manière à obtenir

une variation maximale de l'insuffisance de dévers de ΔI/Δt de 75 mm/s (valeur normale) et 90 mm/s (valeur exceptionnelle).

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

X.6 Application au projet

- **La marge de glissement**

  Comme V ≥ 60 km/h alors LG = 200m.

- **La longueur du quai** :

  Pour notre gare on prend 300m comme longueur des quais.

- **Largeur des quais :**

  Selon la SNTF, on prend : - B=8 m

- **Hauteur des quais** :

  On prend pour notre cas, quai mi-haut h= 55 cm

  Entre–axe des quais : On prend : e= 12 m (entre quai 1 et 2).

- **La distance à l'axe de la voie** :

  L (mm)= 1650+ (3750/∞) + ((1435-1435) /2) =1650mm.

- **Entraxe entre les voies** : 4 m.
- **Longueur de garage de franc** :

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

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

- **Les longueurs utiles**

Tableau X-2 les longueurs utiles de la gare

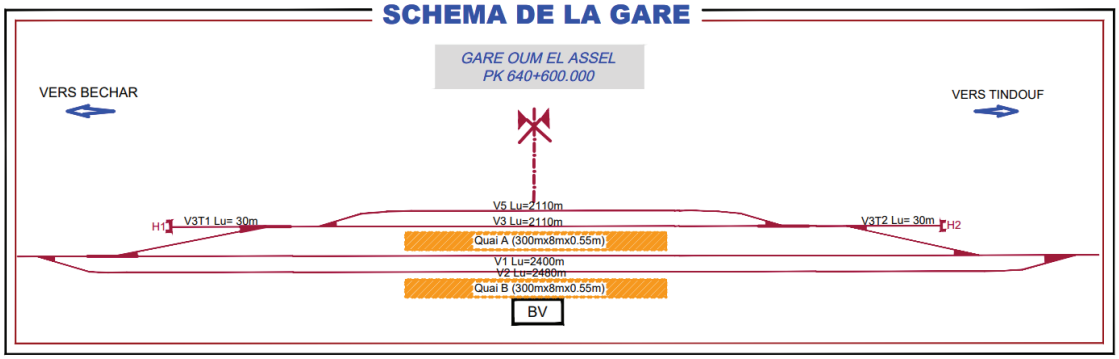
N voie	V1	V2	V3	V5	V3T1
Longueur utile	2400	2480	2110	2110	30

X.6.1 Description de la Gare OUM EL ASSEL

- La gare de Oum El Assel se situe du PK639 450 au PK 642 100 sur 2650m
- Elle comprend un bâtiment de voyageur situé au PK 640+600,00 et deux quais voyageurs d'une longueur de 300m et 08m de largeur.
- Elle est composée de 02 voies principales (V1, V2) d'une longueur utile de 2480m,2400m et d'un entraxe de 4m (entraxe identique à celui de la ligne)
- La voie directe V1 permet le franchissement de la gare sans arrêt et avec la vitesse de la ligne (160 km/h).

- La voie d'évitement V2 comprend deux courbes (C1, C2) non déversées de rayon de 500m et connectés sur la V1 par des branchements simples de Tangente 1/12 et rayon 500m permettent une vitesse de franchissement de 65 km/h sur la voie déviée
- La gare comporte aussi deux voies de service (V3, V5) d'une longueur utile de 2110m
- La voie V3 est connectée sur la voie V1 avec un entraxe de 11.30m par des voies de communication et des branchements simples de tangente 1/9 et rayon 300m permettant une vitesse de franchissement de 40 km/h sur la voie dévier
- La voie V5 est connectée sur la voie V3 avec un entraxe de 5.0 m par des branchements simples de tangente 1/9 et rayon 300m permettant une vitesse de franchissement de 40 km/h sur la voie déviée.
- La gare est munie de 02 voie tiroirs d'une longueur utile de 30m aux extrémités de la voie V3.

Tableau X-3 : Schéma de la gare proposée



Les contraintes :

PK	Contrainte	Solution adoptée
PK 640+908.41	Conduites AEP	Protection
PK 641+225.00	Conduites EU	Déplacement sous le dalot
PK 641+525.00	Lignes électriques basses tension	Déplacement ou protection
PK 641+645.60	Conduites AEP	Protection
PK 641+785.3	Lignes électriques moyennes tension	Déplacement

X.7 Assainissement transversale

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

X.8 Assainissement longitudinale

Les drains installés longitudinalement avec une pente de 4‰ permettent de collecter les eaux de ruissellement qui s'infiltrent dans le ballast et la plate-forme, puis de les évacuer vers le réseau d'assainissement via les regards de visite Ce système de drainage

comprendra des fossés, des drains et des collecteurs qui dirigeront les eaux vers les passages hydrauliques ou directement vers les lignes d'eau existantes

X.9 Profil en travers type et Schéma de la gare proposé : voir planche.06

Chapitre XI :
Signalisation ferroviaire

XI Signalisation ferroviaire

XI.1 Introduction

Le signal ferroviaire englobe tous les équipements, qu'ils soient fixes ou mobiles, lumineux ou mécaniques, installés le long d'une voie ferrée. Ces dispositifs ont pour rôle d'informer les utilisateurs du rail sur différents aspects tels que la vitesse autorisée, la présence d'un changement d'aiguillage ou les limites de sections électrifiées. Ils contribuent principalement à garantir la sécurité des circulations ferroviaires.

XI.2 Objet de la signalisation ferroviaire

La signalisation ferroviaire est essentielle pour communiquer les instructions aux conducteurs de trains, garantissant ainsi une circulation sécurisé Les équipements de signalisation sont spécialement conçus pour résoudre les problèmes et gérer les risques majeurs, tels que décrits dans le tableau suivant

Tableau XI-1 les risques ferroviaires

Risque	Solution
Le risque de nez-à-nez	La Prise en charge par les enclenchements de sens.
Le risque de rattrapage	La prise en charge par le cantonnement
Le risque de prise en écharpe	La prise en charge par les enclenchements internes au poste d'aiguillage (enclenchement d'itinéraires, enclenchement de transit…)
Les risques de déraillement	La prise en charge par les limitations de vitesse, des systèmes de surveillance des chargements, de chutes de rochers, de chutes de véhicules routiers et de la température des boîtes d'essieux
Les risques aux passages à niveau	La prise en charge par des dispositifs d'annonce des trains.

XI.3 Les signaux

En Algérie, l'implantation des signaux ferroviaires se répartit en deux catégories principales généralement ces signaux sont placés à gauche de la voie où les trains y circulent sauf si des contraintes spécifiques empêchent cette disposition

- Panneaux : regroupant un ou plusieurs feux de couleur fixes ou clignotants, sont installés sur un écran noir délimité par un contour blanc à l'exception de certains tunnels.
- Tableaux lumineux : pouvant afficher une bande colorée, une inscription ou un symbole conventionnel.

Les signaux sont conçus pour remplir les rôles et fonctions suivants :

- Signalisation d'arrêt : informe les conducteurs de train qu'ils doivent s'arrêter complètement avant de continuer leur trajet.
- Signalisation de limitation de vitesse. : forme les conducteurs de train de la vitesse maximale autorisée sur une section spécifique des voies.

- Signalisation de direction : guide les conducteurs de train en indiquant la voie à suivre ou les changements de direction à effectuer.

XI.4 Signalisation classique

Un canton est une section électrifiée de voie ferrée qui sert à espacer les trains et à éviter les collisions, chaque canton est protégé par un signal et isolé électriquement, permettant la présence d'un seul train à la fois, ce système de signalisation automatique fonctionne sans intervention humaine, le train assurant sa propre protection.

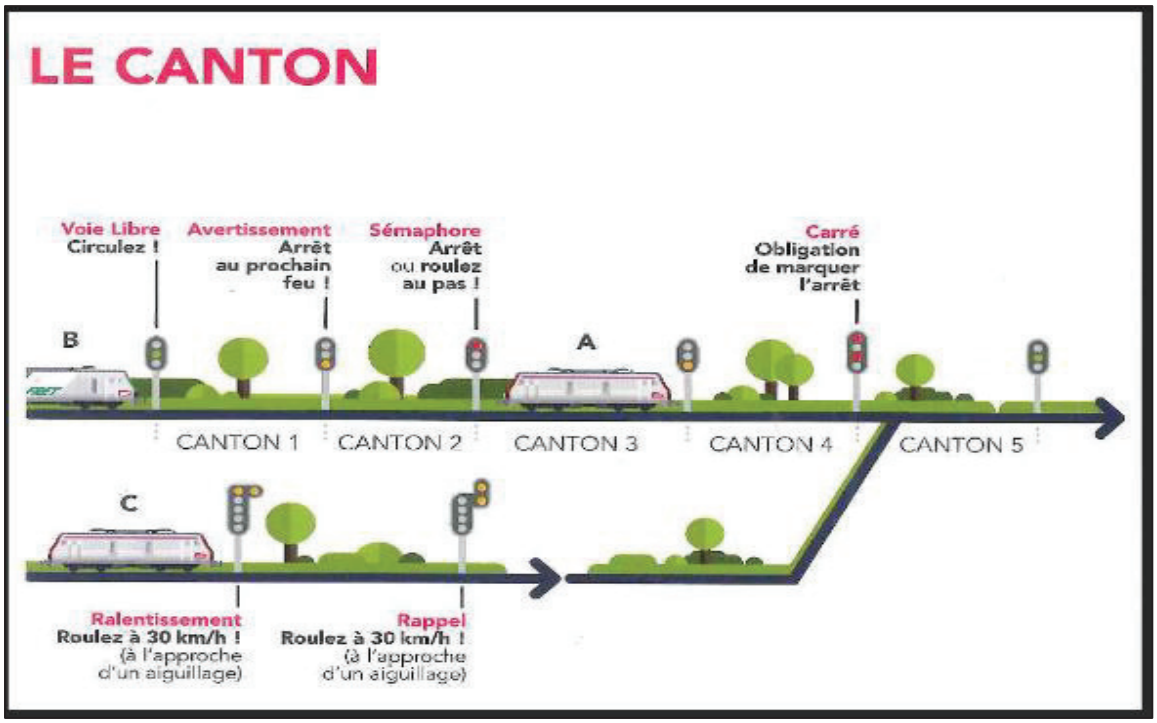


Figure XI-1 schéma illustratif d'un canton

XI.5 Types de blocs

Les différents types de blocs utilisés dans la gestion des signaux ferroviaires sont les suivants :

XI.5.1 Block Manuel (B.M)

Il est utilisé sur les lignes peu fréquentées ce système nécessite l'ouverture manuelle du signal de block par un agent pour autoriser l'entrée sur la voie

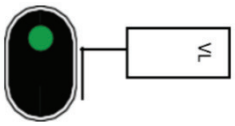
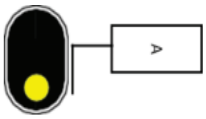
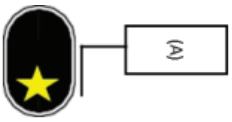
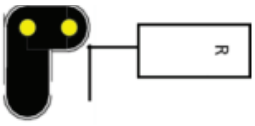
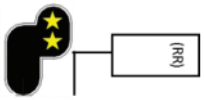
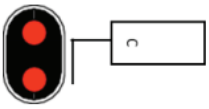
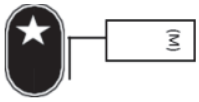
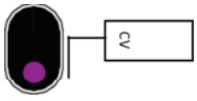
XI.5.2 Block automatique à permissivité restreinte (B.A.P.R)

Il est utilisé sur des lignes présentant un trafic moyen ce système d'espacement emploie des signaux automatiques pour contrôler l'entrée des trains dans la voie suivante.

XI.5.3 Block automatique lumineux (B.A.L)

Il est employé sur les lignes principales, ce système d'espacement des trains utilise des signaux automatiques pour contrôler les trains en fonction de leur emplacement et des conditions de circulation.

Tableau XI-2 les principaux signaux ferroviaires et leur indication

Signal	Indication	Signalisation lumineuse
Signal ouvert Voie libre	La voie libre indique au conducteur que la circulation en marche normale est autorisée, franchissement à la vitesse admise.	
L'avertissement Feux jaune	Il commande au mécanicien de pouvoir s'arrêter avant les signaux suivants : Carré, sémaphore, carré violet, un rouge clignotant.	
Le feu jaune Clignotant (A)	Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal annoncé à distance réduite par le signal suivant	
Le ralentissement 30 Fermé	Limiter la vitesse à 30km/h pour franchir une aiguille	
Le rappel 30 fermé		
Le ralentissement 60 km/h	Limiter la vitesse à 30km/h pour franchir une aiguille	
Le rappel 60 km/h		
Carré	Arrêt avant le signal.	
Feu blanc	Il commande ou confirme au conducteur l'observation de la marche en manœuvre.	
Feu blanc clignotant	Il interdit dans tous les cas le départ en ligne d'un train.	
Feu violet Carré Violet	Commande l'arrêt, il est installé sur les voies de service, son ouverture seule.	

XI.6 Le principe du système ERTMS :

Européen Railways Traffic Management System L'ERTMS, ou système européen de gestion du trafic ferroviaire, est un système de signalisation ferroviaire européen qui vise à harmoniser et à fluidifier la circulation des trains.

Les fonctions de l'ERTMS sont les suivantes :

- Surveiller l'aspect de la signalisation latérale par la balise standard qui communique avec un autre système à bord de train
- Accorder l'autorité de déplacement jusqu'au prochain système de signalisation latérale en se basant sur le principe de blocage fixé.
- Convertir les informations de signalisation latérale à travers l'Unité de contrôle latéral (LEU) pour transmission via la balise au train.
- Permettre au train de transmettre en continu, à tout moment, sa position et sa vitesse via une antenne.
- Assurer la protection des trains : Communication discontinue voie-train via les balises.

L'ERTMS est un système à trois niveaux

ETCS niveau 1 : le train reçoit son autorisation de mouvement à travers des balises au sol, cette autorisation étant basée sur l'occupation des cantons calculée par le centre de contrôle

ETCS niveau 2 : un système de signalisation ferroviaire numérique reposant sur la radiocommunication, où l'autorisation de circuler et les signaux de marche sont affichés directement dans la cabine du conducteur

ETCS niveau 3 : offre une fonctionnalité d'espacement des trains entièrement basée sur la communication radio

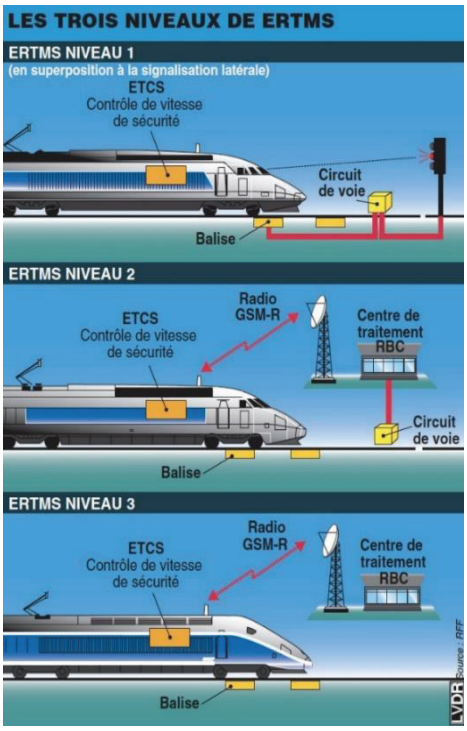


Figure XI-2 les trois niveaux de ERTMS

XI.7 Caractéristiques principales du système de signalisation pour notre projet.

Tableau XI-3 XI.7 Caractéristiques principales du système de signalisation

Item	Critère proposé
Poste	Commande centralisée par tronçon avec possibilité de reprise en Commande locale des zones d'enclenchement. Les PCG seront commandés par les gares les plus proches Les gares marchandises seront commandées localement avec gestion des entrées /sorties par le PCC.
Type d'enclenchement	Solution1 : Enclenchements informatisés (PAI) Solution2 : Enclenchements à relais type PRG avec commande informatisée
Maintenance	Système de maintenance centralisé au PCC avec des postes de maintenance dans les gares.
Signalisation	Signalisation latérale lumineuse dans les gares et PCG
	ETCS N°1
Détection des trains en ligne	Compteurs d'essieux
Système de communication	Système de transmission par fibres optiques et système radio Sol Train
Alimentation	Alimentations par le réseau public secouru par batteries et groupe électrogène.

XI.8 Conclusion

Les progrès des outils informatiques ont permis au domaine de la signalisation ferroviaire de connaître une croissance considérable ces dernières années, jouant un rôle crucial dans la réduction des accidents et l'amélioration de la fluidité du trafic ferroviaire.

Chapitre XII :
Etude de l'impact environnemental

XII Etude de l'impact environnemental

XII.1 Introduction.

L'étude d'impact d'un projet d'infrastructure ferroviaire est un outil essentiel pour évaluer les effets potentiels du projet tant naturels qu'humains, elle a pour but de :

- Estimer les impacts environnementaux et sociétaux du projet ;
- Définir les risques et proposer des solutions d'atténuation ;
- Promouvoir un développement durable du projet ;
- Favoriser la transparence et la participation du public ;
- Garantir que les intérêts des communautés locales soient pris en compte.

XII.2 Impacts de la phase de réalisation

- **Impact sur la population** : Les impacts négatifs du projet sur la population en phase de travaux portent sur l'expropriation des biens, les nuisances causées par les activités de construction.
- **Impacts sur la qualité de l'air** Les chantiers de construction peuvent générer une multitude de polluants atmosphériques, affectant ainsi la qualité de l'air ambiant. Ces polluants proviennent de diverses sources :
  - **Emissions gazeuses** par les installations de combustion, gaz d'échappement des engins et des camions, dont les principaux gaz échappés sont les CO, HC, CH4, CO2, NOx, SO2.
  - **Poussières** : le chargement, le déchargement et le transport de matériaux tels que le sable, le gravier et le ciment génèrent des poussières fines.
  - **Produits chimiques** : les fuites ou les déversements accidentels de produits chimiques dangereux tels que les solvants, les peintures et les produits d'étanchéité peuvent survenir sur les chantiers.
- **Effet de coupure** : La construction du chantier entraînera des perturbations importantes de la circulation, impactant considérablement les déplacements des populations locales et l'accès aux propriétés environnantes, déplacement des troupeaux d'animaux.
- **Effet sonore**
- **Risque d'accidents** : La présence d'engins de chantier et de camions de transport engendrera une augmentation significative du trafic autour du site, augmentant ainsi les risques d'accidents pour les travailleurs sur chantier et même pour les habitants situés à proximité des voies d'accès au chantier.
- **Impacts sur les ressources en eau :** Les travaux envisagés peuvent temporairement perturber les eaux superficielles, notamment en augmentant la turbidité et en entraînant une possible contamination due aux activités de chantier, De plus, le fonctionnement des engins pourrait présenter un risque de contamination des eaux souterraines en cas d'accident, tandis que le pompage nécessaire pourrait entraîner un abaissement du niveau des nappes phréatiques et modifier le régime d'écoulement des eaux souterraines.
- **Impact sur la faune et la flore :** les travaux peuvent engendrer des perturbations importantes sur cet écosystème fragile, dont les impacts peuvent se traduire par

l'abattage d'arbres et d'arbustes ce qui se traduit par une réduction directe du couvert végétal et une perturbation de la faune par les bruits et vibrations **;** les engins de chantier génèrent des bruits et des vibrations qui peuvent déranger et stresser la faune, en particulier les mammifères sensibles.

- **Impact sur le sol :** Le projet aura diverses conséquences sur les sols incluant principalement la perte des sols due au décapage de l'emprise, le tassement des sols et l'aggravation des phénomènes d'érosion.

XII.3 Description des mesures envisagées pour supprimer, réduire et/ou compenser les conséquences dommageables

Tableau XII-1Impacts négatifs avec les mesures d'atténuation

L'impact	Mesures à prendre
Impacts sur la qualité d'air	-Pour réduire la pollution de l'air causée par la poussière générée par la circulation des camions de transport, des engins de terrassement et l'exécution des travaux, il est recommandé d'arroser régulièrement les accès et les zones auxiliaires du chantier surtout, durant la saison sèche de l'année et au cours des jours à vent fort -Effectuer des contrôles des opérations de maintenance périodiques sur les moteurs d'engins et de camions pour réduire les émissions de fumées, de gaz et d'odeurs indésirables. -Le matériel roulant à traction électrique sera plus performant et beaucoup moins polluant que les locomotives thermiques et contribueras à la diminution de l'effet de serre planétaire ainsi que la protection de la santé de la population riveraine
Effet sonore	-L'utilisation des engins aux normes en matière de bruit -Fournir aux travailleurs des équipements anti-bruit si nécessaire
Risque d'accidents	-Pour garantir la sécurité des travailleurs et des habitants un entretien régulier des parties altérées des routes adjacentes (rétablissements) doit être assurer -Doter les travailleurs par des vêtements de signalisation à haute visibilité (vêtements fluorescents)
Impacts sur les ressources en eau	-Le nettoyage du matériel de chantier doit être effectué loin des lits d'Oueds ou cours d'eaux. -Effectuer Un suivi régulier (des analyses physico-chimiques et bactériologiques) pour surveiller les ressources en eau telles que les oueds, les puits, les forages et les nappes phréatiques
Impact sur la faune et la flore	-Installer une clôture autour les zones des travaux afin de prévenir les risques d'intrusion de la faune. -Il est essentiel de végétaliser les talus formés, qu'ils soient en déblais ou en remblais, afin de réduire les impacts négatifs du projet sur la végétation et le paysage
Impact sur le sol	-La principale stratégie pour atténuer ces impacts est d'optimiser le tracé de la nouvelle ligne ferroviaire, en particulier son profil en long

	pour minimiser les hauteurs des terrassements ainsi que les volumes de matériaux à déplacer et à utiliser.

XII.4 Impacts positifs de la phase d'exploitation

XII.4.1 Impacts sur le plan socio-économique :

Pendant la phase de construction/électrification, de nombreux emplois directs et indirects seront créés de façon temporaire. Ce projet vise à établir une liaison stratégique reliant la mine de Gara Djebilet (Tindouf) à Bechar en première phase, puis la Wilaya d'Oran, ce qui présente l'un des grands projets d'infrastructures de transport ferroviaire en Algérie, ce qui le positionne comme un moteur potentiel de développement économique.

XII.4.2 Impacts positifs de l'usagers du mode ferroviaire

Les bénéfices positifs de l'utilisation du transport ferroviaire se manifestent de plusieurs façons :

- Réduction des temps de transport, Ce gain de temps est accompagné d'avantages économiques,
- Le transport ferroviaire permet de transporter de grands volumes sur de longues distances simultanément,
- Amélioration de la sécurité et du transport des matières premières telles que le fer, extrait de la mine de Gara Djebilet,
- Modernisation et efficacité des transports.

XII.5 Conclusion.

L'intégration d'études d'impact environnemental (EIE) dans le développement du réseaux ferroviaires s'avère essentielle pour assurer leur viabilité et leur contribution à un avenir durable.

Chapitre XIII

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

XIII Devis estimatif et quantitatif

Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix Unitaire	Montant
Installation de chantier et étude d'exécution				
Etude d'exécution	F	1	40 750 000,00	40750000
Amenée du matériel et installation général du chantier	F	1	600 000 000,00	600000000
Fourniture et installation de laboratoire de chantier	F	1	1 500 000 000,00	1500000000
COUT TOTAL D'INSTALLASETION DE CHANTIER ET ETUDE D'EXCUTION				2140750000
TERRASSEMENTS				
Décapage de terre végétale sur épaisseur de 0.3 m	M2	100764,00	750,00	75573000
Déblais mise en dépôt	M3	171317,60	2500,00	428294000
Remblais d'apport	M3	751769,00	1500,00	1127653500
Fourniture et mise en œuvre de Couche de fondation	M3	26960,90	3200,00	86274880
Fourniture et mise en œuvre de Couche de forme	M3	26960,90	2600,00	70098340
Fourniture PST	M3	177471,10	2600,00	461424860
Fourniture et pose géotextile	M3	44100,00	1500,00	66150000
Fourniture et mise en œuvre de sous ballast	M3	25039,70	3800,00	95150860
COUT TOTAL DE TERRASSEMENTS				2410619440
OUVRAGES HYDRAULIQUES				
Buses de tuyaux en béton armé diamètre 1500mm	ML	200	34 000,00	6800000
Fossés trapézoïdaux en béton armé	ML	13000	6 200,00	80600000
Dalot en béton armé 3×3	M3	188	130 000,00	24440000
Dalot en béton armé 3×2	M3	240	100 000,00	24000000
Buses de tuyaux en béton armé diamètre 2000mm	M3	16	350 000,00	5600000
COUT TOTAL DES OUVRAGES HYDRAULIQUES				141440000
TRAVEAUX DE VOIES				
Fourniture et pose de ballast sur épaisseur de 0.3 m	M3	35274,80	7400,00	261033520
Fourniture des rails UIC60	T	2 010	199962,00	401923620
Fourniture des attachés élastiques pour rails UIC60	U	100000	1500,00	150000000
Pose de la voie	ML	15 000	8500,00	127500000
Fourniture des traverses mono bloc TBP	U	25000	12000,00	300000000
Fourniture d'un ADVUIC ADV -54-E1-500 1:12	U	2	18900000,00	37800000
Fourniture d'un ADVUIC ADV-54-E1-300 1:9	U	6	15700000,00	94200000

Pose d'un ADV simple UIC -54 - E1-500 1:12	T	2	654000,00	1308000
Pose d'un ADV simple UIC-54- E1-300 1:9	T	6	580000,00	3480000
COUT TOTAL DE LA POSE DE VOIE				1377245140
Ouvrage d'art				
Passage inferieure	U	1	5 000 000,00	5000000
COUT TOTAL DES OUVRAGES D'ARTS				5000000
SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION				
Electrification 25 kV/50 Hz	KM	15	50 605 840,00	759087600
Signalisation			160 000 000,00	160000000
COUT TOTAL DE LA SIGNALISATION ET L'ELECTRIFICATION				919087600
GARE				
Bâtiment de voyageur + aménagement extérieur	M2	150	100000,00	15000000
Quais	M2	40	5000	200000
COUT TOTAL DE LA GARE				15200000

MONTANT TOTALE DU PROJET EM (HT)	7,009,342,180	DA
MONTANT TOTAL FINAL EN TTC	8,341,117,194.2	DA

Montant total en TTC (en lettres)

Huit milliards trois cent quarante et un million cent dix-sept mille cent quatre-vingt-quatorze dinars Algérien et deux centimes.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Les infrastructures de transport sont un indicateur clé du niveau de développement d'un pays en termes de mobilité, d'échanges commerciaux et de communication.

L'investissement dans le secteur ferroviaire est inévitable pour le développement socio-économique, faisant de ce domaine un secteur particulièrement sensible. En Algérie, le gouvernement consacre des budgets importants pour améliorer les services et étendre le réseau ferroviaire.

La ligne ferroviaire minière Bechar-Tindouf-Gara Djebilet ne se limite pas à être un simple projet d'infrastructure, c'est une initiative capitale et un pilier stratégique pour l'avenir de la l'Algérie. Son objectif est de faciliter le transport de minéraux précieux depuis la région de Gara Djebilet, abondante en ressources minières, vers les centres industriels et les ports.

Dans notre travail, nous avons réalisé l'étude APD (Avant-Projet Détaillé) sur une distance de 15 kilomètres. Cela a impliqué des études géométriques pour définir précisément le tracé du projet, des études géologiques et géotechniques pour comprendre les caractéristiques mécaniques du sol, ainsi que des études hydrauliques pour déterminer les ouvrages nécessaires à l'évacuation des eaux pluviales et souterraines. De plus, nous avons acquis une expérience dans l'utilisation de logiciels tels que Autocad, Covadis, Talren v5. Ces études ont été complétées par une conception des fondations et des terrassements, permettant de définir les volumes nécessaires et d'estimer le coût d'investissement du projet. Au-delà des aspects techniques, nous avons également examiné l'impact environnemental et socio-économique du projet ferroviaire, mettant en évidence la nécessité d'une approche équilibrée et durable dans sa planification et sa mise en œuvre.

En conclusion, ce projet de fin d'études a été une étape importante dans notre parcours académique et professionnel et une expérience précieuse dans le domaine du transport ferroviaire nous laissant avec une appréciation plus profonde du rôle vital des voies ferrées dans le développement socio-économique des pays.

Bibliographie

– Les normes

[1] SNTF Référentiel technique
[2] IN 0272 - 04-DT-01-5-02-39 IN-0272-1voies V220
[3] IN2547
[4] Gtr
[5] Uic
[6] La norme (NF P53-695)
[7] ST590 B. EXIGENSES DES MAT

– Sites web

[8] https://www.carte zonage sismique algerie - Recherche Images (bing.com),consulté en ligne le 03/03/2024
[9] https://wwwfr.wikipedia.org/wiki/Tindouf,consulté en ligne le 03/03/2024
[10]https://Rail En Acier Inoxydable,Uic60,Robuste,À Prix Utilisé - Buy Steel Rail Uic60,Heavy Rail,Competitive Price Product on Alibaba.com,consilte en ligne le 07/03/2024
[11] https://Chapitre ii-composants-de-la-voie-presentation | PPT (slideshare.net),consulte le 10/03/2024
[12] https://Cours d'exploitation des Chemins de Fer - La Voie (tassignon.be),consulte le 11/03/2023
[13] https://Tindouf, Algeria Travel Weather Averages (Weatherbase),consulte le 01/04/2024
[14] https://Les bassins hydrographiques de l'Algérie (Bouchedja, 2012). | Download Scientific Diagram (researchgate.net),consulte le 02/04/2024
[15] https://Cours d'exploitation des Chemins de Fer - La Voie (tassignon.be)
[16] https://carte zonage sismique algerie - Recherche (bing.com)

– Rapports

[17] Rapport technique de tracé (GCB DEP)
[18] Rapport hydrologique et hydraulique (GCB DEP)
[19] Rapport géotechnique terrassement (GCB DEP)

– Article

[20] NEDJARI Ahmed, AÏT OUALI Rachid, HAMDIDOUCHE Rachid, BENHAMOUCHE Azzedine, DEBAGHI Farida, AMROUCHE Farid, et MESSAMRI Kamel, La géologie saharienne revisitée (1980-2009) *Service Géologique National* pp. 77 - 170, 53 fig., 3 tbl., 14 ph., 2009

ANNEXE A

Listing axe en plan

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	257.39g	3174,997	639+000.000	700789,801	3167908,067
Clothoïde 1	Paramètre	-529,150	80,000	642+174.997	698299,692	3165938,304
Arc 1	Rayon	-3500.000 m	2082,298	642+254.997	698236,760	3165888,912
	Centre X	696096.880 m				
	Centre Y	3168658.553 m				
Clothoïde 2	Paramètre	529,150	80,000	644+337.295	696316,813	3165165,470
Droite 2	Gisement	296.72g	4583,644	644+417.295	696236,935	3165161,051
Clothoïde 3	Paramètre	538,516	100,000	649+000.939	691659,357	3164925,323
Arc 2	Rayon	2900.000 m	572,312	649+100.939	691559,522	3164919,606
	Centre X	691758.573 m				
	Centre Y	3162026.446 m				
Clothoïde 4	Paramètre	-538,516	100,000	649+673.251	690996,122	3164824,422
Droite 3	Gisement	281.97g	4275,933	649+773.251	690899,950	3164797,023
				654+049.184	686794,442	3163601,862
Longueur totale de l'axe 15049.184 mètre(s)						

Listing du profil en long

Eléments Caractéristiques				Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente	0.00 %	3955,789	639+000.000	527,509
Pente 2	Pente	-0.07 %	3196,708	642+955.789	527,509
Pente 3	Pente	0.12 %	2624,048	646+152.497	525,390
Pente 4	Pente	-0.05 %	2146,146	648+776.545	528,619
Cercle 1	Rayon	40000.000 m	149,280	650+922.691	527,546
	Sommet Absc.	650+942.691 m			
	Sommet Alt.	527.541 m			
Pente 5	Pente	0.32 %	1340,205	651+071.972	527,750
Cercle 2	Rayon	-30000.000 m	138,960	652+412.177	532,082
	Sommet Absc.	652+509.137 m			
	Sommet Alt.	532.238 m			
Pente 6	Pente	-0.14 %	1498,047	652+551.137	532,209
				654+049.184	530,112
Longueur totale de l'axe 15049.184 mètre(s)					

ANNEXE B

Coefficient de rugosité Ks

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

Canalisation circulaire 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 C

Classification du sol pour la plateforme :

Classification des sols (identification géotechnique)	Classe de qualité des sols
0.1 Sols organiques 0.2 Sols fins (comportant plus de 15 % de fines) foisonnés, humides et donc non compactables 0.3 Sols thixotropes (quick-clay par exemple) 0.4 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 organiques"	QS0
1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (sauf sols 0.2) 1.2 Roches très évolutives Par exemple : - Craies de ρd < 1,7 t/m3 et de friabilité forte - Marnes - Schistes altérés	QS1
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 altérés 1.5 Roches tendres Par exemple : Si micro deval en présence d'eau (MDE) > 40 et Los Angeles (LA) > 40	QS1*
2.1 Sols comportant de 5 à 15 % de fines 2.2 Sols comportant moins de 5 % de fines mais uniformes (CU ≤6) 2.3 Roches moyennement dures Par exemple : Si 25 < MDE≤ 40 et 30 < LA≤40	QS2**
3.1 Sols comportant moins de 5 % de fines 3.2 Roches dures Par exemple : Si MDE ≤ 25 et LA ≤ 30	QS3

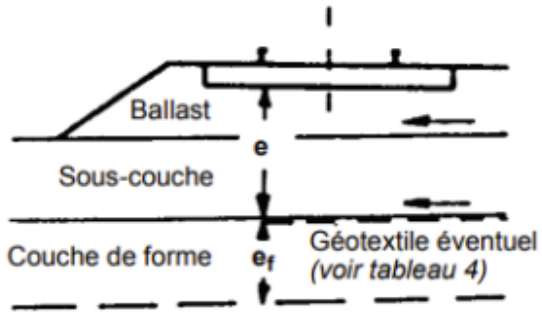
QS0 : Sols "impropres" à la réalisation d'une plateforme correcte et nécessitant certaines mesures confortatives, (remplacement du matériau sur une certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation de géotextiles, renforcement par pieux, etc.)

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.

ANNEXE D



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

(e en mètres)

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

Classe d'arase	Module EV2 (MPa)	Dénomination
AR0	<20	Sol impropre à toute utilisation en tant que sol support
AR1	>20-50	Sol de qualité « passable »
AR2	>50-120	Sol de qualité « bonne »
AR3	>120	Sol de qualité « très bonne »

ANNEXE E
Fuseau granulométrique pour ballast (NF F53-695)

Point singulier des fuseaux	Dimension des mailles carrées	Valeur du fuseau de contrôle
D max: 1,25 D	63	Passant 100%
D	50	85% ≤ passant à d ≤ 99%
Tamis intermédiaire	40 31,5	40% ≤ passant ≤ 74% 10% ≤ passant ≤ 35%
d	25	Passant ≤ 5%
d min : 0,63d	16	Passant ≤ 1%

Matériaux de zone inondable :

En zones inondables susceptibles d'être immergées temporairement, doivent être constituées de matériaux granulaires, peu sensible à l'eau conformément à la fiche N°7 de la norme ST590 avec VBS≤0.1, et les passants à 80µ≤5%. Les matériaux à utiliser doivent être composés par sols des classes CiB3, D3, R21, R22, R41 , R42 , R61,R62 , F31et F71 selon la classification GTR

Géotextile : Les caractéristiques des géotextiles à utiliser seront conformes aux recommandations établies par le Comité Français des Géo synthétique (CFGS-2012). Les conditions de mise en œuvre doivent être respectées

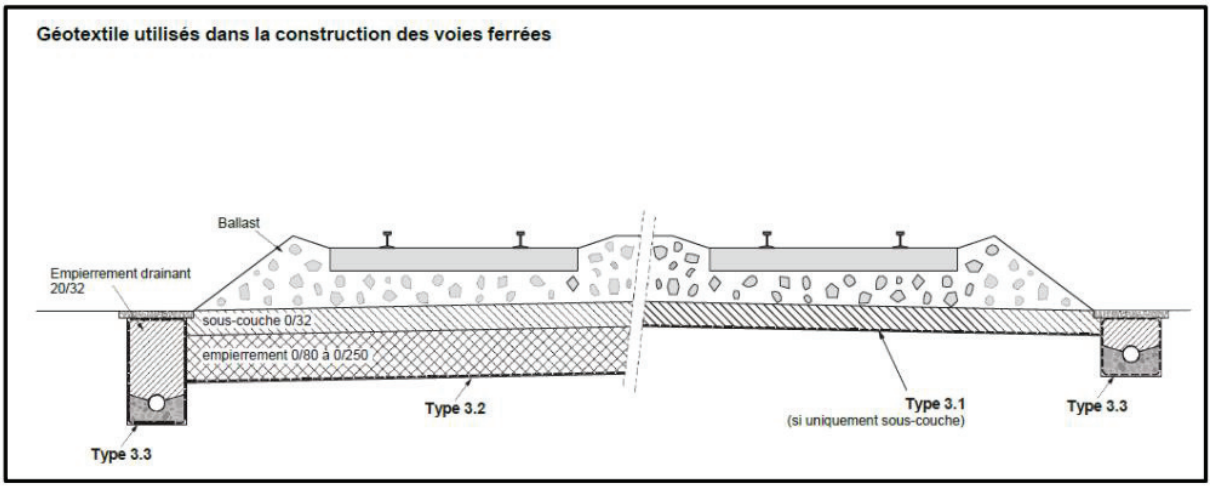


Figure : Positionnement dans la construction

Exigences normatives

Caractéristique	Méthode d'essai	Unités	Application Construction des voies ferrées – EN 13250		
			Sous la sous-couche (en empierrement 0/32)	Sous la substitution (en empierrement 0/80 jusqu'à 0/250)	Systèmes de drainage
		Fonction(s) principale(s) =>	Séparation	Séparation	Séparation et filtration
			Type 3.1	**Type 3.2**	**Type 3.3**
Résistance à la traction	EN ISO 10319	kN/m	≥ 20	≥ 25	≥ 10
Allongement de rupture	EN ISO 10319	%	≥ 20	≥ 20	≥ 10
Résistance à la perforation (statique)	EN ISO 12236	kN	≥ 2,25	≥ 4	≥ 1
Résistance à la perforation (dynamique)	EN ISO 13433	mm	≤ 17	≤ 11	≤ 27
Ouverture de filtration caractéristique	EN ISO 12956	µm	≤ 70	≤ 70	≤ 70
Perméabilité à l'eau	EN ISO 11058	10^{-3} m/s (= l/m².s)	≥ 16	≥ 34	≥ 34
Masse surfacique	EN ISO 9864	g/m²	≥ 300	≥ 300	≥ 200
Perméabilité à l'eau dans le plan	EN ISO 12958	m²/s	Information à donner seulement pour des combinaisons avec des systèmes de drainage. Comme prévu dans l'EN ISO 12958 les résultats (réduits à 20°C) seront donnés à une compression de 20, 100 et 200 kPa et à des gradients hydrauliques de 0,1 et 1,0. On n'impose pas de valeurs minimales.		