République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة

فرنسـيس جانســون

École Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Étude en APD de la nouvelle ligne minière ferroviaire BECHAR-GARA DJEBILET (TINDOUF) du PK935+000 au PK 950+000 avec conception de la gare de GARA DJEBILET

Présenté par :

Mlle DJIED djamila

Mlle DJABOUB Houda

Encadré par:

Mr. OUALI ADEL

Mr.BERRICHE YACINE

Promotion 2024 / 2025

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

Remerciements

Au premier lieu, nous tenons à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir aidé et donné la force et la volonté Patience pour réaliser ce travail.

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

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

Je remercie aussi tout le personnel de INFRAFER et SETIRAIL pour leur soutien et leurs remarques pendant toute la période du stage.

Nous tenons également à remercier tous les professionnels rencontrés au cours de ce projet pour leurs précieux échanges et leur collaboration, spécialement Elbrazzi Djilali

Nous souhaitons exprimer notre gratitude au service de scolarité DIB, en particulier à Mme MAKOUDI Imane, Mme BOUREBIA Mehdia,Mme.LOUNAS Sabrina, et Mme. KOBTANE Nassima et à tout le personnel de l'ENSTP.

Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents, qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de mes années d'études. À mes sœurs, SOUMIA et MARWA, ainsi qu'à mon frère SABRI et à ma tante, FOUZIA pour leur aide précieuse pendant cette période.

À ma chère compagne d'ingénierie, DJABOUB HOUDA,ma meilleure amie.

IDIRI LYNA pour tous les moments que nous avons vécus ensemble dans ce court Nos rires, nos pleurs, et les souvenirs que nous avons créés dans notre chambre de cité universitaire resteront gravés dans ma mémoire à jamais. Ta présence a été une source inestimable de réconfort et de joie.

À mes amies, LYNA, HOUDA ASSIA, KAHINA, pour les moments partagés, les rires et les discussions enrichissantes. Votre amitié a rendu ce voyage académique beaucoup plus agréable et mémorable.

Enfin, je dédie ce mémoire à moi-même, en reconnaissance de mes propres efforts et sacrifices. Que ce travail soit le reflet de ma détermination, de ma persévérance et du chemin parcouru pour atteindre cet objectif.

DJIED DJAMILA

Dédicace

Je tiens tout d'abord à remercier **Allah** le Tout-Puissant qui m'a guidé, protégé et donné la force d'arriver jusqu'ici. c'est grâce à Lui que j'ai surmonté toutes les difficultés et réussi ce travail.

Al Hamdulillah

Je dédie ce travail à **mes parents, Ghania et Houcine**, pour leur soutien constant, leur dévouement et leur confiance tout au long de mes études.

En particulier ma maman, pour son amour, sa patience et sa confiance, sans lesquels rien de tout cela n'aurait été possible

Je l'offre également **à mes sœurs Hadjer, Sara et Meriem**, qui ont été mes modèles, mes sources d'inspiration et mes alliées dans ce parcours.

Mes remerciements vont **à mon encadrant, M. Ouali Adel**, pour ses précieux conseils, son expérience, et son suivi attentif jusqu'à l'aboutissement de ce mémoire.

Je n'oublierai pas **l'administration**, en particulier Makodi Imane , Mahdia et Sabrina, nasima pour leur dévouement, leur patience et leur précieux soutien.

J'associe également **mes amis**, Imen, Assia, Djamila, Lyna, Maroua, Amira, Zozo, Kahina, rayane Djilali qui m'ont soutenue, encouragée et accompagnée tout au long de mes études.

Je dédie ce mémoire à Chames Eddine**,** qui m'a soutenue de toutes les manières possibles tout au long de mes 6 années d'études.

Il a été présent dans les moments de difficiles, m'a offert son soutien moral, son encouragement, et parfois même son aide concrète lorsque j'en avais besoin.

Sa patience, ses précieux conseils et son dévouement ont grandement contribué à la réussite de ce parcours.

J'en profite donc pour lui dire un grand merci, du fond du cœur, car sans lui, ce travail n'aurait pas eu la même manière

Merci à toutes et tous d'avoir été présents dans les moments importants de ce parcours.

DJABOUB HOUDA

ملخص

هذا المشروع يدرس التصميم التفصيلي لخط السكة الحديدية المنجميه الجديد الرابط بين منجم غار جبيلات تندوف وبشار مع تهيئة محطة غار جبيلات. المقطع المدروس يمتد من النقطة الكيلومترية 000+935ال 000+950 بطول 15 كلم. صمم هذا المشروع وفقا لمعايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية وتوصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكة الحديدية .

وتم تنفيذ النمذجة الهندسية للمشروع باستخدام برامج النمذجة الهندسية والحساب

CIVIL 3D, TALREN V6,AUTOCAD

الكلمات المفتاحية: سكة حديدية، المحطة.

RESUME

Le présent projet consiste essentiellement en étude (A.P.D) de la nouvelle ligne ferroviaire minière à voie unique reliant Tindouf à Béchar Le tronçon étudié prend son origine du PK 935+000 et prend fin au PK 950+000, sur un linéaire de 15 Km, sur lequel on prévoit la conception d'une gare de GARA DJEBILET (Tindouf)

Ce méga projet est un premièr en Algérie, il a été élaboré suivant les normes internationales 'UIC' (Union Internationale des chemins de fer), ainsi les recommandations Algériennes de la 'SNTF' (Société Nationale de Transport Ferroviaire). L'infrastructure a été dimensionné pour supporter une charge de 32.5 tonnes par essieu, La modélisation géométrique du projet a été exécutée à l'aide des logiciels :

CIVIL 3D, TALREN V6, AUTOCAD

Mots clés : Chemins de fer, Gare.

ABSTRACT

he present project mainly consists of the (APD) study of a new single-track mining railway line linking Tindouf to Béchar. The studied section starts from PK 935+000 and ends at PK 950+000, extending over a length of 15 km, and includes the design of GARA DJEBILET Station (Tindouf).

This mega project is a first in Algeria. It has been developed in conformity with international standards (UIC — International Union of Railways), as well as the Algerian recommendations of the SNTF (National Railway Transport Company). The infrastructure has been designed to support a loading of 32.5 tons per axle. The geometric modeling of the project has been carried out using the following software:

CIVIL 3D, TALREN V6, AUTOCAD

Key words: Railway, Station.

Sommaire

CHAPITRE I : GENERALITES 2

I.1 La voie feree 3

I.2 Superstructure 3

I.3 Les elements de voie 3

I.3.1 Le rail 3

I.3.2 Différents types de rails 3

I.3.3 Le LRS et le soudage des rails 5

I.3.4 Traverses 6

I.3.5 Le système d'attache 8

I.3.6 L'appareil de voie 8

I.4 Conclusion 9

CHAPITRE II : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE 10

II.1 Introduction 10

II.2 Modes de transport terrestre 10

II.2.1 Transport routier 10

II.2.2 Transport ferroviaire 10

II.3 Importance du chemin de fer par rapport le transport routier 10

II.4 Aspect écologique 11

II.5 Étude du transport du fer depuis Gara Djebilet vers Béchar 12

II.5.1 Transport par route (semi-remorques) 12

II.5.2 Les Avantages 12

II.5.3 Les Inconvénients 12

II.6 Transport ferroviaire – Une solution performante pour Gara Djebilet 12

II.7 Comparaison entre Camion ou Wagon de train pour transporter le fer 13

II.8 Conclusion 13

CHAPITRE III : PRESENTATION DE PROJET 14

III.1 Introduction 15

III.2 Description du projet 15

III.3 Présentation de tronçon 16
III.4 Situation géographique 16
III.4.1 Relief 16
III.4.2 Climat 17
III.4.3 Sismicité 17
III.5 Objectif du projet 17
III.6 Conclusion 17
CHAPITRE IV : PLAN DE TRANSPORT 18
IV.1 Introduction 19
IV.2 Besoins et objectifs de transport 19
IV.3 Données d'entrée 20
IV.4 Synthèse de l'étude de transport 21
IV.5 CONCLUSION 22
CHAPITRE V : ETUDE GEOMETRIQUE 23
V.1 Introduction 24
V.2 Trace en plan 24
V.3 Rappel des conditions et les règles a respecter dans le trace en plan 24
V.4 Les éléments du trace en plan 25
V.4.1 L'alignement 25
V.4.2 Arc de rayon 25
V.4.3 La courbe de raccordement 25
V.5 Paramètres géométrique du trace 26
V.5.1 Longueur minimum des éléments de tracé 26
a. Alignements droits 26
b. Courbes et Raccordement progressive 26
V.5.2 Rayon minimale 26
V.5.3 Dévers 27
V.6 Raccordements progressifs 31
V.7 Application au projet 31
V.8 Tableau récapitulatif des éléments de tracé en plan 33

V.9 Profil en long 34
V.9.1 Introduction 34
V.9.2 Définitions 34
V.9.3 Les règles à respecter dans le profil en long 34
V.9.4 Eléments de composition du profil en long 34
CHAPITRE VI : ETUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE 37
VI.1 Introduction 40
VI.2 Description générale 40
VI.3 Caractéristique climatique 40
VI.3.1 La Température 41
VI.3.2 Analyse des données pluviométriques : 41
VI.4 Etude hydrologique 43
VI.5 Réseaux hydrologiques 43
VI.6 Délimitation des bassins versants 44
VI.7 Les caractéristiques morphologiques des bassins versants 44
VI.8 Calcul hydraulique 47
VI.8.1 Temps de concentration « Tc » 47
VI.8.1 Coefficient de ruissellement 47
VI.8.2 Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) 49
VI.9 Application au projet 51
VI.9.1 Calcul du temps de concentration Tc 51
VI.9.2 Calcul des débits de projet par les différentes méthodes 51
VI.10 Etude hydraulique 57
VI.10.1 Types d'ouvrages transversaux 57
VI.10.2 Types d'ouvrages longitudinaux 57
VI.10.3 Ouvrages de raccordement 58
VI.11 Dimensionnement des ouvrages transversaux 58
VI.11.1 Critères à respecter pour le dimensionnement de l'ouvrage 60
VI.11.2 Calcul du débit de saturation 61
VI.11.3 Vérification des condition auto curage 61

VI.12 Dimensionnement des ouvrages de drainage transversal 61
VI.12.1 Dimensionnement des buses 62
VI.12.2 Exemple de dimensionnement de Dalot : 63
VI.13 Dimensionnement des ouvrages longitudinaux 68
VI.13.1 Dimensionnement des ouvrages longitudinaux (Les fossés) 68
VI.14 Conclusion 70
CHAPITRE VII : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE 71
VII.1 Introduction 73
VII.2 Etude géologique 73
VII.2.1 Situation géographique 73
VII.2.2 Formes géomorphologiques 74
VII.2.3 Cadre géologique 74
VII.2.4 Litho stratigraphie 75
VII.2.5 Sectorisation géologique 77
VII.2.6 Risques géologiques 77
VII.3 Etude géotechnique 78
VII.3.1 Plate-forme 79
VII.3.2 Programme d'essais 83
- Puits de reconnaissances creusés jusqu'à une profondeur de 4 m. 83
- Des essais de laboratoires. 83
VII.3.3 Sondages réalisés 83
VII.3.4 Essai in-situ 84
VII.3.5 Essais laboratoire 85
VII.3.6 La lithologie de terrain 89
VII.3.7 Utilisation des matériaux pour le remblai 89
VII.3.8 Dimensionnement de la couche d'assise ferroviaire 90
VII.3.9 Couches d'assise 90
VII.3.10 Sous-couche 92
- Une couche sous-ballast 92
VII.3.11 La plateforme ferroviaire 93

VII.4 Dimensionnement des couches d'assise 93
- Plate- Forme Proposée 93
VII.4.1 Calcul de l'épaisseur du ballast 94
VII.4.2 Calcul épaisseur minimal de couches d'assise 94
CHAPITRE VIII :TERASSEMENT ET OUVRAGE 96
VIII.1 Introduction 97
VIII.2 Les terrassements 97
VIII.3 Objectifs et enjeux des terrassements 97
VIII.4 Stabilité de remblais 98
VIII.5 Stabilité des Déblais 99
VIII.6 Vérification de la Stabilité des déblais : 100
VIII.7 Protection des talus 101
VIII.8 Les bermes 101
VIII.9 Profil en travers de notre projet d'étude 102
VIII.10 Les Ouvrages d'art 102
VIII.10.1 Influence sur le choix des ouvrages 102
VIII.10.2 Le croisement route-rail 103
-Passage supérieur 103
-Passage à niveau 103
VIII.10.3 Les ouvrages hydrauliques 103
VIII.11 Les ouvrages d'art du projet 103
VIII.11.1 Rétablissement routier 103
VIII.12 Calcul des cubatures 104
VIII.13 Conclusion 104
CHAPITRE IX :CONCEPTION ET AMENAGEMENT DE LA GARE 105
IX.1 Introduction 105
IX.2 Type de gare 105
IX.3 Étude du plan de masse de la gare 105
IX.4 Aménagement de la gare 106
IX.4.1 Installation d'une gare à voyageur 106

IX.4.2 Schéma de principe de la gare 106
IX.4.3 Plan de voie de la gare 107
IX.5 Caractéristiques géométriques des gares 110
IX.5.1 Déclivité dans les gares 110
IX.5.2 Quai 110
- Application sur notre projet 112
CHAPITRE X : SIGNIALISATION FERROVIAIRE 113
X.1 Introduction 113
X.2 Spécificités du tronçon pk 935 – pk 950 113
X.3 Système de signalisation proposé 113
X.4 Dispositifs installés dans le tronçon 113
X.5 Objectifs et bénéfices du système 113
XI.2. SIGNALISATION LUMINEUSE : 114
XI.3. SIGNALISATION MECANIQUE : 114
X.6 Rôle des installations de signalisation 114
X.7 Fonctions des signaux 114
X.8 Implantation des signaux 114
X.9 Principaux signaux ferroviaire et leurs indications 115
X.10 Cantonnement 115
X.11 Le principe du système ERTMS 116
X.12 CONCLUSION 117
CHAPITRE XI :ÉTUDE D'IMPACT SURL'ENVIRONNEMENT 118
XI.1 Introduction 118
XI.2 L'importance d'étude d'impact sur l'environnement 118
XI.3 Description du milieu 118
XI.3.1 L'environnement physique 118
XI.3.2 L'environnement biologique 119
XI.4 Environnement socio-économique 119
XI.4.1 Démographie 119
XI.4.2 L'agriculture 119

XI.4.3 Economie 119
XI.5 Infrastructures de transport 119
XI.5.1 Le réseau routier.....119
XI.5.2 Réseaux Aéroportuaires 120
XI.6 Analyse des impacts directes et indirectes du projet sur l'environnement 120
XI.6.1 Impacts de la phase de réalisation.....120
XI.6.2 Impacts positifs de la phase d'exploitation 121
XI.7 Mesures de compensation des impacts environnementaux.....121
XI.7.1 Mesures d'atténuation 121
XI.8 Conclusion 122
CHAPITRE XII :DEVIS QUANTITATIET ESTIMATIF.....123
XII.1 : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF 127
XII.1.1 Devis quantitatif et estimatif.....127
CONCLUSION GENERALE …… ……124

Liste des figures

Figure I-1 : Rails vignole 4
Figure I-2 :La soudure aluminothermique 5
Figure I-3 : Traverse en bois 6
Figure I-4 : Traverse en béton 7
Figure I-5: Traverse bibloc 7
Figure I-6 : : Traverse monobloc 7
Figure I-7 : Les branchements. 8
Figure II-1 : Répartition des émissions mondiales des GES par mode de transport (source: ... 11
Figure III-1 : La ligne ferroviaire GARA DJEBILET(Tindouf)-Béchar -Arzew 15
Figure III-2 Localisation de la Wilaya de TINDOUF 16
Figure III-3 carte zonage sismique de l'Algérie 17
Figure 0-1 : les éléments du tracé en plan 25
Figure 0-2: Schéma du dévers 27
Figure 0-3 : Distribution du dévers entre voies pour trafics voyageurs et marchandises 30
Figure VI-1 :Réseau hydrographique de la wilaya de Tindouf 40
Figure VI-2 : Ajustement statique a la loi de Gumbel 43
Figure VI-3 : Carte représentant les bassins versant de notre zone 44
Figure VI-4 : Ouvrage hydraulique buse 62
Figure VI-5 : Ouvrage hydraulique dalot 63
Figure VI-6 : Le faussé trapézoïdal type 01 68
Figure VII-1 : Situation du projet Béchar – Tindouf le PK 935+000 au PK 950+000. 73
Figure VII-2 : : Cadre géologique général le PK 800+000 au PK 950+000 75
Figure VII-3 : différentes caractéristiques de sol de la région de Tindouf 76
Figure VII-4: Tracé du projet Béchar – Tindouf sur carte géologique 77
Figure VII-5 : Tronçon caractérisé par le risque de présence de sable pou 78
Figure VII-6 : Dimensionnement des couches d'assise 95
Figure VIII-1 : Vérification de la stabilité de remblai avec une pente de 2H/1V 99
Figure VIII-2: Vérification de la stabilité de déblai de hauteur 7m avec une pente de 2H/1V100

Figure VIII-3 : Vérification de la stabilité de déblai avec une pente de 2H/1V..... 101
Figure IX-1 : schéma illustratif de gare de gara Djebilet..... 107
Figure IX-2:Schéma illustratif du garage franc..... 109
Figure IX-3 : Heurtoir de sécurité..... 109
Figure IX-4: Schéma illustrative de la longueur utile..... 110
Figure IX-5: La hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie..... 111
Figure IX-6 : Schéma illustratif de la distance entre le quai et l'entraxe de la voie..... 111

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Analyse comparative des modes de transport terrestre pour le minerai de fer.....13

Tableau III.1 : Caractéristiques générales de la région d'étude 16

Tableau V.1: Valeurs limites des longueurs minimales des éléments du tracé (SNTF) 26

Tableau V.2: Valeurs limites des longueurs minimales des éléments du tracé (SNTF) 26

Tableau V.3: Valeurs limites du dévers 28

Tableau V.4: Valeurs limites de la variation du devers (SNTF).....29

Tableau V.5 : : Valeurs limites de la variation du devers (SNTF).....29

Tableau V.6 : : Valeurs limites de l'Insuffisance du devers (SNTF).....29

Tableau V.7: Valeurs limites de la variation de l'insuffisance du devers (SNTF). 30

Tableau V.8: Valeurs limites de l'excès du devers (SNTF).....30

Tableau V.9: valeurs recommander par SNTF et la fiche UIC 703.....31

Tableau V.10: Tableau des paramètres du tracé pour le raccordement d'inflexion.....33

Tableau V.11: Longueur minimale des déclivités selon référentiel technique de SNTF.....34

Tableau V.12: Valeurs de Rayon vertical minimale selon référentiel technique de SNTF 35

Tableau V.13 : Valeurs des paramètres de profil en long 36

Tableau VI.1 : Températures moyenne mensuelles de Tindouf (1992-2020).....41

Tableau VI.2: Estimation des pluies annuelle pour des périodes de retour données 42

Tableau VI.3: Pluies maximales journalières.....42

Tableau VI.4 : Valeur du paramètre de Montana pour les différentes périodes de retour 43

Tableau VI.5: Les caractéristiques des bassins versant.....45

Tableau VI.6 : Le Temps de concentration calculé en 3 méthode 52

Tableau VI.7 : Le Débit max des écoulement q des période de retours 10 ans et 100 ans 54

Tableau VI.8 : Liste des ouvrage pré dimensionnés 59

Tableau VI.9 : Dimensionnement des buses 65

Tableau VI.10 : Dimensionnement des dalot.....67

Tableau VI.11 : Débit des remblai et déblais 69

Tableau VI.12 :Dimension du faussé adopté type 01.....70

Tableau VII.1 : Programme géotechnique des sections en déblais 79
Tableau VII.2 : Programme géotechnique des sections en remblais 81
Tableau VII.3 : Programme géotechnique des sections en Lot ouvrage d'art 83
Tableau VII.4 :Résultats d'essai SPT 84
Tableau VII.5 : Résultats d'essai PDL 84
Tableau VII.6 : Résultats des essais physiques des puits de reconnaissance 86
Tableau VII.7 : Résultats d'essais chimique 88
Tableau VII.8 : La lithologie de terrain 89
Tableau VII.9: Gites utilisés sur chantier 90
Tableau VII.10 : Exigences de fabrication de ballast 91
Tableau VII.11 : La classe la portance de la plate-forme 93
Tableau VII.12: Epaisseurs et matériaux de couche d'assise de la plateforme 95
Tableau VIII.1 : Synthèse des résultats de stabilité en remblai 98
Tableau VIII.2 : Synthèse des résultats de stabilité en déblai 100
Tableau VIII.3 : Récapitulatif des volumes des couches d'assise et couche de forme 104
Tableau VIII.4 :Récapitulatif des volumes de terrassement 104
Tableau IX.1 : Les longueurs minimales de l'appareil de voie. 108
Tableau IX.2: Les longueurs des voies utiles de la gare. 110
Tableau IX.4 : Tableau récapitulatif sur les quais. 112

Liste des symboles

Symbole	Désignation	Unité
Lmin	Longueur minimale des alignements et des pleines courbes	m
R min	Rayon minimum de l'alignement circulaire	m
dth	Dévers théorique	mm
dp	Devers pratique	mm
dmax	Dévers maximum	mm
E	Excès de dévers	mm
I	Insuffisance de dévers	mm
$\frac{\Delta d}{\Delta t}$	Variation de dévers en fonction du temps	mm/s
$\frac{dI}{dt}$	Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps	mm/s
$\frac{dd}{dl}$	Variation de dévers en fonction de la longueur	mm/m
A	Paramètre de la clothoïde	m
C	Coefficient de dévers	-
a_v	Accélération centrifuge verticale	m/s2
Rv min	Rayon vertical minimum	m
p	Déclivité Pente	-
GF	Garage franc.	m
Lu	Longueur utile	m
W_P	Limite de plasticité	-
W_L	Limite de liquidité	-
I_P	Indice de plasticité	-
γ h	Poids volumique humide	t/m3

γ d	Poids volumique sec	t/m^3
γ opt	Poids volumique optimum	t/m^3
ES	Equivalent de sable	-
Wn	Teneur en eau naturel	-
ωopt	Teneur en eau optimum	-
ϕ	Angle de frottement	°
C	Cohésion du sol	Bars
Sr	Degré de saturation	-
Rc	Résistance à la compression	Bars
Caco3	Carbonate de calcium	-
So4	Sulfate	-
Insolub	Pourcentage insoluble	-
T	Période de retour	ans
tc	Temps de concentration	h
V	Vitesse d'écoulement	m/s
Su	Section mouillée	m^2
Pu	Périmètre mouillé	m
Rh	Rayon Hydraulique	m
P max,j	Pluies maximales journalières	mm
i	L'intensité de pluie	mm/h
I	La pente moyenne	m/m
Kc	L'indice de compacité de GRAVELIUS	-
K_{St}	Coefficient de rugosité	-
Cr	Coefficient de ruissellement	-
Q	Débit de crue	m^3/s
Qps	Débit a plein section	m^3/s
Qa	Débit d'apport	m^3/s

Abréviations

SNTF : Société Nationale des Transports Ferroviaires.

ANESRIF : Agence Nationale des Etudes et Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires.

SETIRAIL : Société d'Etudes Techniques et de l'Ingénierie du RAIL.

UIC : Union Internationale des Chemins de fer.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

ONM : l'Office National de la Météorologie.

COV : composés organique volatils

APD : Avant-Projet Détaillé

Pk : Point kilométrique

FSR : Face supérieure de roulement

ATR : Arrêt Train Régional

ETRMS : Européen Railways Traffic Management

ADV : Appareils devoie

PGC : point de gare de croisement

GF : Garage franc.

VP : Voie principale.

RN : Route nationale.

PS : Passage supérieur

PST : Partie supérieure du terrassement

GTR : Guide technique « Réalisation des remblais et des couches de forme

QSi : Classe du sol selon UI

LA : Essai Los Angelos

MDE : Essai Micro – deval.

CBR : Essai de CBR

BV : Bassin versant

RPOA : Règlement Parasismique des Ouvrages d'Art.

TN : Terrain Naturel.

IDF : Intensité - Durée – Fréquence.

EN : Normes Européennes.

NF : Normes Française.

NA : Norme Algérienne

Qps : Débit pleine section.

VPs : Vtesse pleine section.

H/V : Horizontal / Vertical.

VBS : Essai bleu de méthylène.

PU : Puit de reconnaissance.

SC : Sondage Carotté.

PT : Essai de Pénétration Standard.

B.V : Bâtiment Voyageurs.

Lu : Longueur Utile.

MT : moyenne tension

HT : haute tension

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

En Algérie, les secteurs des transports connaissent une véritable mutation. Un grand nombre de projets ont été réalisés ou sont en phase de réalisation, afin de rendre ces secteurs plus performants et plus efficaces dans ces contributions dans le développement économique du pays.

Parmi ces secteurs, on trouve le secteur du transport ferroviaire qui a connu un développement remarquable dans les dernières années. Le réseau des chemins de fer algérien est aujourd'hui parmi les plus modernes d'Afrique.

Il fait son apparition à la fin du XIXe siècle, il sert au transport de personnes et de marchandises, aussi pour but de désenclaver les régions éloignées du pays et d'assurer une croissance économique et sociale équilibrée.

Dans le but d'exploiter le minerai de fer de cette mine, les autorités algériennes ont décidé de réaliser cette ligne de 950km reliant Béchar à Gara Djebilet pour acheminer ce minerai de fer de Gara Djebilet vers le port d'Arzew,

Notre étude est limitée sur un tronçon de 15km entre le PK 935+000 et 950+000 avec la conception et l'aménagement de la gare de GARA DJEBILET.

Il est à souligner que l'Agence Nationale d'Étude et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (ANESRIF) est chargé de garantir la supervision de la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire Béchar-Tindouf-GARA DJEBILET.

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

- Généralités sur la voie ferrée ;
- Recherche bibliographique ;
- Présentation du projet ;
- Etude géométrique, Hydrologique et Hydraulique, Géologique et Géotechnique ;
- Dimensionnement de la couche d'assise ;
- Terrassements et profil en travers type,
- Conception, aménagement de la gare ;
- Signalisation ferroviaire ;
- Étude d'impact environnemental
- Estimation des coûts du projet.

CHAPITRE I : GENERALITES

I.1 La voie feree

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

I.2 Superstructure

La superstructure de la voie ferroviaire est conçue pour supporter divers types de contraintes, notamment verticales, transversales et longitudinales. Pour ce faire, elle est composée de deux files de barres en acier appelées "rails", dont l'inclinaison et l'écartement sont maintenus par des "traverses". Ces traverses sont disposées le long de la voie et reposent sur une couche de ballast. Les rails sont solidement fixés aux traverses à l'aide d'attaches. De plus, pour permettre les changements de direction et les jonctions entre les voies, des "appareils de voie" sont introduits.

Le but de ce chapitre est d'apporter au lecteur des notions simples mais indispensables de ce qui est la voie ferrée et ses composantes.

I.3 Les éléments de la voie ferrée :

I.3.1 Le rail

Le rail est en effet l'élément clé de la voie ferrée, assurant à la fois le roulement et le guidage des trains. Sa caractéristique principale est son poids par mètre linéaire, qui détermine sa résistance et sa capacité à supporter les charges.

Concernant leurs dimensions, les rails ont généralement une longueur standard de 18 mètres ou 36 mètres.

Ils sont caractérisés par :

- Leur profil
- La nuance d'acier qui les

I.3.2 Différents types de rails

- **Rail DC (double champignon)**

Le rail à double champignon est un type de rail caractérisé par sa forme symétrique comportant un champignon supérieur et un champignon inférieur. À l'origine, ses concepteurs pensaient qu'il pourrait être retourné après l'usure du champignon supérieur, mais cette possibilité s'est avérée infructueuse en raison de l'encochage rapide du rail dans les coussinets qui le supportent.

Actuellement, le rail à double champignon n'est plus utilisé dans les nouvelles installations.

- **Rail Vignole**

Le rail moderne est généralement du type « Vignole » dans une section transversale, on distingue le patin qui s'appuie sur la traverse, le champignon qui constitue le chemin de roulement, et l'âme, filet vertical qui relie le champignon au patin.

✓ **Pour notre projet Le rail utilisé est du type 60 E1 (60,21 kg/m).**

Les caractéristiques de ces rails utilisés dans le projet de Bechar -gara Djebilet seront les suivantes :

- Géométrie : Rail -60E 1
- Surface de la section : 76.70 cm^2
- Moment d'inertie (Axe X – X) :

  3038,3 cm^4
- Module d'Inertie champignon :

  333.6 cm^3
- Module d'inertie patin : 375.5 cm3
- Moment d'inertie (Axe- Y-Y) :

  512,3 cm^4
- Dimension indicative A : 20.456 mm
- Dimension indicative B : 52.053 mm
- Dressage : classe A
- Nuance : 260 (carbone-manganèse)
- Propriétés mécaniques selon la norme EN 13674-1

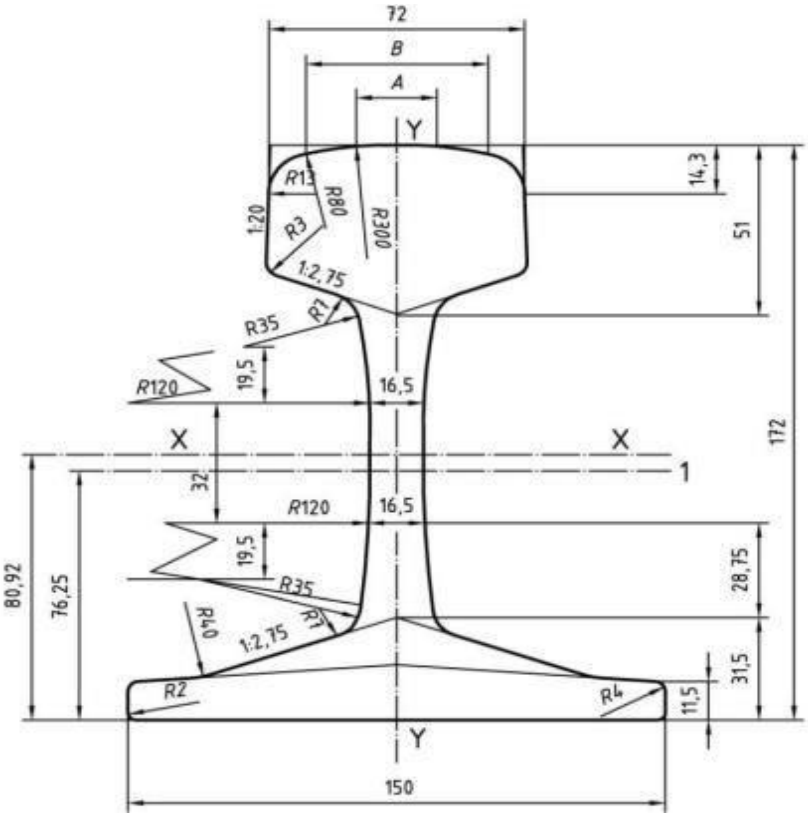


Figure I-1 : Rails vignole

- Dureté au milieu de la table de roulement entre 260 et 300 HBW,
- Résistance à la traction ≥ 880 N/mm2 et Allongement ≥ 10%.
- Longueur minimum des barres élémentaires : 18 m.
- Barres élémentaires soudées électriquement en atelier en barre continue de longueur ≥ 288m et soudure aluminothermique en voie.

I.3.3 Le LRS et le soudage des rails

- **LRS**

Les LRS (longs rails soudés) sont largement utilisés sur les réseaux ferroviaires dans le monde parce qu'ils présentent des avantages importants, la fiche code UIC 774-3R et UIC 720, est un document qui fournit les directives pour la pose et l'utilisation de LRS sur la voie ballastée ainsi que les méthodes d'inspection et les critères de sécurité.

La longueur d'un rail est en général de 18m ou de 36 m. La longueur de rail livré au site varie selon la méthode de transport (le moyen de transport disponible). Lorsque le rail est transporté et stocké sur site, le soudage des rails est nécessaire afin de former les longs rails soudés (LRS). La longueur de rail soudé en voie doit être la plus longue possible. Elle peut varier pour tenir compte des règles qui concernent les points particuliers de la voie, (ex les ouvrages d'art) sa fixation, la maintenance, la condition de surveillance ainsi que les influences de la température et les paramètres du matériel roulant.

- **Les techniques de Soudage**

1. **La soudure aluminothermique**

Constitue la dernière étape permettant de réaliser une voie continue à partir des LRS (longues barres soudées) électriquement. Le procédé est simple de mise en œuvre, exige peu de personnel, mais du personnel qualifié. Il permet une remise en service provisoire ne ralentissant les circulations que peu de temps après son exécution, ceci étant particulièrement apprécié dans le cas de soudage de coupons de réparation.

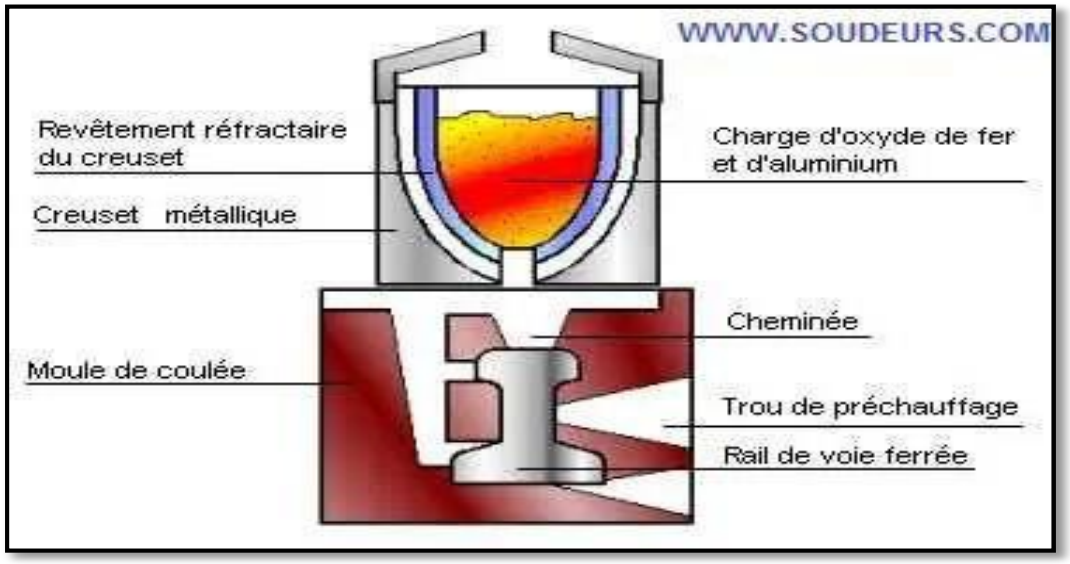


Figure I-2 :La soudure aluminothermique

2. **La soudure électrique**

Le soudage électrique également connu sous le nom de soudage à l'arc électrique, est une méthode largement utilisée pour assembler les rails de chemin de fer permet de créer des joints solides et durables entre les rails, assurant ainsi la stabilité et la sécurité des voies. Cette technique est largement utilisée dans l'Algérie et la maintenance des réseaux ferroviaires à travers le monde.

NB : Les joints de rail sont utilisés seulement dans les gares ou dans les rayons de courbe horizontale qui ne sont pas compatibles avec l'exigence d'installation de LRS reformulation

I.3.4 Traverses

Les traverses sont essentielles pour soutenir la voie ferrée, transmettre les charges au ballast et maintenir l'écartement entre les rails. Elles remplissent plusieurs rôles comme la transmission des charges au ballast, le maintien de l'écartement des rails et le maintien de l'inclinaison spécifique des rails de type Vignole, généralement de 1/20.

Il existe plusieurs types de traverses, notamment :

I.3.4.1 Traverse en bois

Traditionnellement utilisées mais souvent remplacées par des traverses en béton pour des raisons de durabilité. Mais elles sont faciles à mettre en œuvre.



Figure I-3 : Traverse en bois

I.3.4.2 Traverse en béton

Les traverses en béton, du fait de leur poids considérable, assurent une excellente ancre pour la voie ferroviaire dans le ballast. Elles sont spécialement privilégiées pour les nouvelles lignes à grande vitesse, où la stabilité et la résistance sont élevés. Pour fixer les rails sur ces traverses, on utilise des attaches élastiques équipées de dispositifs isolants en caoutchouc.



Figure I-4 : Traverse en béton

Il existe deux principaux types de traverses en béton :

1. **Les traverses bibloc :** Constituées de deux parties distinctes qui sont reliés par une entretoise métallique, qui absorbe les efforts en milieu de traverse généralement reliées entre elles sur le chantier.



Figure I-5: Traverse bi-bloc

2. **Les traverses monobloc**

Sont fabriquées d'une seule pièce, offrant ainsi une unité structurelle continue ainsi elle offre une meilleure résistance à la flexion que la traverse bibloc et une meilleure répartition des charges verticales (pas de poinçonnages).



Figure I-6 : : Traverse monobloc

I.3.5 Le système d'attache

Le système d'attache est la partie qui transmet les charges entre le rail et les traverses et qui maintient l'écartement. Le système de fixation du rail appliqué sur ce projet se confirme à la norme EN13481-2 (système de fixation des traverses en béton). Plusieurs types et techniques d'attache sont disponibles sur le marché. Mais l'attache élastique est recommandée selon l'exigence du type de traverse en béton armé ainsi que pour la pose en LRS. Il sera employé des attaches élastiques, de telle façon à former un intermédiaire élastique entre rail et traverse. Le système recommandé est une attache à lame de type Vossloh W30 H.H.



Figure I-7 : système d'attache Vossloh W30 H.H.

I.3.6 L'appareil de voie

Un appareil de voie est un équipement essentiel pour permettre aux trains de changer de voie. Les appareils de voie se présentent sous deux formes principales : les branchements et les traversées, Le type de l'appareil est désigné par la valeur de la tangente d'implantation exprimée sous la

Forme décimale, et ce dernier se compose de trois parties : l'aiguillage, la partie intermédiaire et la partie cœur (croisement)

Il existe deux catégories d'appareils de voie :

- Les branchements.
- Les traversées.



Figure I-8 : Les branchements.

I.3.6.1 Le branchement : un branchement est le changement d'itinéraire le plus simple.

Les branchements sont comme des carrefours où les trains peuvent emprunter différents itinéraires à partir d'une même branche commune.

I.3.6.2 La Traversée

La traversée est un dispositif ferroviaire qui permet aux trains de circuler sur des voies qui se croisent. C'est comme une intersection pour les trains, où ils peuvent changer de direction et continuer leur route. Cela permet aux trains de passer d'une voie à une autre en toute sécurité et en évitant les collisions.

I.4 Conclusion

La superstructure de Notre projet « **TINDOUF-GARA DJEBILET** » se compose de rails UIC-60 E1 et de traverses en monobloc sur le ballast. Du côté droit de la voie (dans le sens du kilométrage), une bande latérale est prévue pour l'installation d'une conduite de câble pour les télécommunications. Le Bon choix des éléments garantis la sécurité et la durabilité de voie.

:

CHAPITRE II : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

II.1 Introduction

Les modes de transport terrestre englobent plusieurs moyens permettant le déplacement de personnes et de marchandises sur le champ terrestre. Voici une description détaillée de ces modes.

II.2 Modes de transport terrestre

II.2.1 Transport routier

Description : Ce mode utilise des véhicules comme les camions, voitures, bus pour transporter des marchandises ou des personnes. Il est très répandu en raison de sa flexibilité et de la facilité de chargement/déchargement des marchandises.

- **Avantages** : Rapide, économique pour les trajets courts, et offre un service porte-à-porte.
- **Inconvénients** : Émissions de gaz à effet de serre, risque d'accidents, et congestion routière

II.2.2 Transport ferroviaire

Le chemin de fer ou transport ferroviaire est un mode de transport guidé caractérisé par une infrastructure spécialisée composée de deux rails parallèles permettant la circulation des trains, tramways, tram, et métros. Utilisé pour le déplacement de personnes et de marchandises, il constitue, avec les modes routiers, fluvial et aérien, l'un des principaux moyens de transport modernes.

Son usage se répand ensuite au monde entier tant pour le trafic de voyageurs que pour le commerce.

Utilise des trains pour transporter des marchandises ou des personnes sur de longues distances. Il est souvent préféré pour son faible impact environnemental.

- **Avantages** : Grande capacité de transport, horaires fixes, et faible émission de CO2.
- **Inconvénients** : Peut-être plus lent que d'autres modes, nécessite souvent un transport supplémentaire à la fin du voyage.

II.3 Importance du chemin de fer par rapport le transport routier

Le transport ferroviaire possède un impact indéniable sur la croissance économique des régions. Il est le complément essentiel aux autres modes de transport, Le transport ferroviaire est :

- Le transport de marchandises lourdes (minerai de fer, phosphate…)
- Soutenir les projets industriels (comme Gara Djebilet).
- Améliorer la mobilité urbaine et interurbaine.
- Réduire la pression sur les routes nationales saturées.
- Peu polluant, plus sûr.

- Plus économique en termes d'énergie. Il s'intègre parfaitement dans l'environnement il joue un rôle indiscutable dans l'aménagement du territoire et le désenclavement des zones déshéritées.
- Le chemin de fer joue un rôle essentiel dans les domaines économiques et militaires et améliore considérablement les déplacements.

Dans la compétition des divers moyens de transport le chemin de fer garde des atouts nombreux et importants et notamment ceux relatifs à :

- La régularité et la ponctualité.
- La rapidité, le confort et sécurité.

Il est également reconnu que pour le transport de masse et le transport des pondéreux, le chemin de fer est un moyen de transport économique et quasi idéal, un train céréalier complet de 10 wagons (charge utile=600T) équivaut à 30 semi-remorques. A Cela vient s'ajouter la préoccupation de l'environnement liée à :

- La congestion (routière, autoroutière).
- La pollution (émission de CO2 à effet de serre).
- Aux dommages corporels et matériels (coûts économique élevés des accidents de la route).
- En outre le transport des marchandises dangereuses avec toutes les conséquences qu'il implique par route et par voie aérienne trouve dans le rail un mode plus approprié.

II.4 Aspect écologique

En raison de ces faibles émissions de GES (Gaz à effet de serre) dans l'atmosphère, le transport ferroviaire est considéré comme le moyen de transport le moins polluant.

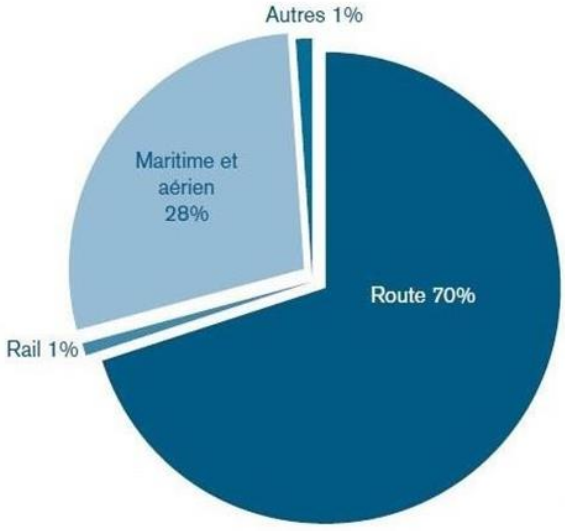


Figure II-1 : Répartition des émissions mondiales des GES par mode de transport

(source:EUROSTAT)

II.5 Étude du transport du minerai de fer depuis Gara Djebilet vers Béchar :

Dans le cadre de notre projet visant à exploiter le gisement de fer de Gara Djebilet, situé dans la région de Tindouf, une étape essentielle concerne le transport du minerai vers le complexe de transformation de minerai de fer de Béchar, où il pourra être stocké, transformé ou transféré vers d'autres destinations industrielles ou portuaires

Deux solutions de transport ont été adoptées :

II.5.1 Transport par route (camions)

Cette option consiste à utiliser en première phase de l'exploitation du gisement de gara Djebilet par des camions équipés de semi-remorques pour assurer le transport du minerai de fer sur la distance entre Gara Djebilet à Béchar (environ 1000 km) jusqu'à la réception de la ligne de chemin de fer entre Béchar et GARA Djebilet.

II.5.2 Les Avantages

- Flexibilité : le transport routier peut être mis en place rapidement, sans attendre des travaux d'infrastructure lourds.
- Porte-à-porte : les camions peuvent accéder directement aux zones d'exploitation et de stockage.

II.5.3 Les Inconvénients

- Capacité limitée : chaque camion ne peut transporter qu'environ 25 à 30 tonnes de minerai, ce qui implique des centaines de trajets quotidiens pour un volume important.
- Coût élevé sur le long terme : le carburant, l'usure des véhicules, les frais de main-d'œuvre et d'entretien des routes rendent cette solution coûteuse.
- Impact environnemental négatif : émission importante de gaz polluants, poussière, bruit.
- Dégradation des routes : circulation massive de camions lourds provoquant l'usure rapide des infrastructures routières.
- Risque d'accidents élevé sur des routes parfois mal entretenues et sur de longues distances.

II.6 Transport ferroviaire – Une solution performante pour Gara Djebilet

Le transport du minerai de fer par wagon de train représente une solution stratégique et hautement efficace pour relier le site minier de Gara Djebilet à la ville de Béchar Avec une capacité estimée à 140 000 tonnes par jour, ce mode de transport permettrait :

- De réduire considérablement le nombre de trajets nécessaires (par comparaison, il faudrait environ 5 600 camions de 25 tonnes pour transporter le même volume).
- D'assurer une logistique fluide, stable et continue entre le site d'exploitation et les centres de transformation ou d'exportation.
- D'industrialiser le transport, en créant un flux constant de minerai sans interruption.

Cette performance s'explique par :

- Le nombre élevé de wagons par convoi (souvent 30 à 50 wagons ou plus),
- La possibilité de faire plusieurs rotations par jour

II.7 Comparaison entre Camion ou Wagon de train pour transporter le fer

Tableau II.1 : Analyse comparative des modes de transport terrestre pour le minerai de fer

Critère	Camion	Wagon de train
Capacité de transport	Faible : 25 à 30 tonnes par camion	Élevée : de 80 à 105 tonnes par wagon
volume total par convoi	Limité à un seul camion	Un train peut tirer 100 à 180 wagons (10000 à 15000 t)
Coût par tonne- kilomètre	Élevé à long terme	Plus économique pour les longues distances
Pollution	Élevée (diesel, CO_2, particules)	Faible (surtout si le train est électrique)
Sécurité	Risque élevé d'accidents sur route	Risque très faible sur rails
Temps de chargement/déchargement	Rapide sur courtes distances	Plus long, mais compensé par la masse transportée

II.8 Conclusion

Le transport ferroviaire est plus adapté aux longues distances et au transport de grandes quantités, avec un meilleur rendement économique et écologique sur le long terme avec une telle capacité de 142850 tonnes/jour.

CHAPITRE III : PRESENTATION DE PROJET

III.1 Introduction

Le développement du chemin de fer, du pays symbole de désenclavement, passe principalement par la modernisation et l'extension du réseau ferroviaire.

L'Algérie, en pleine transformation, mise sur la modernisation de son réseau ferroviaire pour soutenir sa croissance économique. À cet effet, le gouvernement a lancé un ambitieux programme de développement du secteur.

Dans le secteur des transports, le projet du chemin de fer Béchar-Gara Djbilet (Tindouf) est considéré comme l'un des projets majeurs qui favoriseront la reprise de la mobilité économique dans le sud.

III.2 Description du projet

Dans le but d'exploiter le minerai de fer de cette mine, les autorités algériennes ont décidé de réaliser cette ligne de 950km reliant Béchar à Gara Djebilet pour transférer ce minerai de fer de Gara Djebilet vers le port d'Arzew, sachant que la ligne Arzew / Béchar existe depuis l'ère coloniale, jouant un rôle stratégique dans l'exportation vers les marchés internationaux.

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

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

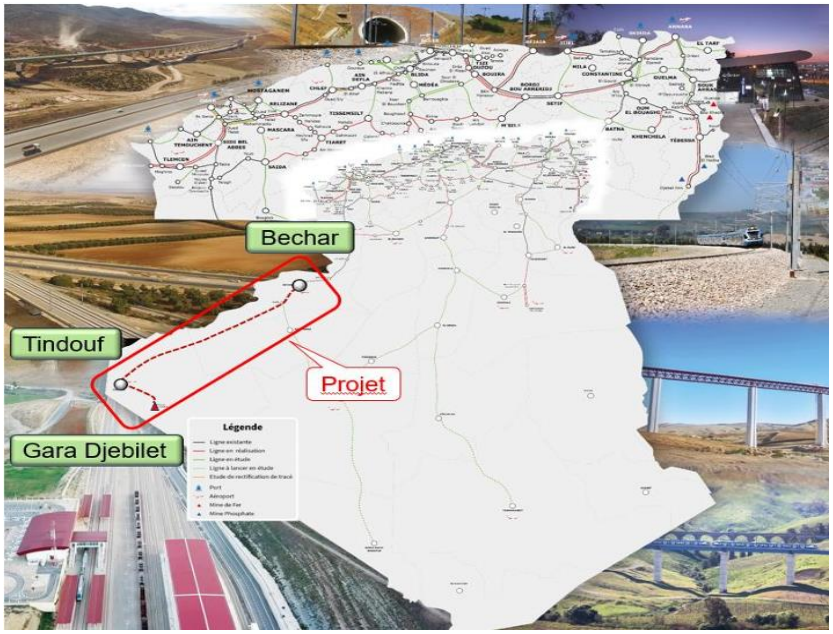


Figure III-1 : La ligne ferroviaire GARA DJEBILET(Tindouf)-Béchar -Arzew

III.3 Présentation de tronçon

Le tracé du projet passe par les trois wilayas de Béchar, Beni Abbes et Tindouf, et il est limité au nord par la wilaya de Nâama, à l'ouest par le Maroc, le Sahara Occidental et la Mauritanie, à l'est par les wilayas de Ghardaïa et Timimoune, et au sud par la wilaya d'Adrar.

Notre projet se situe dans la section N°05 (PK935+000 au PK950+000) sur une longueur d'environ de 15km, avec la zone d'étude spécifiquement située dans la wilaya de Tindouf.



Figure III-2 Localisation de la Wilaya de TINDOUF

Tableau III.1 : Caractéristiques générales de la région d'étude

Superficie	159 000 km^2
Population	60 000
Altitude moyenne	433 m

III.4 Situation géographique

III.4.1 Relief

Le relief de la zone d'étude est principalement désertique, comprenant des plateaux, des montagnes, des plaines désertiques et des oueds asséchés, avec une altitude moyenne d'environ 433m. Le relief du site étudie est globalement plat.

III.4.2 Climat

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

III.4.3 Sismicité

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

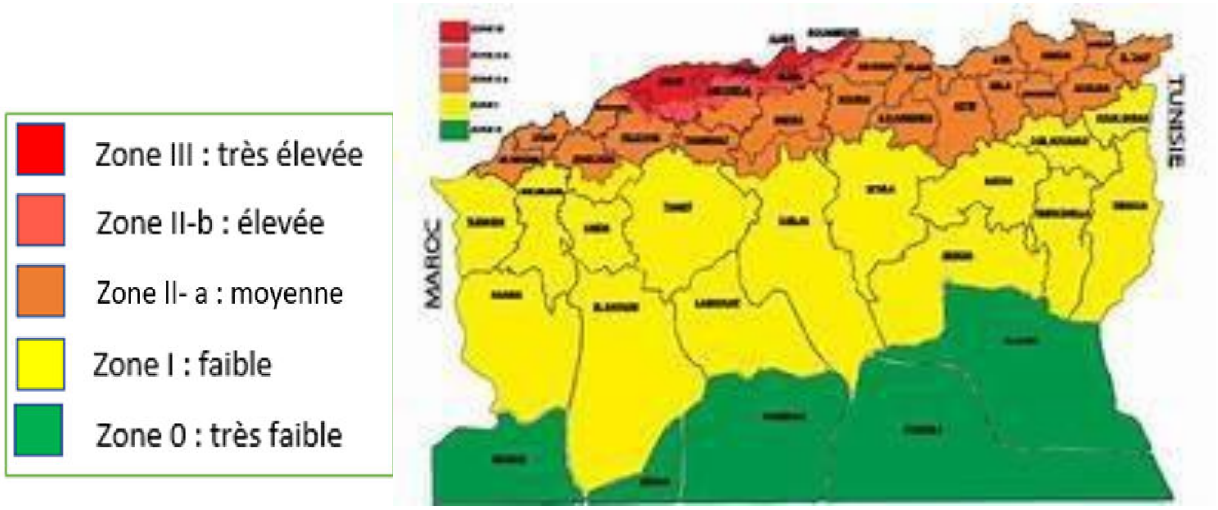


Figure III-3 carte zonage sismique de l'Algérie

III.5 Objectif du projet

Le but de cette étude est la recherche d'un tracé qui répond aux objectifs économiques et aux besoins sociaux de la région, de plus elle doit répondre aux critères et aux normes internationales des chemins de fer.

Le projet ferroviaire Béchar-Tindouf-Gara Djebilet, long de 950 km, vise à désenclaver le Sud, renforcer le transport ferroviaire et stimuler le développement socio-économique des régions traversées. Il facilitera le transport des marchandises, soutiendra les zones industrielles tout en ouvrant de nouvelles opportunités pour l'exploitation d'une des plus grandes mines de fer au monde.

III.6 Conclusion

Le projet de la ligne ferroviaire Béchar-Gara Djebilet (Tindouf) constitue un levier majeur pour le développement et l'exploitation des ressources minières de la région. Son implantation favorisera la croissance locale en facilitant l'extraction et le transport du fer de Gara Djebilet vers les infrastructures industrielles.

CHAPITRE IV : PLAN DE TRANSPORT

IV.1 Introduction

Les transports entretiennent les liens multiples avec l'activité économique. Ils constituent d'abord un des secteurs de cette activité, et représentent de ce fait une part de la production. Ils sont aussi un moyen indispensable pour la réalisation de cette production ; leur développement suit la croissance économique.

La mobilité est un enjeu majeur de la vie collective et de la vie quotidienne. Car elle est un moyen indispensable au bon fonctionnement de la société.

Le présent chapitre est consacré à l'étude de plan de transport du projet de construction d'une nouvelle ligne ferroviaire reliant Béchar à Gara Djebilet.

Le projet vise à satisfaire la demande de transport ferroviaire de la région transport de minerai de fer depuis la région de Gara Djebilet, riche en ressources minières, vers les zones industrielles du nord du pays.

IV.2 Besoins et objectifs de transport

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

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

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

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

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

IV.3 Données d'entrée

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

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

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

Ces données d'entrée sont résumées ci-après :

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

Données d'entrée de l'étude de transport	
Distance Béchar-Gara Djebilet	950 Km
Trains programmés / jour	-Minerai de fer -Voyageur -Produit divers
Tonnage annuel à transporter	**50 000 000** tonnes
Nombre de jours des transports	**350 jrs/ 365 jours**
Tonnage journalier à transporter	**142850** tonnes
Sens des trains chargés	Gara Djebilet vers Bechar
Sens des trains vides	Bechar vers Gara Djebilet
Temps de chargement / déchargement	**90 Min**
Type de chargement	**02 Culbuteurs (01 Culbuteur de 6000t/h)**
Type de déchargement	Gravité
Temps de préparation d'un train	**60 Min**

IV.4 Synthèse de l'étude de transport

La simulation du transport ferroviaire entre Gara Djebilet et Béchar a été effectuée en se basant sur les paramètres techniques et opérationnels définis dans le cadre de l'étude.

Après plusieurs simulations étudiées par le bureau d'étude **SETIRAIL**, les données de Sortie ou Résultats de la Simulation il a été conclu ce qui suit :

Données de Sortie	
Tonnage / essieu (tonnes)	32,5
Charge utile d'un wagon (tonnes)	105
Poids total d'un Wagon chargé	130 tonnes
Caractéristiques du wagon	Wagon a chargement par trémie
	Wagon a déchargement latérale
Capacité de chargement / déchargement	02 culbuteurs de 6000 tonnes/heure

Nombre de wagons / train	170		
Tonnage total à transporter / train (tonnes)	17857		
Charge total tractée par train	22 100 t		
Nombre de trains nécessaires/sens	Minerai de fer	8	
	Voyageur	1	
	Produit Divers	1	
Nombre de wagons nécessaires /Jour	1360		
Nombre de locomotive nécessaire /Train	4		
Longueur utile d'un train	2128 m		
Vitesse de circulation	Marchandise	70 Km/ h	
	Voyageur	160 Km/ h	
Temps de préparation d'un train	90 Min		
Temps de parcours	Minerai de fer	Sens vide	16h40min
		Sens chargé	16h16min
	Voyageur	Sens Bechar-Tindouf	07h13min
		Sens Tindouf-Bechar	07h12min
	Produit Divers	Sens Bechar-Tindouf	16h40min
		Sens Tindouf-Bechar	16h16min
- Ligne	**Voie unique.**		
-Nombre Points de jalonnement (Gares+ PCG)	**10 Gares**		
	Jalonnement de 25 km à 30 km		
-Longueur min des PCG entre garage franc	**2400m**		
-Déclivité max sens vide des trains	**8 ‰**		
-Déclivité max sens chargé des trains	**6 ‰**		

IV.5 CONCLUSION

L'étude de transport met en évidence la faisabilité d'un système de transport ferroviaire à haute capacité, capable de soutenir le développement économique de la région et de valoriser les ressources minières de Gara Djebilet.

CHAPITRE V : ETUDE GEOMETRIQUE

V.1 Introduction

L'objectif de l'étude géométrique du tracé de la voie est de garantir une circulation efficace et sécurisée des trains, ce qui implique de trouver la forme géométrique la plus appropriée pour le plan de roulement. Afin d'assurer une vitesse régulière sur toute la ligne, il est essentiel d'avoir un tracé homogène, avec des caractéristiques géométriques cohérentes.

Les éléments géométriques du trace (courbes de raccordement, courbes circulaires, alignement), ainsi que les considérations pratiques telles que l'entraxe des voies, la largeur des plateformes et la disposition des aiguillages sont prises en compte pour une circulation efficace et sécurisée des trains.

Cette étude est réalisée conformément aux normes internationales du secteur ferroviaire. Son objectif principal est de concevoir un tracé économique répondant aux exigences de qualité et de sécurité.

V.2 Trace en plan

Le tracé en plan est constitué d'une succession de courbes et d'alignements droits, séparés ou pas par des raccordements progressifs. Il s'agit :

- de réaliser une projection de la voie sur le plan horizontal ;
- d'utiliser un plan topographique qui va servir de support au tracé ;
- d'y faire figurer l'axe de la voie ;
- d'y reporter la position des profils en travers ;

Les caractéristiques des éléments constituant le tracé en plan doivent assurer les conditions de sécurité et de confort et qui sont données directement dans les normes ferroviaires en fonction de la vitesse de base.

Il convient également de rappeler que dans les chemins de fer, il existe deux vitesses caractéristiques à prendre en compte :

- Vv : vitesse des trains voyageurs (vitesse rapide).
- Vm : vitesse des trains marchandises (vitesse lente).

V.3 Rappel des conditions et les règles à respecter dans le trace en plan

Dans ce qui suit, sont rappelées certaines exigences qui sont importantes pour faire un tracé optimal, économique et technique.

- Respecter scrupuleusement les territoires traversés sans déborder du couloir prédéfini pour minimiser les travaux de terrassement et les impacts environnementaux.
- Éviter soigneusement les passages sur des terrains agricoles, des zones forestières et des propriétés privées.
- Éviter tout franchissement de zones stratégiques telles que les centrales à gaz et les transformateurs électriques.

- Privilégier autant que possible les tracés droits pour optimiser l'alignement.
- Prioriser la sécurité et le confort des passagers à chaque étape du processus.
- Éviter les zones à risque géologique et limiter les problèmes potentiels liés aux talus.

V.4 Les éléments du tracé en plan

Le trace en plan d'une voie ferrée est composée d'alignements droits et de courbes, relies le plus souvent entre eux par des éléments de transition.

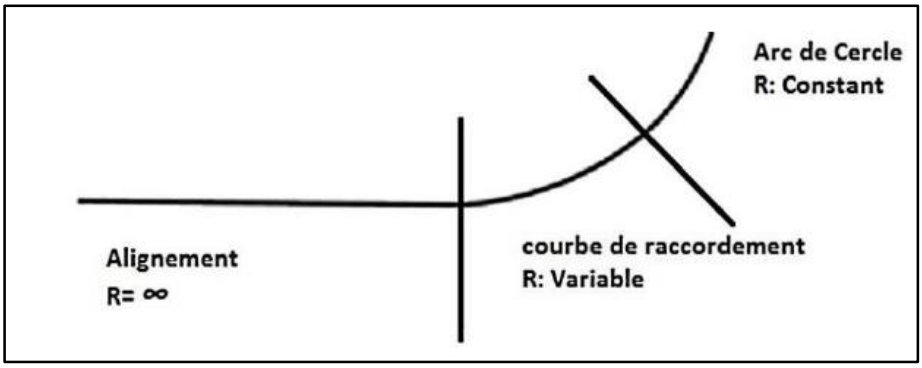


Figure V-1 : les éléments du tracé en plan

V.4.1 L'alignement

C'est un tracé droit, il est considéré comme étant le meilleur tracé pour le confort et la sécurité qu'il offre aux voyageurs.

V.4.2 Arc de rayon

Dans les zones où la topographie ne permet pas d'établir des alignements droits, le tracé comprend souvent des courbes de cercle aussi large que possible. La valeur minimale du rayon est liée à la vitesse de base des trains. Dans certains cas, des rayons plus petits doivent être utilisés en fonction de la vitesse de circulation des trains dans les courbes.

V.4.3 La courbe de raccordement

La courbe de raccordement, élément géométrique essentiel, établit la transition entre l'alignement et l'arc de cercle. Elle permet à la courbure de passer progressivement d'un rayon infini à la fin de l'alignement à une valeur constante au début de l'arc de cercle, Il existe différents types de courbes de raccordement, mais la clothoïde (parabole cubique) est la plus couramment utilisée en raison de son aspect esthétique et de sa variation uniforme de courbure. Elle assure stabilité et confort aux passagers.

V.5 Paramètres géométrique du trace

V.5.1 Longueur minimum des éléments de tracé

Afin d'amortir suffisamment le roulis de la caisse des véhicules, des longueurs minimales ont été fixées pour les éléments de tracé. Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes, les doucines, entre milieux de doucines, doivent respecter les valeurs exprimées en mètres ci-après ; (avec la vitesse V est exprimée en km/h)

a. Alignements droits

Les alignements droits doivent être suffisamment longs pour garantir une visibilité adéquate et permettre aux trains de rouler à des vitesses élevées en toute sécurité.

Tableau V.1: Valeurs limites des longueurs minimales des éléments du tracé (SNTF)

Valeur limite Normal	Valeur limite exceptionnelle
V/2 = 160/2=80	V/3=160/3=53.33

b. Courbes et Raccordement progressive

Les rayons de courbure doivent être suffisamment grands pour assurer des vitesses sûres et confortables dans les courbes. Plus la vitesse est élevée, plus le rayon de courbure doit être grand.

Les longueurs minimales des courbes sont fonction du rayon de courbure et de la vitesse de conception. En général, plus la vitesse est élevée, plus la courbe doit être longue.

Pour notre projet la vitesse de conception de train est fixée à 160km\h.

Tableau V.2: Valeurs limites des longueurs minimales des éléments du tracé (SNTF)

Valeur limite Normal	Valeur limite exceptionnelle
V/2 = 160/2=80	V/3=160/3=53.33

V.5.2 Rayon minimale

La valeur du rayon minimum admissible dépend de la vitesse du projet, il est limité pour assurer, le confort des voyageurs et éviter que les efforts transversaux sur la voie ne soient pas trop importants. Le rayon de courbe minimum pouvant être circulé à la vitesse maximale d'exploitation, le rayon minimum, sera défini à partir de l'insuffisance de dévers admissible pour les vitesses maximales et à partir de l'excès de dévers pour les vitesses minimales sans que le dévers maximum ne soit dépassé.

$$R_{min} = \frac{11.8 \times {V_{max}}^2}{d_{max} + I_{max}}$$

- R_{min} : Rayon minimum de courbe (m).
- V_{max}: Vitesse des trains rapide (voyageurs) (km/h).
- d_{max} : Dévers maximal (mm).
- I_{max} : Insuffisance de dévers maximum (mm)

V.5.3 Dévers

Le dévers est un élément important dans la conception des voies ferrées, en particulier dans les courbes. Il s'agit de l'inclinaison transversale des rails de la voie en courbe, en autre maniéré le devers est la différence d'altitude entre les deux files de rails en un point de la voie En courbe, destinée à compenser une partie de la force centrifuge qui agit sur les trains circulant dans la courbe

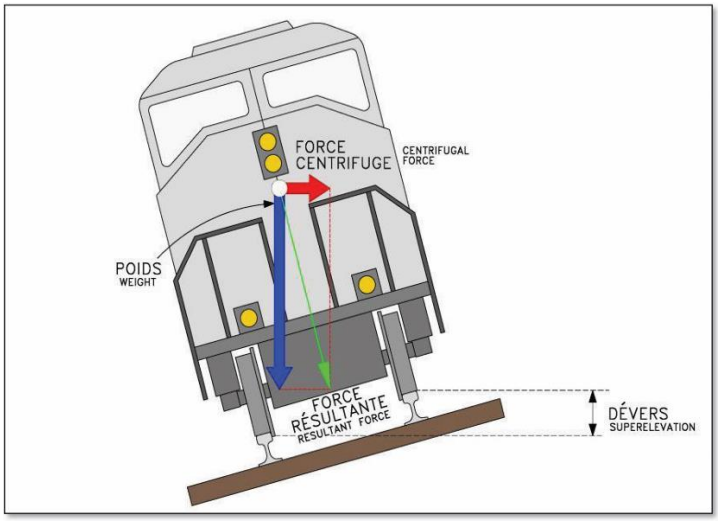


Figure V-2: Schéma du dévers

V.5.3.1 Le dévers théorique

Ou dévers d'équilibre, noté dth, est le dévers qui annule totalement l'effet de la force centrifuge lors du passage d'un train dans une courbe. Il est calculé en fonction de la vitesse constante du train dans la courbe et du rayon de la courbe. La formule généralement utilisée pour calculer le dévers théorique est la suivante :

$$d_{th} = \frac{11.8 \times {V_{max}}^2}{R}$$

Avec : dth en (mm), V : vitesse en (km/h), R : rayon en (m).

V.5.3.2 Le dévers Pratique

Le dévers pratique, aussi appelé dévers réel ou dévers de fonctionnement, est le dévers mis en œuvre dans la voie ferrée en prenant en compte les différentes vitesses et types de trains circulant dans la courbe (trafic mixte comprenant des trains de voyageurs et de marchandises). Il diffère du dévers théorique, qui annule complètement la force centrifuge, en ce qu'il cherche à atteindre un compromis pour répondre à divers objectifs tels que :

-Éviter la fatigue excessive de la voie : Un dévers trop faible pour les trains rapides peut entraîner une charge excessive sur le rail extérieur de la courbe, provoquant une usure prématurée et une fatigue de la voie. À l'inverse, un dévers trop élevé pour les trains lents peut causer une charge excessive sur le rail intérieur, ce qui peut également endommager la voie.

-Assurer la sécurité des trains : Un dévers insuffisant pour les trains à grande vitesse peut entraîner un risque de déportation du train vers l'extérieur de la courbe, pouvant aboutir à une sortie de voie. En revanche, un dévers excessif peut entraîner des problèmes pour les trains lents et plus de fatigue de la voie.

-Assurer le confort des voyageurs : Un dévers pratique équilibré contribue au confort des passagers en minimisant les forces latérales ressenties lors du déplacement du train dans une courbe

Le dévers pratique se calcule par :

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

dp : devers pratique

R : Rayon de courbe (m)

C : Coefficient de dévers.

Aussi le dévers pratique doit être 0.5dth ≤ dp ≤ 0.7dt

Les valeurs limite du devers en voie autorisées par référentiel SNTF, sont donner dans le tableau suivant :

Tableau V.3: Valeurs limites du dévers

Valeur limite normale (mm)	Valeur limite exceptionnelle (mm)
160mm	180mm

- **Calcul du coefficient de dévers constant**

Selon la Société Nationale des Chemins de fer Français (SNCF), le coefficient de dévers constant, noté *C*, peut être calculé à l'aide de la formule suivante : $C = 0.006 \times V_{max}{}^2$

Où :

C : Le coefficient de dévers constant sur une section de voie donnée.

Vmax : La vitesse maximale de circulation des trains sur la section de voie (en km/h).

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

Pour notre projet on a ➔ C = 0.006× 160^2= 153,33 en prend C = 165

V.5.3.3 Variation de devers

La variation du dévers (ou inclinaison transversale) dans les courbes de transition est importante pour assurer la stabilité des trains. Une transition fluide dans la variation du dévers est nécessaire pour éviter les problèmes de stabilité dus à la vitesse de rotation des trains autour de leur axe longitudinal.

- **Variation de dévers dans les courbes de transition en fonction de longueur Δd/Δl**

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

Tableau V.4: Valeurs limites de la variation du devers (SNTF).

Valeur limite normale (mm)	Valeur limite exceptionnelle (mm)
180/V=1,125	216/V=1,35

- **Variation de dévers dans les courbes de transition en fonction de temps Δd/ΔT**

La variation de dévers en fonction du temps (notée/ΔT) est généralement limitée pour assurer une transition en douceur entre différentes sections de voie, de manière à éviter les changements brusques dans l'inclinaison latérale et ainsi maintenir la stabilité du train.

$$\frac{dd}{dl} = \frac{d \times V_{max}}{3.6 \times L}$$

Où L est la longueur de la courbe de transition exprimé en (m).

Tableau V.5 : : Valeurs limites de la variation du devers (SNTF).

Valeur limite normale (mm)	Valeur limite exceptionnelle (mm)
50mm	60mm

IV.6.3.5 Insuffisances de devers (i)

Lorsque la vitesse d'un train rapide (notée *Vr*) dans une courbe est plus élevée que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers pratique, le train est soumis à une force centrifuge non compensée. Cette situation survient lorsque le dévers de la voie est insuffisant pour compenser la force centrifuge créée par la vitesse élevée du train dans la courbe.

La différence entre le dévers théorique requis pour les trains rapides et le dévers Pratique est appelée insuffisance de dévers. Elle peut être calculée à l'aide de la formule suivante : I=dth-dp.

$$I = \frac{11.8 \times {V_{max}}^2}{R} - d_p \leq I_{lim}[mm]$$

Tableau V.6 : : Valeurs limites de l'Insuffisance du devers (SNTF).

Valeur limite normale (mm)	Valeur limite exceptionnelle (mm)
150mm	160mm

V.5.3.4 La variation de l'insuffisance de dévers :

La variation de l'insuffisance de dévers, notée $dt\backslash d\Delta e$, est le taux de changement de l'insuffisance de dévers en fonction du temps. C'est-à-dire, elle mesure la vitesse à laquelle l'insuffisance de dévers change pendant que le train circule à une certaine vitesse sur une courbe. Cette variation de l'insuffisance de dévers est généralement exprimée en millimètres par seconde (mm/s).

Tableau V.7: Valeurs limites de la variation de l'insuffisance du devers (SNTF).

Valeur limite normale (mm\s)	Valeur limite exceptionnelle (mm\s)
75	90

V.5.3.5 Excès de devers

Lorsque le train de marchandise qui sont dans notre projet les Minéraliers roule très lentement en courbe, il ressent le dévers Installé pour le train rapide comme un excès de dévers noté « E » Cela signifie que le dévers de la voie est trop élevé pour la vitesse à laquelle le Train circule. Dans ce cas, le Train est soumis à une force centripète non compensée, ce qui entraîne une résultante des forces qui se déplace vers l'intérieur de la courbe.

$$E = d_p - \frac{11.8 \times {V_{min}}^2}{R} \leq E_{lim}[mm]$$

Tableau V.8: Valeurs limites de l'excès du devers (SNTF)

Valeur limite normale (mm)	Valeur limite exceptionnelle (mm)
110mm	130mm

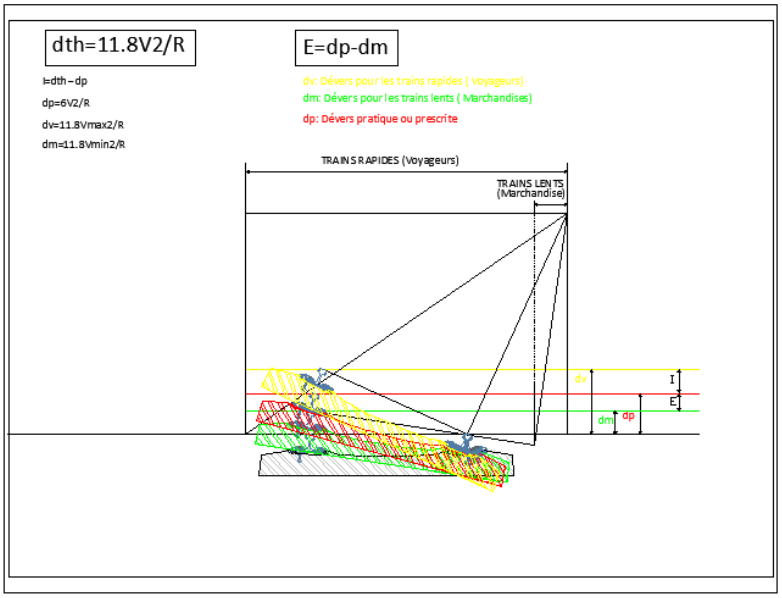


Figure V-3 : Distribution du dévers entre voies pour trafics voyageurs et marchandises

V.6 Raccordements progressifs

Le raccordement progressif dans les voies ferrées permet de passer de façon graduelle entre un alignement droit (ou une courbe avec un rayon différent) et une courbe avec un certain rayon et dévers. Ils sont essentiels pour assurer une transition douce pour les trains, tant en termes de changement de courbure que de changement de dévers, et ainsi offrir aux voyageurs confort et sécurité.

La longueur d'un raccordement progressif est définie par les Caractéristiques suivantes :

Taux de variation de dévers en fonction de la longueur.

Taux de variation de dévers en fonction du temps.

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

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

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

$$LDD = \frac{D \times V_{max}}{3.6 \times \frac{dd}{dt}}$$

V.7 Application au projet

D'après la fiche UIC 703 et les recommandations SNTF on a les données suivantes :

Tableau V.9: valeurs recommander par SNTF et la fiche UIC 703

Vitesse des trains rapides (voyageurs)	V_{max} = **160**km/h
Vitesse des trains lents (marchandise)	V_{min} = **70**km/h
Excès de dévers (valeur limite normale) E	E = **110**mm
Insuffisance de dévers maximum	I_{max} = **150mm**
Dévers max $dmax$	d_{max} = **160**mm
Variation de dévers en fonction du temps (valeur limite)	$\frac{Dd}{Dt}$= **50**$mm\s$
Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps	$\frac{dI}{dt}$=**70**$mm\s$

Notre projet, qui concerne la réalisation d'un tronçon de la ligne ferroviaire à voie unique reliant Béchar à Gara Djebilet, s'étend du PK935+000 au PK 950+000.
Pour illustrer les différentes étapes de la détermination des dévers ainsi que des paramètres correspondants à notre tracé, nous présentons l'exemple de calcul suivant appliqué à ce tronçon.

- **Calcul du rayon minimal**

Calcul de rayon minimale avec la formule qui dépend de l'insuffisance de dévers ;

$$\mathbf{Rmin} \geq \frac{11{,}8 \times Vmax^2}{\mathrm{Imax} + \mathrm{dmax}} \qquad \frac{11{,}8 \times 160}{160 + 150} = \mathbf{974.45\ m}$$

On prend **Rmin=1000 m**

Notre projet c'est un tronçon de la ligne qui relie Béchar a Gara Djebilet débute au PK 935+000 jusqu'au PK 950+00 sur une longueur d'environ 15 Km.

Le tracé commence en alignement droit et se termine sur le palier de la gare de GARA DJEBILET, il se développe dans une extension de 15000 mètres et comprend 6 courbes horizontales dont leur rayon se varie entre 1300 m et 2300 m. (**R=2300** est dominant)

- **Le calcul est pour un rayon $\boldsymbol{R}$ =2300**

- **Calcule de devers pratique**: $Dp = \frac{1000 \times C}{R}$ **avec C : c'est le coefficient de devers.**

C = 0.006 ×$\boldsymbol{V^2}$, C = 0.006 ×$\mathbf{160^2}$ = 153.6

La valeur de C doit être multiple de 15 donc on prend une valeur de C = 165

D'où $Dp = \frac{1000 \times 165}{2300} = 71.73\ mm\ < dmax = 160mm$

Dans le cadre du plan de transport d'une ligne ferroviaire lourde, et afin de préserver les voies du rail le plus longtemps possible, un dévers pratique de Dp =25 m a été adopté (pour minimiser au maximum le problème d'usure du rail)

-Calcule de devers théorique des trains rapides

$$\mathbf{d_{th®}} = \frac{11{,}8 \times Vmax^2}{R} = \frac{11.8 \times 160^2}{2300} = 131.33\ \approx 131\ mm$$

-Calcule de devers théorique des trains lents :

$$\mathbf{d_{th_{(l)}}} = \frac{11{,}8 \times Vmax^2}{R} = \frac{11.8 \times 70^2}{2300} = 25.14 \approx 25mm$$

-Calcule l'insuffisance de devers

$I = dth(r) - dp$ =131-25 = **106** < **Imax**

-Calcule l'excès de devers

$$E = dp - dth(l) = 25 - 25 = \mathbf{0\ mm}$$

-La longueur de clothoïde : $L_{rp} = \frac{dp}{\left(\frac{dd}{dl}\right)} = \frac{dp}{\frac{180}{Vmax}} = \frac{25}{\frac{180}{160}} = 22$

On prend **: L=100 m**

-Paramètre de la clothoïde

$A = \sqrt{R \times L} = \sqrt{2300 \times 100} = 479.583$

-Variation de devers :

-En fonction de temps : $\frac{Dd}{Dt} = \frac{dp \times Vmax}{3.6 \times L_{adp}} = \frac{26 \times 160}{3.6 \times 100} = 11.55$

-En fonction de longueur : $\frac{Dd}{DL} = \frac{dp}{Lrp} = \frac{26}{100} = 0.25$

-La variation d'insuffisance de dévers : $\frac{dI}{dt} = \frac{dI}{dl} \times \frac{Vmax}{3,6} = \frac{106}{100} \times \frac{160}{3,6} = 22,68$ mm/s

V.8 Tableau récapitulatif des éléments de tracé en plan

Les tableaux ci-dessous présentent les paramètres et les dévers correspondant à chaque rayon qui se trouve sur le tracé du tronçon d'étude

Tableau V.10: Tableau des paramètres du tracé pour le raccordement d'inflexion

R (m)	dth max	dth min	dp	dp adopté	I (mm)	E (mm)	Lrp(m)	Lrp(m) adopté	dd/dl (mm/m)	dI/dt (mm/s)
2300	131	25	72	25	106	0	22	100	0.25	47
1300	232	44	127	85	147	41	76	150	0.57	44

NB : le tracé a été réalisé à l'aide du logiciel Civil-3D dont les détails se trouvent en annexe.

V.9 Profil en long

V.9.1 Introduction

L'élaboration du profil en long revêt une importance capitale dans l'évaluation économique d'un projet ferroviaire, car elle englobe les aspects terrassements, les ouvrages d'art, les tunnels et les différentes intersections avec notre tracé.

V.9.2 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 plan de roulement du projet (ligne rouge) ;

•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 qui fait le profil en long avec l'horizontale, elle prend le nom de « pente » pour une descente et « rampe » pour une monte.

V.9.3 Les règles à respecter dans le profil en long

• Adapter la ligne rouge au terrain naturel pour minimiser les travaux de terrassement.

• Equilibre entre le volume des déblais et le volume des remblais.

• Eviter les hauteurs excessives des remblais.

• Eviter les angles sortant en déblai

• Eviter la coïncidence entre les rayons en profil en long et les rayons en tracé en plan (règle de coordination).

NOTE :

Selon le plan de transport simuler par le logiciel **Open Track**, une déclivité maximale de 6‰ a été requise pour le sens chargé des trains et une déclivité de 8‰ pour le sens vide des trains de marchandises.

V.9.4 Eléments de composition du profil en long

V.9.4.1 La déclivité

Tableau V.11: Longueur minimale des déclivités selon référentiel technique de SNTF

Longueur minimum des éléments du profil en long	
Valeur maximale normale	V/2=80 m
Valeur maximale exceptionnelle	V/2.5 =64 m

V.9.4.2 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 :

accélération est donnée par la formule suivante : Av = $\frac{V^2}{3{,}6^2 \times Rv}$

Pour une vitesse inférieure à 220 km/h la valeur maximale de cette accélération est de 0.22m/$s2$ (Av≤0.05g) (exceptionnellement 0.31m/s2) qui est une valeur de confort acceptable en remplaçant les valeurs de Av dans la formule : Rv = $\frac{V^2}{3{,}6^2 \times Av}$.

Tableau V.12: Valeurs de Rayon vertical minimale selon référentiel technique de SNTF

Rayon minimum vertical	
Valeur maximale normale	$0.35*V^2$ =8960 m
Valeur maximale exceptionnelle	$0.25*V^2$ =6400 m

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

– Il ne doit pas y avoir d'interférence entres les courbes de transition en plans (clothoïde) et les courbes de raccordement en profil en long.

– Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe.

–Raccord des déclivités :

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

V.9.4.3 Application au projet

Tableau V.13 : Valeurs des paramètres de profil en long

		Valeur maximal normal (m)	Valeur maximal exceptionnelle (m)
Vitesse (Km/h)		160	/
Rayon de raccordement en profil minimum (m)		9000	6400
Longueurs minimales des pentes/rampes		80	64
Déclivité maximum en pleine voie	**pentes**	6 ‰	
	rampes	8 ‰	
Déclivité maximum des pentes/rampes en gare		0 ‰	

V.9.4.4 Description du profil en long

Le profil que nous avons élaboré est basé sur la ligne rouge de la ligne existante. Au niveau de la zone, comprend 6 droites d'une longueur minimale 48.28 mètre,6 courbes de raccordement**,** de rayon minimal de 9240.566 mètres et une déclivité maximale de 7.39 ‰.

V.9.4.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné en détail les aspects géométriques du tracé ferroviaire et évaluer les éléments essentiels du tracé en plan et profil en long pour assurer la géométrie optimale qui garantir l'efficacité, le confort et la sécurité de la ligne tout en respectant les contraintes topographiques et environnementalement

NB : le profil en long est réalisé à l'aide de logiciel Civil 3D, le profil en long est joint en format A3 dans l'annexe.

CHAPITRE VI : ETUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE

VI.1 Introduction

L'Algérie, comme d'autres pays, fait face à des crues périodiques pouvant causer d'importants dégâts humains et matériels. Ce risque s'aggrave aujourd'hui avec l'urbanisation croissante, le développement économique et les effets du changement climatique.

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

Le but principal de cette étude hydrologique est donc de mesurer les débits de crues sur tout le tracé pour prévenir les inondations potentielles et ainsi élaborer l'aménagement hydraulique de protection le plus adapté.

VI.2 Description générale

Le tronçon de la voie ferrée traverse plusieurs bassins versants nous recommandons d'étudier l'hydrologie. Le tracé traverse les oueds qui ravine le bassin de Tindouf qui descendent du Haut-Atlas oriental sur la frontière marocaine. Ces écoulements sont totalement temporaires suite au caractère désertique de la zone d'étude et disparaissent sans atteindre la partie centrale du bassin de Tindouf. Néanmoins, il existe des écoulements importants tels que l'oued Oum El Assel, l'oued En Naga, l'oued Kherbine, l'oued Kountar et l'oued El Ma. L'ensemble des écoulements descendent vers la sebkha de Tindouf.

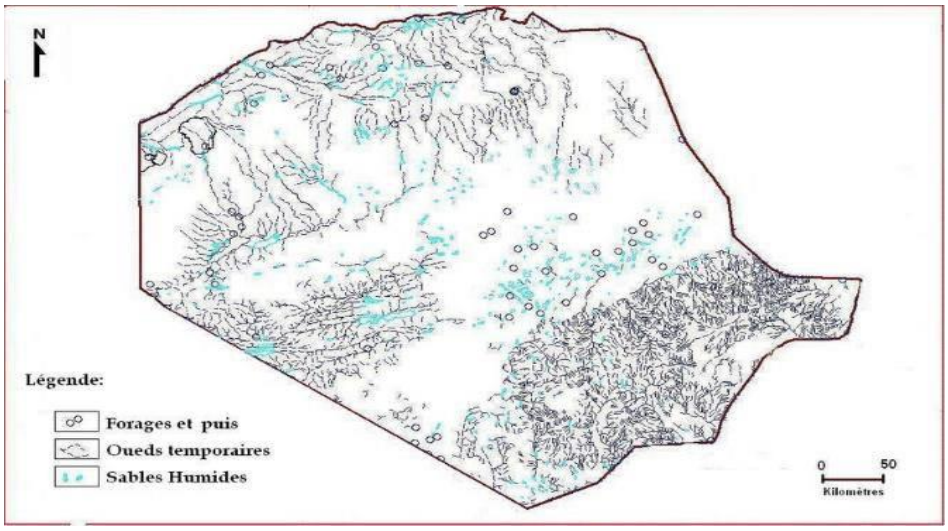


Figure VI-1 :Réseau hydrographique de la wilaya de Tindouf

VI.3 Caractéristique climatique

Les conditions climatiques de Tindouf sont subtropicales désertiques, avec des hivers très doux (mais avec des nuits froides) et des étés très chauds et tropicaux.

Les températures maximales sont supérieures à 45 °C en été et des températures minimales de 5 °C en hiver.

VI.3.1 La Température

Les températures moyennes de la région de Tindouf sont élevées, Selon le tableau n° 01, il est observé que la température maximale est enregistrée en juillet lorsque celle-ci dépasse les 40°C. En janvier Le plus froid est celui qui atteint une température minimale de 7°C.

Tableau VI.1 : Températures moyenne mensuelles de Tindouf (1992-2020)

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

VI.3.2 Analyse des données pluviométriques :

Dans l'étude d'un projet ferroviaire, la première étape est l'analyse des données pluviométriques disponibles dans la station la plus proche au bassin versant de la zone d'étude, dans notre cas **la station de Tindouf,** la série pluviométrique doit comporter les précipitations maximales journalières pour la période le plus long possible.

L'analyse de la pluie a été effectuée procéder sur la base d'une collecte de documents et d'informations au niveau de deux sources différentes, à savoir :

- L'office National de la Météorologie (ONM).
- L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).

VI.3.2.1 La pluie mensuelle

Il est observé dans le tableau au-dessous que les mois de mai, juin, juillet et août sont les plus secs, avec une précipitation inférieure à 1mm. La pluviométrie maximale est observée durant les mois de septembre et novembre, avec une quantité de précipitations proche de 15mm. La pluviométrie est généralement faible dans la région et le climat est généralement sec**.**

Tableau VI 2: Pluviométrie mensuelle moyenne de la période 1992-2020

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

VI.3.2.2 La Pluie annuelle

Cette région est caractérisée par un régime pluviométrique très variable d'une année à une autre. La période pluvieuse est celle allant du mois d'Août au mois de Mars. L'importance de la côte pluviométrique du mois d'Août vient di/fait de la saison des pluies tropicales qui affecte souvent la région en été.

Tableau VI. : Caractéristiques de pluies annuelles

Station	Période d'observation	Nombre d'années d'observation	Moyenne Annuelle (mm)
Tindouf	1992-2022	31années	50.5

Tableau VI.2: Estimation des pluies annuelle pour des périodes de retour données

Période de retour (ans)	10	20	50	100
Fréquence	0.9	0.95	0.98	0.99
Variable de Gauss U	1.282	1.645	2.054	2.327
Pluie annuelle en (mm)	66,5	82.8	100,48	162,9

VI.3.2.3 Les pluies maximales journalières

Les pluies avec des fréquences maximales quotidiennes sont celles qui provoquent des crues d'un débit considérable, ce qui nécessite une protection des différents ouvrages hydrauliques contre les dommages.

En Algérie, il a été constaté que les précipitations journalières maximales annuelles s'ajustent à la loi de Gumbel.

Tableau VI.3: Pluies maximales journalières

Période de routeur	Frequencies	U. Gumbel	$P_{max, j}$ (mm)
10 ans	0.90	2.25	64
50 ans	0.98	3.90	78
100 ans	0.99	4.60	83

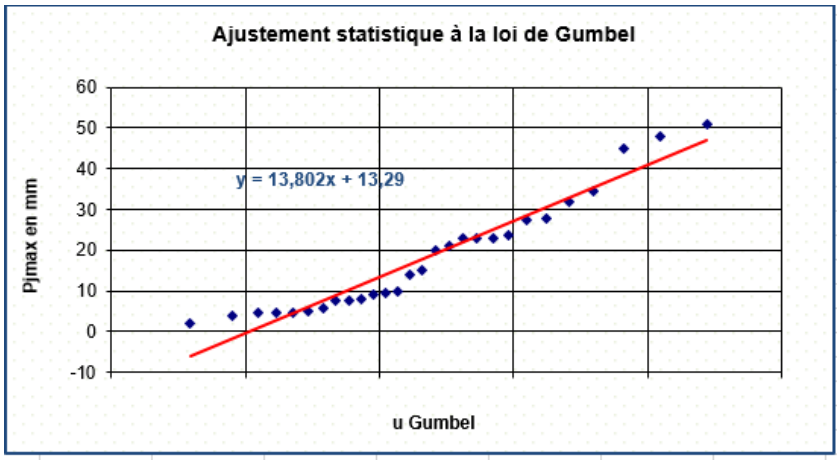


Figure VI-2 : Ajustement statique a la loi de Gumbel

VI.3.2.4 Les pluies de courte durée

- **Modélisation des courbes IDF par le modèle de Montana**

La formule de MONTANA décrit non seulement la relation entre l'intensité, la durée et la fréquence des pluies, mais aussi la relation entre la hauteur, la dure et la fréquence des pluies elle s'exprime par la relation Intensité - Durée – Fréquence (IDF) : $\boldsymbol{I(t) = a.\, t^{-b}}$ **.**

- I(t) = Intensité durant le temps t en mm/min (ou mm/heure) ;
- t = durée de la pluie équivalente au temps de concentration (en minutes ou en heures) ;
- a et b = coefficients de MONTANA.

- **Estimation des coefficients de Montana**

Tableau VI.4 : Valeur du paramètre de Montana pour les différentes périodes de retour

T (ans)	**5**	**10**	**20**	**50**	**100**
a(t)	20,24	27,54	34,16	42,74	50.17
b	0,83	0,83	0,84	0,84	0.84

VI.4 Etude hydrologique

L'objectif de l'étude hydrologique est d'évaluer le débit maximum pour des périodes de retour de 5,10, 20 et 50. 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.

VI.5 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)

VI.6 Délimitation des bassins versants

Le bassin versant est une zone où les eaux sont recueillies et alimentent à une partie où entièrement d'un fleuve, Une fois les bassins versants identifiés, on évalue leurs paramètres explicatifs afin d'obtenir les informations nécessaires.

Le tracé entre les PK 935+000 et PK 950+000 franchit 36 bassins versants

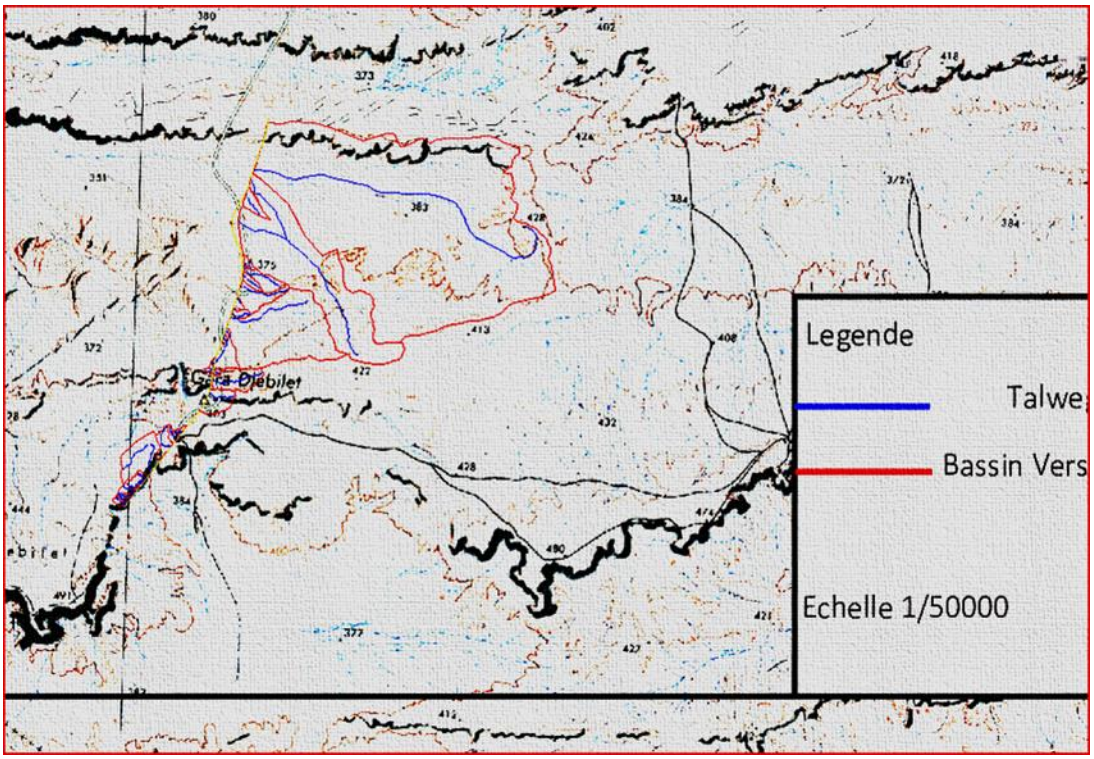


Figure VI-3 : Carte représentant les bassins versant de notre zone

VI.7 Les caractéristiques morphologiques des bassins versants

Le Bassin versant s'agit d'un domaine dans lequel tous les écoulements des eaux convergent vers un même point, exutoire de ce bassin. Ainsi toute goutte d'eau qui tombe dans ce territoire délimité par des frontières naturelles se dirige vers le cours d'eau ou ses affluents, puis vers l'aval et son exutoire. Cette aire d'alimentation a des limites géographiques, qui ne tiennent pas compte des limites administratives. Chaque bassin est séparé de ceux qui l'environnent par une "ligne de partage des eaux".

Cette limite sera tracée sur une carte en courbes de niveau en suivant les lignes de crête bordant le bassin et ne traversera le cours d'eau qu'au droit de l'exutoire.

Après avoir identifié les bassins, on détermine le débit fourni par chacun d'entre eux. Les principaux paramètres à prendre en compte pour la modélisation des bassins sont :

- S (km²) : La surface du bassin versant.
- P (km) : Périmètre.
- L (km) : Longueur de talweg.
- Hmax (m) : L'altitude max.
- Hmin (m) : L'altitude min.
- Hmoy (m) : L'altitude moyenne (m), avec $\mathbf{H_{moy}} = \frac{Hmax+Hmin}{2}$

À partir de ces données, on calcule d'autres paramètres importants qui définissent le bassin :
L'indice de compacité de GRAVELIUS « Kc » Kc= $\frac{0.28}{\sqrt{A}}$ (Caractérise la forme du BV).

- La pente moyenne (m/m) ; (**m**/**m**) = $\frac{DH}{L}$
- Le temps de concentration (heure).
- Le coefficient de ruissellement.
- La vitesse de ruissellement (km/h).

Les caractéristiques des bassins versants traversés par les écoulements le long de la nouvelle ligne ferroviaire sont présentées dans le tableau récapitulatif ci-dessous.

Tableau VI.5: Les caractéristiques des bassins versant

N° BV	PK	Surface	longueur talweg	Hmax	Hmin	Pente talweg
	km	Km²	Km	m	m	m/m
BV01	936+600	52,832	12,381	427	365	0,005
BV02	937+375	12,53	6,939	425	364	0,009
BV03	937+825	0,415	0,867	371	367	0,005
BV04	940+325	0,114	0,296	376	373	0,01
BV05	940+450	0,593	1,562	404	375	0,019
BV06	940+700	0,204	0,748	384	375	0,012
BV07	941+125	0,93	1,816	419	377	0,023
BV08	941+575	0,099	0,344	386	378	0,023

BV09	942+075	0,019	0,197	384	380	0,02
BV10	942+075	0 ,156	0 ,741	388	380	0,011
BV11	942+218.43	7 ,502	3,105	422	381	0,013
BV12	942+750	0,787	1,639	411	386	0,015
BV13	942+750	0,023	0,266	388	384	0,015
BV14	942+750	0,022	0,18	389	385	0,022
BV15	943+819.56	0,006	0,076	397	396	0,013
BV16	943+819.56	0,02	0,204	404	397	0,034
BV17	943+819.56	0,067	0,554	412	397	0,027
BV18	944+500	0,048	0,298	411	407	0,013
BV19	944+500	1,185	1,876	425	404	0,011
BV20	945+150	0,776	1,007	411	397	0,014
BV21	946+785	0,054	0,302	415	407	0,026
BV22	946+850	0,009	0,051	410	404	0,118
BV23	947++150	0,125	0,519	419	402	0,033
BV24	947+475	0,392	1,072	419	407	0,011
BV25	948+500	1,568	2,505	426	395	0,012
BV26	948+895	0,057	0,35	417	396	0,06
BV27	948+925	0,188	0,786	422	395	0,034
BV28	949+070	0,024	0,14	403	396	0,05
BV29	949+350	0,01	0,052	406	402	0,077
BV30	949+445	0,002	0,034	404	402	0,059
BV31	949+555	0,143	0,502	426	402	0,048
BV32	949+615	0,003	0,06	405	403	0,033
BV33	949+675	0,05	0,544	426	402	0,044
BV34	949+765	0,014	0,163	409	402	0,043

BV35	**949+815**	**0,005**	**0,047**	**406**	**404**	**0,042**
BV36	**950+000**	**0,054**	**0,494**	**422**	**405**	**0,034**

VI.8 Calcul hydraulique

VI.8.1 Temps de concentration « Tc »

Le temps de concentration correspond au temps nécessaire pour que des gouttes d'eau qui ne se sont pas évaporées et ne se sont pas infiltrées dans le sol en descendant du sommet du bassin versant jusqu'à évacuer.

Le calcul du temps de concentration a une grande influence sur l'évaluation des débits des crues.

Les temps de concentration des bassins versants sont calculés en utilisant les trois formules suivantes

Formule de VENTURA (S < 5Km²) : $t_c = 0.1272\sqrt{\frac{S}{I}}$

Formule de PASSINI (5 Km² < S < 25 Km²) : $t_c = 0.11\frac{\sqrt[3]{S\times L}}{\sqrt{I}}$

Formule de GIANDOTTI (25 Km² < S < 200 Km²) : $t_c = \frac{1.5L+4\sqrt{S}}{\sqrt{H_{moy}-H_{min}}}$

Tel que :

- Tc : temps de concentration en (h).
- S : Superficie du bassin-versant en (Km²) ;
- I : Pente moyenne du thalweg principal en (m.p.m)
- L : Longueur du thalweg en (Km)
- Hmoy : Hauteur moyenne du bassin versant en (m)
- Hmin : Hauteur minimale du bassin versant en (m)

VI.8.1 Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement « Cr » est estimé par la méthode préconisée de KENESSEY qui est la somme de trois (03) coefficients partiels. **Cr = C1+C2+C3**.

C1 : Dépendant de la pente du bassin versant.

C2 : Dépendant de la nature du sol (perméabilité).

C3 : Dépendant de la couverture végétale du bassin versant

Coefficient C1 :

Pente	C1		
I ≤ 3,5 %	0,01	0,03	0,05
Entre 3,5 et 11%	0,06	0,08	0,10
Entre 11 et 35 %	0,12	0,16	0,20
I ≥ à 35 %	0,22	0,26	0,30

Coefficient C2 :

Nature du sol	C2		
Imperméable	0,22	0,26	0,30
Peu perméable	0,10	0,15	0,20
Perméable	0,06	0,08	0,10
Très perméable	0,03	0,04	0,05

Coefficient C3 :

Couverture végétale	C3		
Rocheux	0,22	0,26	0,30
Prairie	0,17	0,21	0,25
Labours champs	0,07	0,11	0,15
Forêt et territoire sableux	0,03	0,04	0,05

✓ Les bassins ont une pente inférieure à 3.5% (I <3.5%), La valeur de C1 est value **C1= 0.01**

- ✓ La valeur de **C2 est 0,30** qui est associée à un sol imperméable et est considéré constante pour toute la région de Tindouf.

- ✓ -La valeur de **C3 vaut 0,30** des Couverture végétale Rocheux

✓ **C = 0.01+0.30+0.30= 0.61**

✓ **D'où C = 0.61**

VI.8.2 Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue)

Pour évaluer les débits max des bassins versants aux sites des franchissements, on utilisera les formules empiriques qui sont élaborées en fonction de la pluie et des caractéristiques physiques des bassins versants. Un grand nombre de méthodes sont valables et ne donnent qu'une estimation relative de la grandeur de la crue.

VI.8.2.1 La méthode rationnelle

Le débit de crue pour les bassins versants de superficie inférieure à 10 km² a été calculé en appliquant la méthode rationnelle dont l'expression est de la forme suivante :

$$\mathbf{Q = 0.278 \times C \times i \times S}$$

Tel que :

Q : Débit de crue de fréquence déterminée en (m3/s).

C : Coefficient de ruissellement.

S : Surface du bassin versant en (km2).

i : Intensité de pluie de fréquence déterminée pour le temps de concentration en (mm/h).

VI.8.2.2 La méthode CRUPEDIX (1980-1982)

Pour les bassins versant de surface supérieure à 50 km2 et inferieur a 100 km2

Permet l'estimation du débit centennal à partir du débit décennal (Q10). La formulation ci-après a été obtenue par une analyse statistique de 630 bassins versants de moins de 100 km².

$$Q = Q_{10} = R \times \left(\frac{Pjmax}{80}\right)^2 \times S^{0.8}$$

Avec :

-Q10 : Débit décennal en m^3/s.

-PJ, max (10) : pluie journalière maximum décennale (mm) donné par ONM :

-R : Coefficient régional traduisant l'aptitude au ruissellement.

-Les valeurs des coefficients ci-après peuvent être retenues :

R = 0,2 pour des terrains perméables.

R= 1,5 à 1,8 pour des terrains imperméables.

R= 1 pour des terrains intermédiaires.

-S : Surface du bassin versant en (Km²).

PJ max (10) : Pluie journalière de période de retour décennale (T=10 ans)

Le paramètre (b') est dépendant de la superficie du bassin versant :

- Si la Surface inférieure à 20 Km^2, b' est déterminé en appliquant la formule rationnelle tel que :

$$b' = QR_{(100)} / QR_{(10)}$$

- Si la Surface supérieure à 20 Km2, (b') est déterminé à partir des données provenant des cours d'eau jaugés sur des bassins versants représentatifs à proximité du projet, b' =2 au minimum.

- **Evaluation du débit QT de période de retour T**

L'évaluation d'un débit de période de retour T compris entre 10 et 100 ans peut être obtenue par la formule suivante en admettant que la répartition statistique des valeurs observées suive la loi de Gumble :

$$QT = Q10 + \Delta Q ((y/2,3)-1)$$

Avec :

- **$\Delta Q = Q100 – Q10$;**
- **$Y = -\ln(-\ln(1-1/T))$.**

VI.8.2.3 Formule de transition

Pour les bassins versant de surface supérieure à 10 km2 et inferieur a 50 km2

$$QT = \alpha * Q(RT) + \beta * Q(CT)$$

Avec :

-QT : débit de projet de période de retour T

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

-Q(CT) : débit fourni par la formule Crupédix, période de retour T

α, β : coefficients de pondération

α varie linéairement de 0 à 1 lorsque la superficie(S) croît de 10 à 50 km²,

$\alpha = (50-S)/40$ et $\beta = 1 – \alpha$

VI.9 Application au projet

Calcul pour le bassin versant 02 avec une période de routeur de 100 ans

Nous avons : S=12,53km², L=6,939km, et I=0,009(m/m)

VI.9.1 Calcul du temps de concentration Tc

Nous avons un bassin de surface(5 Km² < 12.53 < 25 Km²) nous utilisons donc la formule de **PASSINI :**

$$t_c = 0.11\frac{\sqrt[3]{S\times L}}{\sqrt{I}} = 0.11\frac{\sqrt[3]{12,53\times 6,939}}{\sqrt{0,009}} = \mathbf{5,14h}$$

VI.9.2 Calcul des débits de projet par les différentes méthodes

VI.9.2.1 La méthode rationnelle :

$$\mathbf{Q = 0.278 \times C \times i \times S}$$

Tel que : $\boldsymbol{I(t) = a.\, t^{-b}}$

$\boldsymbol{a}$=50.17 D'où : $\boldsymbol{(t) = 50.17 \times 5.14^{-0.84} = 12.68}$

$\mathbf{b}$ =0.84

D'où : Q = 0.278 ×C× S ×i = 0,278× 0 .61×12.53×12.68

Q= **26.94m^3/s**

VI.9.2.2 Méthode CRUPEDIX

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

$Q_{10} = R \times (\frac{Pjmax(10)}{80})^2 \times S^{0.8}$

$Q_{10} = 1.8\times (\frac{64}{80})^2 \times 12.53^{0.8}$

Q_{10} = **8.70 m^3/s**

$b' = \frac{26.94}{15.03} = 1.8$ Alors Q_{100}= **15.66m^3/s**

VI.9.2.3 La méthode de transition

$$\mathbf{QT = \alpha \times Q(RT) + \beta \times Q(CT)}$$

Tel que :

α = (50-S)/40

$\alpha = \frac{(50-12.53)}{40} = 0.94$ D'où QT = 0.94×26.94+ 0.06× 15.66

β = 1 – α =1-0.94=0.06 QT=**26.26 m^3/s** D'où les débits retenus sont ceux de **la méthode crupedix** pour une surface (5 Km² < 12.53 25 Km²)

Tableau VI.6 : Le Temps de concentration calculé en 3 méthode

N° BV	PK	S	L	dh	J(m/m)	S<5 km^2	5km2<S< 25 km^2	S(BV)>25km^2
	Km	Km^2	km	m	m/m	Ventura(h)	Passini(h)	Giandotti(h)
01	936+600	52,832	12,381	62	0,0050	-	-	7,564
02	937+375	12,53	6,939	61	0,0090	-	5,043	-
03	937+825	0,415	0,867	4	0,0050	1,159	-	-
04	940+325	0,114	0,296	3	0,0100	0,429	-	-
05	940+450	0,593	1,562	29	0,0190	0,711	-	-
06	940+700	0,204	0,748	9	0,0120	0,524	-	-
07	941+125	0,93	1,816	42	0,0230	0,809	-	-
08	941+575	0,099	0,344	8	0,0230	0,264	-	-
09	942+075	0,019	0,197	4	0,0200	0,124	-	-
10	942+075	0 ,156	0 ,741	8	0,0110	0.478	-	-
11	942+218.43	7 ,502	3,105	41	0,0130	-	3.015	-
12	942+750	0,787	1,639	25	0,0150	0,921	-	-
13	942+750	0,023	0,266	4	0,0150	0,158	-	-
14	942+750	0,022	0,18	4	0,0220	0,127	-	-
15	943+819.56	0,006	0,076	1	0,0130	0,086	-	-
16	944+500	0,048	0,298	4	0,0130	0,244	-	-
17	944+500	1,185	1,876	21	0,0110	1,320	-	-
18	945+150	0,776	1,007	14	0,0140	0,947	-	-

19	946+785	0,054	0,302	8	0,0260	0,183	-	-
20	946+850	0,009	0,051	6	0,1180	0,035	-	-
21	947+150	0,125	0,519	17	0,0330	0,248	-	-
22	947+475	0,392	1,072	12	0,0110	0,759	-	-
23	948+500	1,568	2,505	31	0,0120	1,454	-	-
24	948+895	0,057	0,35	21	0,0600	0,124	-	-
25	948+925	0,188	0,786	27	0,0340	0,299	-	-
26	949+070	0,024	0,14	7	0,0500	0,088	-	-
27	949+350	0,01	0,052	4	0,0770	0,046	-	-
28	949+445	0,002	0,034	2	0,0590	0,023	-	-
29	949+555	0,143	0,502	24	0,0480	0,220	-	-
30	949+615	0,003	0,06	2	0,0330	0,038	-	-
31	949+675	0,05	0,544	24	0,0440	0,136	-	-
32	949+765	0,014	0,163	7	0,0430	0,073	-	-
33	949+815	0,005	0,047	2	0,042	0,044	-	-
34	950+000	0,054	0,494	17	0,034	0,160	-	-

BV	S	Tc	FORMULE RATIONELLE				FORMULE Crupedix					FORMULE de Transition			Débit de crue (Qap) RETENUE
Km	Km^2	h	I (10ans)	Q (10 ans)	I(100ans)	Q(100ans)	Pjmax 10	R	Q (10ans)	b'	Q (100ans)	α	β	Q(100 ans)	Q(100ans)

Tableau VI.7 : Le Débit max des écoulement qui traversent le tracé pour des période de retours 10 ans et 100 ans

1	52,832	7,564	3,05	27,30	4,88	43,66	64,00	1,8	27,53	2,00	55,06	-0,07	1,07	55,86	55,06
2	12,53	5,043	4,18	8,88	6,80	14,44	64,00	1,8	8,71	1,63	14,15	0,94	0,06	14,42	14,42
3	0,415	1,159	13,17	0,93	22,71	1,60	64,00	1,8	0,57	1,72	0,98	1,24	-0,24	1,74	1,60
4	0,114	0,429	28,60	0,55	51,30	0,99	64,00	1,8	0,20	1,79	0,36	1,25	-0,25	1,15	0,99
5	0,593	0,711	19,28	1,94	33,90	3,41	64,00	1,8	0,76	1,76	1,33	1,24	-0,24	3,89	3,41
6	0,204	0,524	24,47	0,85	43,54	1,51	64,00	1,8	0,32	1,78	0,57	1,24	-0,24	1,73	1,51
7	0,93	0,809	17,44	2,75	30,50	4,81	64,00	1,8	1,09	1,75	1,90	1,23	-0,23	5,46	4,81
8	0,099	0,264	41,77	0,70	76,39	1,28	64,00	1,8	0,18	1,83	0,33	1,25	-0,25	1,52	1,28

9	0,019	0,124	75,30	0,24	141,95	0,46	64,00	1,8	0,05	1,89	0,09	1,25	-0,25	0,55	0,46
10	0,156	0,478	26,29	0,69	46,95	1,24	64,00	1,8	0,26	1,79	0,47	1,25	-0,25	1,43	1,24
11	7,502	3,501	5,56	7,07	9,17	11,66	64,00	1,8	5,78	1,65	9,53	1,06	-0,06	11,79	11,66
12	0,787	0,921	15,76	2,10	27,42	3,66	64,00	1,8	0,95	1,74	1,65	1,23	-0,23	4,12	3,66
13	0,023	0,158	62,33	0,24	116,37	0,45	64,00	1,8	0,06	1,87	0,11	1,25	-0,25	0,54	0,45
14	0,022	0,127	73,91	0,28	139,20	0,52	64,00	1,8	0,05	1,88	0,10	1,25	-0,25	0,62	0,52
15	0,006	0,086	100,18	0,10	191,63	0,19	64,00	1,8	0,02	1,91	0,04	1,25	-0,25	0,23	0,19
16	0,048	0,244	44,41	0,36	81,49	0,66	64,00	1,8	0,10	1,83	0,19	1,25	-0,25	0,78	0,66
17	1,185	1,32	11,90	2,39	20,41	4,10	64,00	1,8	1,32	1,71	2,26	1,22	-0,22	4,50	4,10
18	0,776	0,947	15,42	2,03	26,80	3,52	64,00	1,8	0,94	1,74	1,63	1,23	-0,23	3,96	3,52
19	0,054	0,183	55,59	0,51	103,17	0,94	64,00	1,8	0,11	1,86	0,21	1,25	-0,25	1,13	0,94
20	0,009	0,035	201,98	0,31	400,51	0,61	64,00	1,8	0,03	1,98	0,05	1,25	-0,25	0,75	0,61
21	0,125	0,248	43,85	0,93	80,41	1,70	64,00	1,8	0,22	1,83	0,40	1,25	-0,25	2,02	1,70
22	0,392	0,759	18,33	1,22	32,13	2,13	64,00	1,8	0,54	1,75	0,95	1,24	-0,24	2,42	2,13
23	1,568	1,454	11,04	2,93	18,86	5,01	64,00	1,8	1,65	1,71	2,82	1,21	-0,21	5,47	5,01
24	0,057	0,124	75,30	0,73	141,95	1,37	64,00	1,8	0,12	1,89	0,22	1,25	-0,25	1,66	1,37
5	0,188	0,299	37,90	1,21	68,98	2,20	64,00	1,8	0,30	1,82	0,55	1,25	-0,25	2,60	2,20

26	0,024	0,088	98,40	0,40	188,05	0,76	64,00	1,8	0,06	1,91	0,11	1,25	-0,25	0,93	0,76
27	0,01	0,046	163,20	0,28	320,10	0,54	64,00	1,8	0,03	1,96	0,06	1,25	-0,25	0,66	0,54
28	0,002	0,023	280,24	0,09	565,11	0,19	64,00	1,8	0,01	2,02	0,02	1,25	-0,25	0,24	0,19
29	0,143	0,22	48,15	1,17	88,71	2,15	64,00	1,8	0,24	1,84	0,45	1,25	-0,25	2,57	2,15
30	0,003	0,038	189,43	0,10	374,39	0,19	64,00	1,8	0,01	1,98	0,02	1,25	-0,25	0,23	0,19
31	0,05	0,136	70,07	0,59	131,60	1,11	64,00	1,8	0,10	1,88	0,20	1,25	-0,25	1,34	1,11
32	0,014	0,073	113,84	0,27	219,19	0,52	64,00	1,8	0,04	1,93	0,07	1,25	-0,25	0,63	0,52
33	0,005	0,044	168,96	0,14	331,98	0,28	64,00	1,8	0,02	1,96	0,03	1,25	-0,25	0,34	0,28
34	0,054	0,16	61,72	0,56	115,18	1,05	64,00	1,8	0,11	1,87	0,21	1,25	-0,25	1,26	1,05

VI.10 Etude hydraulique

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

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

VI.10.1 Types d'ouvrages transversaux

VI.10.1.1 Les Buses

Les buses sont des ouvrages d'hydraulique circulaires transversales fabriquées en béton ou en métal, en général, les buses en béton ne dépassent pas les diamètres ø=1.20m, ce qui exige une fondation solide (en béton).

VI.10.1.2 Les dalots

Les dalots représentent des ouvrages d'hydraulique transversales similaires aux buses, mais avec une section rectangulaire ou carrée, et sont réalisés uniquement en béton armé. Il s'agit d'ouvrages sous chaussée qui ne requièrent aucun remblai ; il est possible d'envisager une circulation à même la dalle en utilisant des moyens de circulation. La taille des dalots a été sélectionnée en fonction du débit d'eau entrant, selon le dimensionnement hydraulique effectué avec la formule de Manning-Strickler.

VI.10.1.3 Les ponts et viaducs

Ils doivent supporter des débits de crue centennale, ce qui signifie que les dimensions choisies pour ces ouvrages doivent respecter les critères suivants.

Q100< Qs

- Q100 : Débit de crue centennal (débit d'apport) en m^3/s.
- Qs : Débit de saturation de l'ouvrage en m^3/s.

✓ **REMARQUE** :

Le dimensionnement de tous les ouvrages hydrauliques des cours d'eau (dalots et ponts) est calculé pour la crue centennale (100ans).

VI.10.2 Types d'ouvrages longitudinaux

L'objectif de ces réseaux est de recueillir les eaux provenant du ruissellement de la plateforme. On collecte les eaux de la plateforme dans des fossés en béton ou en terre. Il sera nécessaire de

dimensionner ces ouvrages de manière adéquate pour chaque tronçon homogène. Il est important d'anticiper les aménagements indispensables pour leur entretien.

VI.10.3 Ouvrages de raccordement

Ces ouvrages visent à raccorder le réseau transversal au réseau longitudinal afin de garantir le bon fonctionnement du système d'assainissement.

Ce sont :

- Les regards de visite : sont indispensables pour l'entretien et le contrôle des collecteurs enterrés
- Différents raccordements (buse/regard), (buses/fossés.).

Il est important de prendre en compte une profondeur minimale de 10 cm dans ces ouvrages de décantation afin de capturer les fines et les graviers.

VI.11 Dimensionnement des ouvrages transversaux

La mise en place des ouvrages hydrauliques appropriés et réalisés selon des normes permettra de rétablir les écoulements superficiels interrompus par l'infrastructure ferroviaire. Ces constructions seront adaptées à un événement pluvieux qui se produit tous les cent ans.

Tableau VI.8 : Liste des ouvrage pré dimensionnés

N° BV	PK	Débit de crue (Qap) (m3/s)	Observations	Ouvrages projetés
1	**936+600**	55,86	**Un ruissellement généralisé**	**Dalot**
2	**937+375**	14,44	**Un ruissellement généralisé**	**Dalot**
3	**937+825**	1,60	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
4	**940+325**	0,99	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
5	**940+450**	3,41	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
6	**940+700**	1,51	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
7	**941+125**	4,81	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
8	**941+575**	1,28	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
9	**942+075**	0,46	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
10	**942+075**	1,24	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
11	**942+218.43**	9,53	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
12	**942+750**	3,66	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
13	**942+750**	0,45	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
14	**942+750**	0,52	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
15	**943+819.56**	0,19	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
16	**944+500**	0,66	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
17	**944+500**	4,10	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
18	**945+150**	3,52	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
19	**946+785**	0,94	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**

20	**946+850**	0,61	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
21	**947+150**	1,70	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
22	**947+475**	2,13	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
23	**948+500**	5,01	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
24	**948+895**	1,37	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
	948+925	2,20	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
26	**949+070**	0,76	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
27	**949+350**	0,54	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
28	**949+445**	0,19	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
29	**949+555**	2,15	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
30	**949+615**	0,19	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
31	**949+675**	1,11	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
32	**949+765**	0,52	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
33	**949+815**	0,28	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**
34	**950+000**	1,05	**Un ruissellement généralisé**	**Buse**

Les mesures hydrauliques s'appuient sur l'utilisation de la formule de Manning-Strickler pour vérifier la capacité d'évacuation des eaux pluviales.

VI.11.1 Critères à respecter pour le dimensionnement de l'ouvrage

L'ouvrage d'assainissement (OA) doit être capable d'évacuer le débit de crue correspondant à une pluie centennale.

La hauteur d'eau atteinte par ce débit ne doit pas dépasser 80 % de la hauteur totale de l'ouvrage pour le dalot, conformément à la norme hydraulique de la SNTF (Société Nationale des Transports Ferroviaires).

La pente de l'ouvrage doit être au minimum de 1 % pour éviter des vitesses d'écoulement trop importantes, qui risqueraient d'endommager l'ouvrage.

VI.11.2 Calcul du débit de saturation

Il repose sur la formule de Manning-Strickler :

Cette formule permet de calculer le débit maximal que peut supporter l'ouvrage, et de s'assurer que ce débit est supérieur ou égal à celui généré par une pluie centennale. Cela garantit que la voie ou le réseau de drainage reste fonctionnel et en bon état même lors d'événements pluvieux extrêmes.

$$QS = V \times S_m \quad \text{Avec} \quad V = K_{St}\ J^{1/2}\ R_h^{2/3}$$

$$QS = K_{St}\ J^{1/2}\ R_h^{2/3}\ S_m$$

- ✓ I : Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).
- ✓ Rh : Rayon hydraulique
- ✓ SM : Section mouillée de l'ouvrage b x Hu (m2)
- ✓ b : Largeur de l'ouvrage (m).
- ✓ Hu : Hauteur utile (m). - HT : Hauteur totale (m).
- ✓ Ks : Coefficient de rugosité ; Pour le béton Ks=70

Il est nécessaire de prévoir un tirant d'air (espace libre entre la surface de l'eau et l'intrados de l'ouvrage) afin de permettre le passage des objets flottants tels que les déchets, les branchages, etc. En effet, ces éléments peuvent s'accrocher en traversant un ouvrage hydraulique (comme une buse ou un dalot) et provoquer progressivement l'obstruction de la section d'écoulement.

Remarque :

Dans le cadre de cette étude : les ouvrages transversaux ont été dimensionnés en prenant en compte le débit centennal (pluie exceptionnelle). Les ouvrages longitudinaux ont été dimensionnés avec le débit cinquantennal

VI.11.3 Vérification des condition auto curage

Les conditions d'auto curage consistent à vérifier les vitesses d'écoulement pour les taux de remplissages de 1% et 10% des débits, afin d'assurer la durabilité des ouvrages (en vue de l'érosion des parois et la stagnation des eaux) :

- ✓ 1ere condition : pour Rq =Q /Qps= 0.1 il faut V >0.6 m/s.
- ✓ 2ème condition : pour Rq= Q/Qps= 0.01 il faut V >0.3 m/s.

VI.12 Dimensionnement des ouvrages de drainage transversal

Notre tronçon compte écoulements sur un linéaire de km, donc le débit à écouler perpendiculairement à l'axe de l'assise, le rétablissement de l'écoulement naturel sera assuré par buse et des dalots.

VI.12.1 Dimensionnement des buses

On prend l'écoulement au **Pk937+825** qui corresponde à BV 03, dont le débit Q100 =1,60 m3/s.

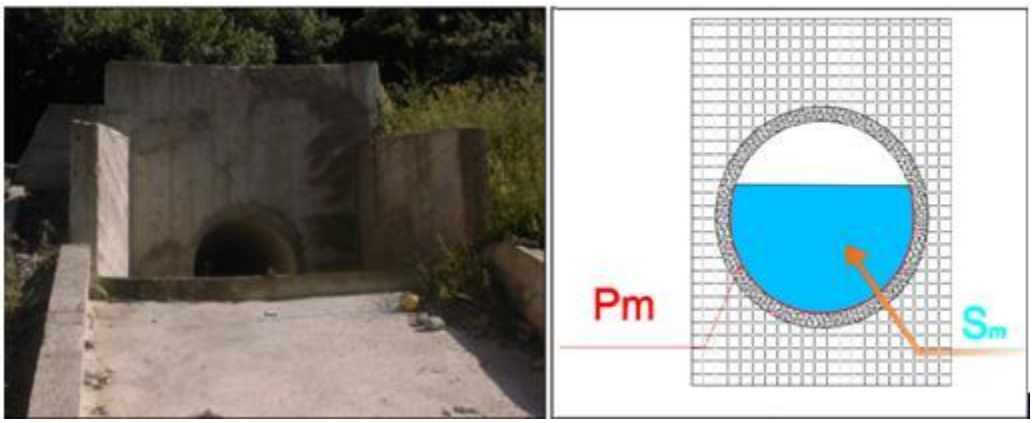


Figure VI-4 : Ouvrage hydraulique buse

Soit une buse de Ø = 1500 mm

Hr : la hauteur de remplissage ; Hr = 0.75 Ø = 1.125m. D'où

- ✓ Sm = 1.325 m^2
- ✓ Une pente de I = 1 %.
- ✓ Buse en béton : Kst = 70.

VI.12.1.1 Calcul débit de transition avec la formule de MANNING STRICKLER :

$$\mathbf{Q_{ps} = K_{St}\ J^{1/2}\ R_h^{2/3} Su = 70 \times 0.01^{0.5} \times \left(\frac{1.325}{3,534}\right)^{2/3} \times 1.325 = 4.822\ m^3/s > Q100 = 1,6\ m^3/s.}$$

1ere condition :

- ✓ pour Q /Qps =0.1 il faut Vécoulement > 0.6 m/s.
- ✓ Rq= Q/Qps= 0.1 Rv = V/Vps = 0.64 V= 0.64× 3.64= 2.32 m/s > 0.6m/s.

2ème condition

- ✓ pour Q/Qps = 0.01 il faut Vécoulement > 0.3 m/s.
- ✓ Rq= Q/Qps = 0.01 Rv = V/Vps = 0.32 V= 0.32× 3.64= 1.16 > 0.3m/s.
- ✓ Qs > Q100

Les conditions auto curage sont vérifiées

VI.12.2 Exemple de dimensionnement de Dalot :

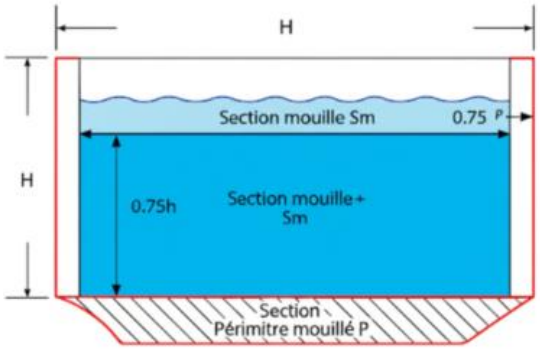


Figure VI-5 : Ouvrage hydraulique dalot

- ✓ Les calculs hydrauliques des dalots doivent être vérifiés pour un taux de remplissage de 75%.
- ✓ h = 0.75H.
- ✓ Les dimensions des dalots sont obtenues en écrivant l'égalité du débit des crues et le débit de saturation :
- ✓ Dans notre projet, les dalots sont en béton, le ks est donc de 70

Notre dalot représente les caractéristiques suivantes :

- ✓ B : largeur nette du cadre (m).
- ✓ H : hauteur nette (m)
- ✓ 0.75H : hauteur de remplissage (m)
- ✓ Rh : Rayon hydraulique.

En utilisant la formule de Manning –Strickler :

D'où $Sm=0{,}75\times H\times B$

$$Rh=\frac{0{,}75\times H\times B}{1.5H+B}$$

$$Qmax= Ks \times Sm \times I^{0,5}\times Rh^{2/3}=70\times(0{,}75\times H\times B)\times I^{0.5}\times\left(\frac{0{,}75\times H\times B}{1.5H+B}\right)^{2/3}$$

Application numérique :

Dans le cadre de l'étude hydraulique du tronçon concerné, nous avons identifié deux dalots destinés à assurer l'écoulement des eaux au niveau du PK 936+600 et PK 937+375 étudié.

Pour le premier dalot, nous supposons une largeur de base B = 3 mètres. Afin de dimensionner ce dalot de manière optimale, nous avons recours à la méthode des itérations pour déterminer la hauteur de remplissage *h* qui permet de satisfaire l'égalité entre le débit requis et le débit calculé selon les formules d'hydraulique à section rectangulaire.

Cette même approche est appliquée au deuxième dalot par la formule de MANNING-STRICKLER et le débit de transit :

On prend : Ks = 70 ; I = 0.01; B = 3 m

Après le calcul itératif de l'équation précédente on obtient : H = 1.445 m on prend H = 2.00 m

Donc les valeurs retenues pour cette section de dalot sont : B = 3 m ; H = 2.00 m

Alors : $\boldsymbol{Sm}$ = 4.5 $\boldsymbol{m}$2 ; $\boldsymbol{Pm}$ = 6 $\boldsymbol{m}$; $\boldsymbol{Rh}$ = 0.75 m

VI.12.2.1 Calcul débit de transition avec la formule de MANNING STRICKLER

$Qps = Ks \times Sm \times Rh^{2/3} \times I^{0.5} = 70 \times 4.5 \times (0.75)^{2/3} \times 0.01^{0.5}$

$Qps = 26.00\ \boldsymbol{m^3/s}$

$Vps = \frac{Qps}{Sm} = \frac{26}{4.5} = 5.77 m/s$

VI.12.2.2 Vérification de vitesse de saturation

$Qs = Ks \times S \times R^{2/3} \times I^{1/2} = 70 \times 6.00 \times (0.6)^{2/3} \times 0.01^{0.5}$

$Qs = 29.88 \boldsymbol{m^3/s} > Q100 = 14{,}42 m3/s$ Vérifié

$Vs = \frac{Qmax}{Sm} = \frac{14.42}{4.5} = 3.20$ m/s<4m/s Vérifié

VI.12.2.3 Vérification des conditions auto curage :

Vérification de la condition pour assurer un écoulement fluvial :

$hcr = \sqrt[3]{\frac{Qps}{g \times B^2}} = \sqrt[3]{\frac{24.83}{9.8 \times 3^2}} = 0.655m < H = 1.2\ m$ **Vérifié.**

1ére condition :

- ✓ pour Q /Qps =0.38 il faut Vécoulement > 1 m/s.
- ✓ Rq= Q/Qps=0.38 Rv = V /Vps = 0.93 V= 0.93× 5.77= 5.37> 1m/s. **Vérifié**

2éme condition :

- ✓ pour Q /Qps =0.1 il faut Vécoulement > 0.6 m/s.
- ✓ Rq= Qps = 0.1 Rv = V /Vps = 0.64 V= 0.64× 5.77= 3.69 > 0.6m/s. **Vérifié**

3ème condition :

- ✓ pour Q/Qps= 0.01 il faut Vécoulement > 0.3 m/s.
- ✓ Rq= Qps = 0.01 Rv = V /Vps = 0.32 V= 0.32× 5.77 = 1.85> 0.3m/s. **Vérifié**

Tableau VI.9 : Dimensionnement des buses

BV	Q100	D(bus)	Buse	Rh	Qps	Vps	Sm	Pm	Vs	VERIFICATION		
										0,1si>0.6	0,01si>0.3	OBSERVATION
3	1,6	1,5	1	0,38	4,82	3,64	1,32	3.53	1,21	2,32	1,16	vérifier
4	0,99	1,5	1	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	0,75	2,32	1,16	vérifier
5	3,41	1,5	1	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	2,57	2,32	1,16	vérifier
6	1,51	1,5	1	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	1,14	2,32	1,16	vérifier
7	4,81	1,5	2	0,75	30,62	5,78	5,30	7,07	0,91	3,69	1,85	vérifier
8	1,28	1,5	1	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	0,97	2,32	1,16	vérifier
9	0,46	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	0,35	2,32	1,16	vérifier
10	1,24	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	0,94	2,32	1,16	vérifier
11	9,53	1,50	2,00	0,75	30,62	5,78	5,30	7,07	1,80	3,69	1,85	vérifier
12	3,66	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	2,76	2,32	1,16	vérifier
13	0,45	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	0,34	2,32	1,16	vérifier

14	0,52	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	0,39	2,32	1,16	vérifier
15	0,19	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	0,14	2,32	1,16	vérifier
16	0,66	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	0,50	2,32	1,16	vérifier
17	4,1	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	3,10	2,32	1,16	vérifier
18	3,52	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	2,66	2,32	1,16	vérifier
19	0,94	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	0,71	2,32	1,16	vérifier
20	0,61	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	0,46	2,32	1,16	vérifier
21	1,7	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	1,28	2,32	1,16	vérifier
22	2,13	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	1,61	2,32	1,16	vérifier
23	5,01	1,50	2,00	0,75	30,62	5,78	5,30	7,07	0,95	3,69	1,85	vérifier
24	1,37	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	1,03	2,32	1,16	vérifier
25	2,2	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	1,66	2,32	1,16	vérifier
26	0,76	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	0,57	2,32	1,16	vérifier
27	0,54	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	0,41	2,32	1,16	vérifier
28	0,19	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	0,14	2,32	1,16	vérifier
29	2,15	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	1,62	2,32	1,16	vérifier

30	0,19	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	0,14	2,32	1,16	vérifier
31	1,11	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	0,84	2,32	1,16	vérifier
32	0,52	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	0,39	2,32	1,16	vérifier
33	0,28	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	0,21	2,32	1,16	vérifier
34	1,05	1,50	1,00	0,38	4,82	3,64	1,32	3,53	0,79	2,32	1,16	vérifier

Tableau VI.10 : Dimensionnement des dalot

BV	B	H	Pm	Sm	Rh	N°dalot	Qps	Vps	QS	VS	Rq= 0.1 >0.6	Rq=0.01 >0.3	Observation
01	3	2	6	4.5	1,50	3	26.00	5.77	29.88	3.20	3,17	1,59	vérifier
02	3	2	6	4.5	1,50	1	26,00	5,77	29,88	3.20	3.17	1.59	vérifier

VI.13 Dimensionnement des ouvrages longitudinaux

Afin d'assurer la durabilité de la ligne ferroviaire, il est indispensable de compléter le système de drainage transversal par un système de drainage longitudinal. Ce dernier a pour fonction de recueillir et d'évacuer les eaux de pluie ruisselant sur la plate-forme ferroviaire et les talus, ainsi que les eaux internes (provenant de l'infiltration dans les structures d'assise ou de la nappe phréatique).

Le dimensionnement de ces ouvrages doit respecter plusieurs principes fondamentaux :

- ✓ En zone de déblai, un fossé à section trapézoïdale est aménagé au niveau des accotements de la plate-forme.
- ✓ Le drainage longitudinal doit toujours évacuer les eaux par gravité.
- ✓ En cas de déblai de grande hauteur, et en raison de la pente du terrain adjacent, des fossés de crête sont prévus afin de limiter l'érosion des talus et d'empêcher les eaux de surface d'atteindre la plate-forme

Application sur le projet :

VI.13.1 Dimensionnement des ouvrages longitudinaux (Les fossés)

Les fossés sont des ouvrages hydrauliques linéaires conçus pour transporter les eaux de surface issues du ruissellement sur l'infrastructure ferroviaire et son bassin versant. Leur objectif est de conduire ces eaux vers un exutoire situé hors de l'emprise de la voie, assurant ainsi la protection de la plate-forme.

Nous avons étudié le profil travers et les caractéristiques du terrain naturel afin de déterminer les surfaces du drainage.

Calcul des débits d'apport :

Pour le calcul hydraulique de fossé, la formule de Manning Strickler a été utilisée :

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

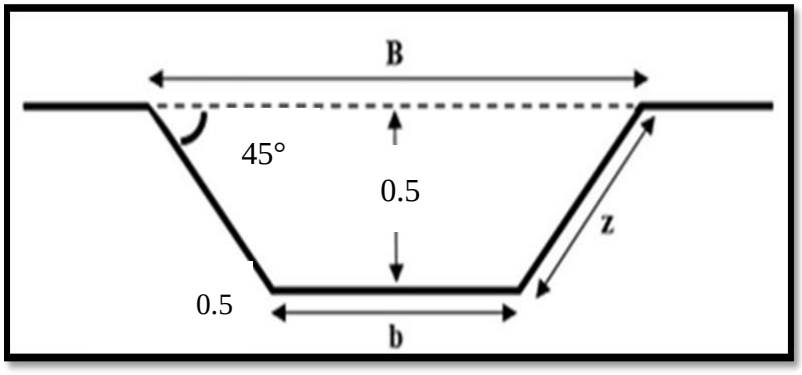


Figure VI-6 : Le faussé trapézoïdal type 01

Avec : z = 0.707 m

Sm = (b + z × h) × h = 0.427 m²

Pm =b+2h×$\sqrt{1+Z^2}$ = 1.72 m²

- Les hypothèses formulées pour le dimensionnement :
- Coefficient de rugosité Strickler Ks = 70
- Le débit à évacuer qui est la somme des 3 débits La plate-forme, les bermes et les talus :

Qa = Qpf + Qt + QB

-La pente des fossés en zone de déblai correspond à celle du profil en long de voie

-Dans les calculs de débit, on considère le cas le plus défavorable : quand il y a un déblai qui s'étend sur une grande distance avec une hauteur importante.

-Nous calculons chaque débit en appliquant la méthode rationnelle :

$$Q = 0.278 \times Cr \times I \times A$$

Q: Débit de crue correspondant au bassin versant [m3/s]

C:Coefficient de ruissellement.

I [m/m] : Pente longitudinale.

A [Km²] : Surface du bassin versant considérer (la plateforme -les talus – la berme).

Tableau VI.11 : Débit des remblai et déblais

		Déblais		
		Le cas plus défavorable : H_{max} = 8m Longueur = 628 m Largeur de la plateforme = 6.8m		
	Formule	**Plateforme**	**Talus**	**Bermes**
S (Km²)	**A = d × l**	0.00427	0.01315	0.001256
P[m/m]	-	0.04	0.5	0.02
Cr	-	0.7	0.4	0.4
Tc [h]	**0.127×** $\sqrt{\frac{S}{I}}$	0.0415	0.0206	0.03

I [mm/h]	$\mathbf{I = a \times t^{-b}}$ Avec : a = 27.54; b= 0.83	386.35	690.96	505.77
Q [m^3/s]	Q = **0.278**×Cr×I×A	0. 32	1.01	0 .07
Q_{total} [m_3/s]	**Qpf + QT + QB**	1.4		
Qps [m^3/s]	**Qps = Ks Sm $Rh^{2/3}$ $I^{1/2}$**	1.66		
Type de faussé	**-**	Trapézoïdale		
Vérifications	**$Qps > Q_{total}$**	Vérifier		

Le tableau de calcul du fossé offre des dimensions précises basées sur le débit à évacuer, la pente des talus et la surface à drainer assurant une évacuation efficace des eaux de surface.

Ces résultats garantissent la stabilité hydraulique.

Tableau VI.12 :Dimension du faussé adopté type 01

b	B	h	z	Sm (m^2)	Pm (m)	Rh (m)	Ks	I (m/m)	Qps (m3/s)
0.5	1.5	0.5	0.707	0.427	1.72	0.248	70	0.02	1.66

VI.14 Conclusion

Ce chapitre a traité de l'analyse hydrologique et hydraulique essentielle à la sécurité et à la stabilité de notre projet. Nous avons évalué les caractéristiques des bassins versants ainsi que les débits d'eau, et dimensionné les infrastructures hydrauliques transversales et longitudinales.

D'après l'étude précédente sur le Tracé présentée avec les spécifications de la région on obtient les ouvrages de drainages longitudinaux et transversaux à réaliser le long de la ligne 2 dalot de (3×2) ; 32 buse ; Fossé de forme trapézoïdal en béton au niveau de la gare et un fossé en terre en déblai.

CHAPITRE VII : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

VII.1 Introduction

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

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

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

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

VII.2 Etude géologique

VII.2.1 Situation géographique

Le tracé du projet Béchar - Tindouf se situe au Sud-ouest de l'Algérie. Notre zone du projet entre le PK 935+00 et le PK 950+00 parcourt le territoire de la wilaya de Tindouf, et elle est limitée au Nord par le Maroc, au Nord-est par la wilaya de Béchar, à l'Ouest par le Sahara occidental, à l'Est par la wilaya d'Adrar et au Sud par la Mauritanie.

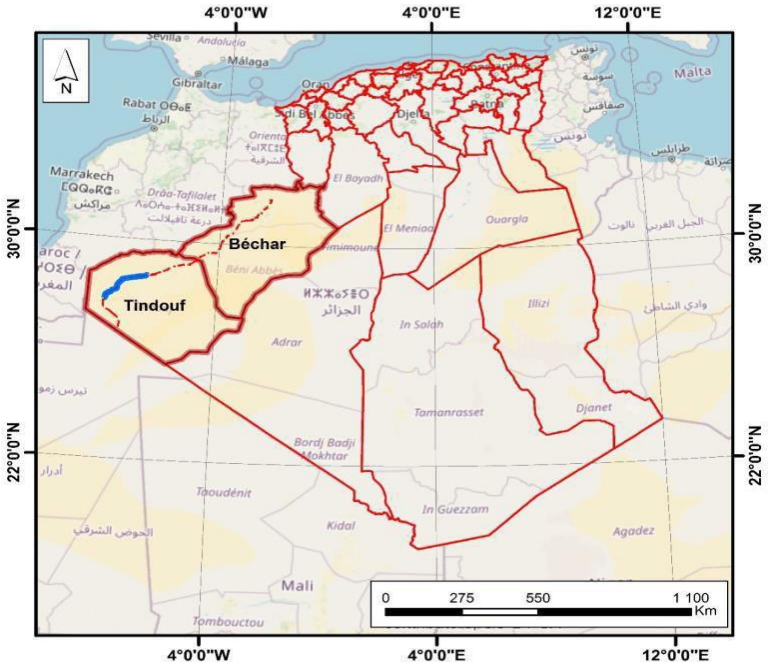


Figure VII-1 : Situation administrative du projet Béchar – Tindouf entre le PK 935+000 au PK 950+000.

VII.2.2 Formes géomorphologiques

Le territoire traversé par la ligne du tracé du projet Béchar – Tindouf entre le PK 935+000 au PK 950+000 se caractérise par les formes géomorphologiques suivantes :

• **Les massifs :** Dans le tronçon étudié, situé entre le PK 935+000 et le PK 950+000 on rencontre plusieurs formations géomorphologiques en forme de monticules, appelées localement "Kerb". Ces structures appartiennent à la couverture paléozoïque et présentent une orientation Est-Ouest. Elles sont fortement ravinées par un réseau hydrographique temporaire, constitué d'oueds qui s'écoulent vers les sebkhas latérales bordant le tracé.

Parmi les massifs les plus notables situés à proximité du tronçon, on peut citer :

- Kerb Chehiba
- Kerb En Naga
- Kerb Es Slouguia
- Kerb Sefiat

Les hamadas : la zone d'étude s'intègre dans un ensemble désertique, fortement dominé par les hamadas, dont la surface est tabulaire, comportant parfois quelques ondulations. L'étendue de la hamada est très vaste et a pour limites au Nord Est le piémont de l'Atlas, et au Sud-ouest le massif de Yetti. Le tracé passe essentiellement par la Hamada de Tindouf.

Les Sebkhas : La zone d'étude compte plusieurs sebkhas qui sont généralement des dépressions dans les Hamadas. Le tracé traverse essentiellement la sebkha de Tindouf et sa terminaison Sud, constituée par des formations tertiaires (PK 935 AU PK 950)

VII.2.3 Cadre géologique

VII.2.3.1 Cadre géologique général

Le tronçon situé entre le PK 935 et le PK 950 traverse l'extrémité sud du bassin paléozoïque de Tindouf, au contact direct du socle précambrien Églab-Yetti (dorsale des Réguibat). Cette zone appartient à la plateforme saharienne, caractérisée par un pendage faible (inférieur à 3°), typique d'un bassin péricratonique dissymétrique.

Le sous-sol est composé de formations sédimentaires paléozoïques reposant sur un socle rigide ancien. Ce contexte géologique offre une stabilité structurelle relative, tout en nécessitant une vigilance particulière face à la présence potentielle de failles profondes orientées Est-Ouest à Nord-Est–Sud-Ouest, typiques du bassin de Tindouf. Cette configuration influence directement le comportement hydrogéologique du terrain et doit être prise en compte dans toute étude de conception ou d'infrastructure.

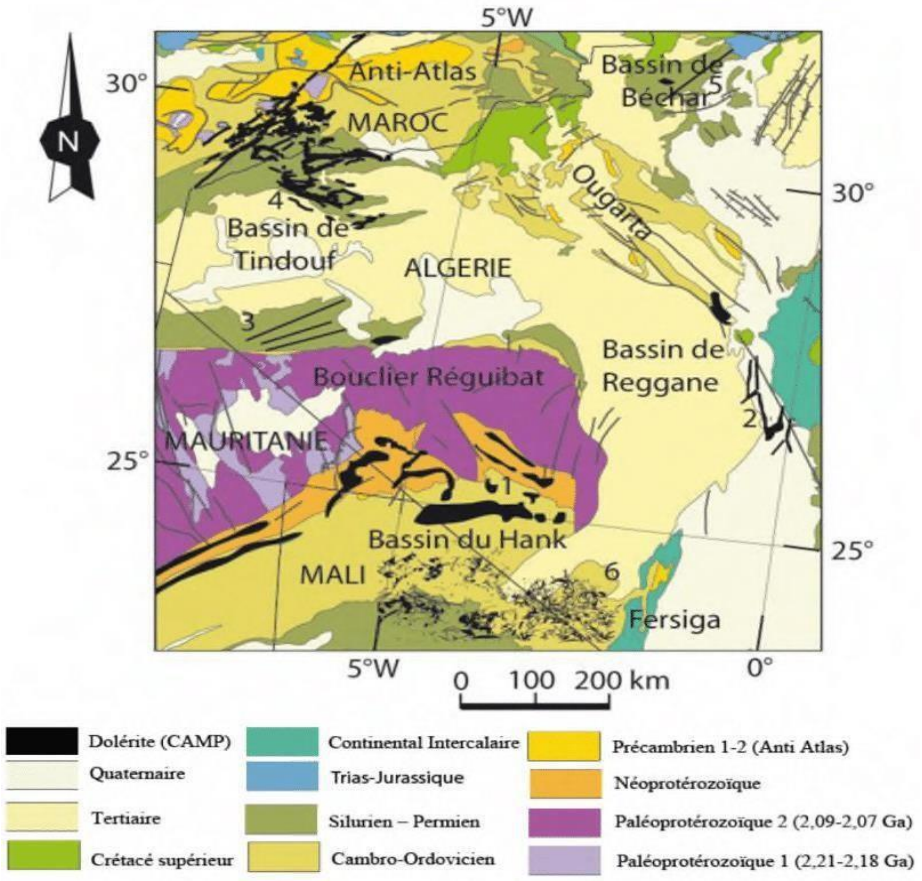


Figure VII-2 : : Cadre géologique général de la zone du projet Béchar – Tindouf entre le PK 800+000 au PK 950+000 (d'après la carte géologique de l'Afrique au 1/10.000.000, BRGM 2004).

VII.2.3.2 Cadre géologique local

Le tronçon PK 935 à PK 950 traverse le flanc sud du bassin de Tindouf, dans sa partie ouest, à proximité de la dorsale précambrienne des Réguibat. Ce secteur se caractérise par une structure de type péricratonique dissymétrique, avec un pendage très faible, et des affleurements sédimentaires paléozoïques (Ordovicien à Carbonifère) reposant en discordance sur le socle rigide. Le Tertiaire est représenté en surface au niveau des formations de la Hamada de Tindouf. La tectonique y est principalement cassante, avec une stabilité relative du sous-sol, favorable à l'implantation d'infrastructures linéaires telles qu'une ligne ferroviaire.

VII.2.4 Litho stratigraphie

Le tronçon de la ligne ferroviaire situé entre le PK 935 et le PK 950, en direction du gisement de Gara Djebilet, traverse une zone géologiquement riche et stratigraphiquement variée appartenant au flanc sud du bassin de Tindouf. Cette région se caractérise par l'affleurement de plusieurs formations paléozoïques importantes, notamment :

- ✓ Le Silurien, présent sous forme de séries argileuses monotones à faible puissance, traduisant un environnement sédimentaire calme et profond.

Le Dévonien, très bien représenté dans le secteur, avec ses trois subdivisions

- ✓ Le Dévonien inférieur, marqué par une succession de faciès conglomératiques, argilo-silteux et gréseux, incluant des niveaux ferrugineux oolithiques fortement développés dans la région de Gara Djebilet.
- ✓ Le Dévonien moyen, qui affleure près de l'Oued Talha, composé de grès, de marnes et de calcaires marins riches en fossiles (brachiopodes, polypiers).
- ✓ Le Dévonien supérieur, composé d'argiles, de grès et de niveaux gypseux, montrant une évolution progressive vers l'est.

- ✓ Le Carbonifère, représenté par des formations marines (Tournaisien, Visien) et continentales (Namurien supposé et Westphalien), dont certaines couches présentent des faciès argilo-gréseux riches en matière végétale fossile.

En couverture, les formations tertiaires et quaternaires se traduisent par la présence de la Hamada de Tindouf (complexe gréso-argileux et dalle calcaire néogène) ainsi que des formations superficielles

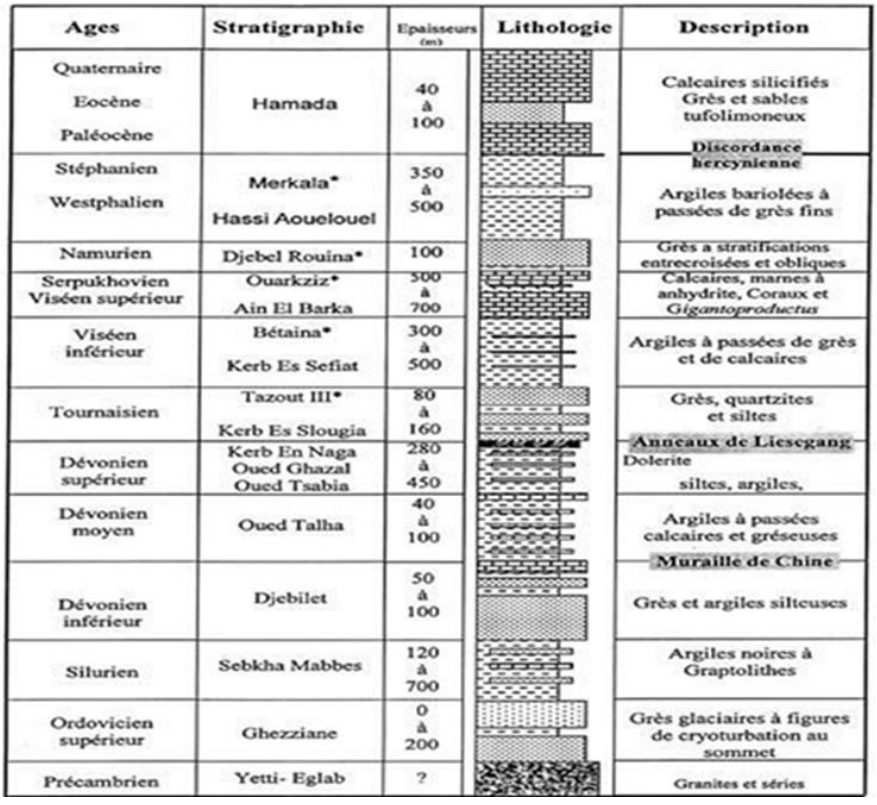


Figure VII-3 : différentes caractéristiques de sol de la région de Tindouf

VII.2.5 Sectorisation géologique

D'après la carte géologique de Tindouf au 1/500 000, les formations géologiques suivantes ont été identifiées :

Du PK 935+000 au PK 947+548 : le tracé traverse essentiellement la couverture paléozoïque constituée de formations qui débute par les formations de l'Ordovicien supérieur composées de grés grossiers à stratifications entrecroisés. Le Silurien affleure au sud de gara Djebilet, il est essentiellement argilo-schisteux. Le Dévonien constitué de argiles-silts avec des passages de grès ferrifères, argiles, calcaires et argilo-calcaires.

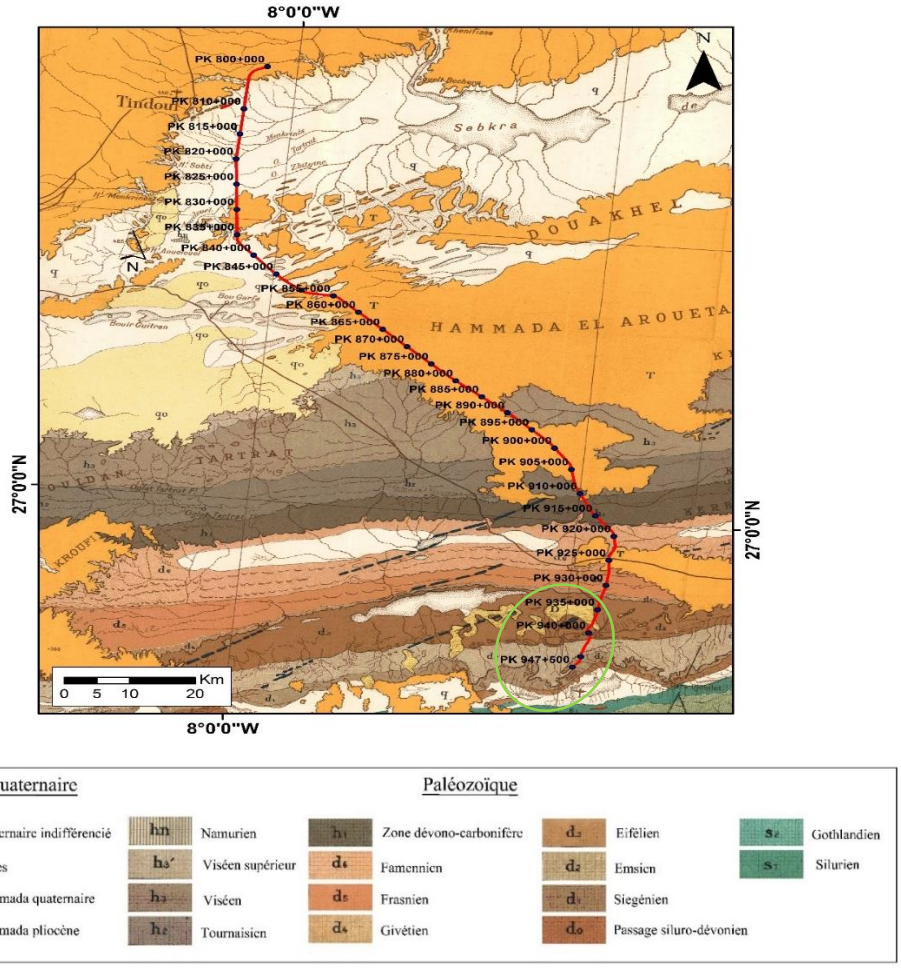


Figure VII-4: **Tracé du projet Béchar – Tindouf entre le PK 800+000 au PK 950+000 sur carte géologique de Tindouf au 1/500000**

VII.2.6 Risques géologiques

De manière générale, on peut distinguer deux catégories de risques qui pourraient avoir un impact sur l'environnement de la zone étudiée.

- Tempêtes de sable et poussière. Dues au fait que le tracé se déroule en zone désertique, ces phénomènes pourraient causer des dommages matériels considérables.

- Dissolution de la croûte et hydratation de sel. Étant donné que la pluie est habituellement sporadique et que l'évaporation agit intensivement, il se forme des croûtes évaporatoires susceptibles de se dissoudre. D'un autre côté, il peut aussi se produire des phénomènes d'hydratation avec le gonflement.

Du PK 938+700 au PK 938+800 ; du PK 938+900 au PK 939+000 : présence de Sable piégé dans des obstacles	
Entre le PK 943+700 au 944+000 : Le tracé traverse un champ de dunes très dense (ERG), de type « Sif » et « Barkhane ».	

Figure VII-5 : **Tronçon caractérisé par le risque de présence de sable pour le projet Béchar – Tindouf – Gara Djebilet, entre le PK 935+000 et PK 950+000.**

VII.3 Etude géotechnique

La géotechnique est une science dédiée à l'étude des propriétés physiques et mécaniques des roches et des sols, essentielle pour la conception et la réalisation des projets d'infrastructure. Dans le cadre des projets ferroviaires, elle permet de localiser et caractériser les différentes couches de terrain traversées. Programme d'investigation géotechnique traité les aspects suivants

- **Dimensionnement de la plate-forme ferroviaire**
  Pour cela on réalise des :

Puits de reconnaissance : de 3 à 5 m de profondeur pour un but de déterminer la nature de sol, selon les classifications GTR et UIC afin de permettre d'avoir la nature de sol et de vérifier la présence d'eau.

Essais pénétration dynamique : au moyen de pénétromètre dynamique lourd pour nous informer sur la consistance et la résistance du sol.

Sondages carottés : pour l'étude de stabilité. Permettant de caractériser à la fois la nature et l'état des sols et de déterminer la description lithologique.

- **Dimensionnement de fondations des ouvrages d'art**

Il s'agit de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques en place afin de déterminer la portance du sol et le type de fondation adéquate. Pour cela on fait des,

- Sondages carottés (Quel que soit pour les ouvrages en béton ou en terre), avec des sondages pressiométriques pour les fondations (des ouvrages d'art).

- **Traitement des zones des risques géotechniques, les zones d'emprunt de matériaux**

Il s'agit de faire des puits de reconnaissance et de déterminer les caractéristiques physico chimiques et mécaniques pour rechercher des matériaux susceptibles d'être utilisés en remblai et couche de forme.

VII.3.1 Plate-forme

VII.3.1.1 Section déblais

Sur les sections en déblais identifiées selon la ligne rouge du profil en long, des puits de reconnaissance de 2 à 4 mètres de profondeur seront réalisés à la pelle mécanique. Des prélèvements de matériaux remaniés seront effectués pour des essais d'identification et mécaniques en vue d'évaluer leur réutilisation en remblais. Des échantillons intacts paraffinés seront également extraits pour déterminer les caractéristiques intrinsèques du sol (teneur en eau, densité, cohésion, angle de frottement). Enfin, des essais au pénétromètre dynamique permettront d'estimer en continu la résistance du terrain.

Tableau VII.1 **: Programme géotechnique des sections en déblais**

PK	Hauteur Max (m)	Longueur de déblais (m)	Essai géotechnique		
			Essai in situ	Prof (m)	Essai au laboratoire
PK 935+000 au PK 935+105	5	105	-Des sondages carottés -Essais SPT selon la nature du sol - Pénétromètre dynamique lourd	15	-Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip) -Essai chimique (VBS) - Essais mécaniques.
			Puit de reconnaissance	4m	

PK 935+210 au PK 935+455	7	235	-Des sondages carottés -Essais SPT selon la nature du sol - Pénétromètre dynamique lourd -puits de reconnaissance	15	-Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip) -Essai chimique (VBS) - Essais mécaniques.
PK944+205 au PK 944+344	1	138.5	-Des sondages carottés -Essais SPT selon la nature du sol - Pénétromètre dynamique lourd - puits de reconnaissance	15	-Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip) -Essai chimique (VBS) - Essais mécaniques.
PK947+250 au PK947+383	2	132.71	-Des sondages carottés -Essais SPT - Pénétromètre dynamique lourd - puits de reconnaissance	15	-Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip) -Essai chimique (VBS) - Essais mécaniques.
PK 947+559 au PK 948+187	8	629.29	-Des sondages carottés -Essais SPT - Pénétromètre dynamique lourd - puits de reconnaissance		-Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip) -Essai chimique (VBS) - Essais mécaniques.

VII.3.1.2 Section remblais

Pour respecter les normes géométriques du tracé, certaines zones nécessitent des remblais de différentes hauteurs. Des investigations géotechniques sont donc prévues, comprenant la réalisation de puits de reconnaissance (profondeur 4 m) à la pelle mécanique, accompagnés de tests au pénétromètre dynamique pour évaluer la résistance du sol. Des échantillons intacts seront prélevés et analysés en laboratoire afin de déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques du sol (teneur en eau, densité, cohésion, angle de frottement, compressibilité et consolidation).

Tableau VII.2 : Programme géotechnique des sections en remblais

PK	Hauteur max	Longueur de remblai (m)	Essai géotechnique		
			Essai in situ	Prof (m)	Essai au laboratoire
PK 935+100 au PK 935+200	1		-Des sondages carottés -Essais SPT selon la nature du sol - Pénétromètre dynamique lourd	15	-Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip) -Essai chimique (VBS) -Essai Œdométrique.
			Puit de reconnaissance	4m	
PK 935+450 au PK 944+200	12	8754	-Des sondages carottés -Essais SPT selon la nature du sol -Pénétromètre dynamique lourd -puits de reconnaissance	15	-Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip) -Essai chimique (VBS) -Essai Œdométrique.

PK944+325 au PK 947+250	10	2908	-Des sondages carottés -Essais SPT selon la nature du sol - Pénétromètre dynamique lourd - puits de reconnaissance	15	-Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip) -Essai chimique (VBS) -Essai Œdométrique.
PK947+386 au PK947+559	4	173	-Des sondages carottés -Essais SPT - Pénétromètre dynamique lourd - puits de reconnaissance	15	-Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip) -Essai chimique (VBS) -Essai Œdométrique.
PK948+187 au PK 949+982	13	17894	-Des sondages carottés -Essais SPT - Pénétromètre dynamique lourd - puits de reconnaissance	15	-Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip) -Essai chimique (VBS) -Essai Œdométrique

VII.3.1.3 Les ouvrages d'art

La campagne géotechnique pour les ouvrages d'art prévoit un sondage carotté près de chaque ouvrage, accompagné d'essais pressiométriques et pénétrométriques. Des échantillons intacts paraffinés seront prélevés pour déterminer les paramètres intrinsèques du sol, tandis que les essais au pénétromètre dynamique fourniront une estimation continue de la résistance du terrain.

Tableau VII.3 : **Programme géotechnique des sections en Lot ouvrage d'art**

Ouvrage	Localisation	Essai géotechnique		
		Essais in situ	**Prof (m)**	**Essais au laboratoire**
Passage inferieur (Rétablissement Routier)	PK 939+000	-Des sondages pressiométriques -Des sondages carottés -Essais SPT	15 m	-Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip.). Essai chimique (VBS). - Essais mécaniques.
		Puit de reconnaissance	4m	
Ouvrages hydrauliques (Dalot)	PK **937+375**	-Des sondages pressiométriques -Des sondages carottés	10m	-Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip.). Essai chimique (VBS). - Essais mécaniques.

VII.3.2 Programme d'essais

La campagne géotechnique sur le terrain a été menée sur la base d'un programme de travail établi en fonction de terrassements envisagées le long du tracé où il a été scindé en deux partie :

- Sondages carottés de 10 m à 15 m de profondeur avec piézomètre et des essais SPT.
- Essais de pénétration dynamique jusqu'au refus.
- Puits de reconnaissances creusés jusqu'à une profondeur de 4 m.
- Des essais de laboratoires**.**

VII.3.3 Sondages réalisés

VII.3.3.1 Sondage pressiométrique

Les essais pressiométriques seront réalisés dans les trous de sondages préalablement forés soit à l'aide du foreur/tarière monté sur pressiomètre de profondeur de 15m.

VII.3.3.2 Sondage carotté

Un sondage carotté est une technique d'investigation du sous-sol qui permet de **prélever des échantillons de sol intacts** en continu à différentes profondeurs. Contrairement aux autres types de sondages, qui broient ou fragmentent, le sol le sondage carotté préserve la structure et les propriétés naturelles du sol, ce qui permet une analyse plus précise de ses caractéristiques. Les mesures seront relevées à des intervalles de 15m de profondeur.

VII.3.3.3 Les puits de reconnaissance

Les puits sont réalisés à l'aide d'un Retro–chargeur tout au long du tracé (endroits accessibles) sur une profondeur de 2m à 4m.

VII.3.4 Essai in-situ

VII.3.4.1 Sondages carottés

Dans la plupart des cas, les sondages ont été réalisés avec l'objectif de connaître les caractéristiques géologiques-géotechniques ou de fournir des informations complémentaires sur les terrains en place.

Nous donnons ci-dessous, la lithologie des sondages carottés réalisés.

VII.3.4.2 Essais de « Standard Pénétration Test » SPT

L'essai de pénétration au carottier consiste à déterminer la résistance à la pénétration dynamique d'un carottier normalisé battu au fond d'un forage préalable. En fonction de la profondeur, on donne le nombre de coups de mouton N nécessaire pour enfoncer le carottier de 30 cm. Ce nombre N caractérise la résistance à la pénétration.

Tableau VII.4 :Résultats d'essai SPT

N° forage	PK	Profondeur (m)	N_1	N_2	N_3	N_{spt}	Classification
F 95-LM/TB	**PK 946+ 700**	3.45-3.00	Refus	Refus	Refus	Refus	Très compact
		6.45-6.00	Refus	Refus	Refus	Refus	Très compact
		9.45-9.00	Refus	Refus	Refus	Refus	Très compact

VII.3.4.3 Essai pénétromètre Dynamique (PDL)

Les sondages pénétrométriques devront être réalisé conformément à la norme NFP 94-113, NFP 94-114 ou NFP 94-115 selon la méthode proposée.

L'essai devra être réalisé avec un pénétromètre dynamique jusqu'à la cote prévue. En l'absence de blocs en surface, le pénétromètre sera équipé d'une pointe permettant l'enregistrement en continu de la résistance de pointe au cours du fonçage, avec une saisie des valeurs tous les 20 cm maximums. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-après

Tableau VII.5 : Résultats d'essai PDL

N°sondage pénétrométrique	PK	Résultats en (m)
PDL 498	935+000	Refus à 0.6
PDL 499	936+500	Refus à 1.2
PDL 500	938+000	Refus à 1.0
PDL 501	939+500	Refus à 1.2
PDL 502	941+000	Refus à 0.4
PDL 503	942+500	Refus à 0.6

En conclusion, les résultats indiquent un refus en surface, suggérant ainsi que le **sol est compact.**

VII.3.5 Essais laboratoire

VII.3.5.1 Essais réalisés

a) Les essais d'identification et de classification physique

-Analyses granulométrie (NF EN 933-1)

Permet de déterminer les pourcentages des différentes familles de grains dans un échantillon, en utilisant le tamisage pour les grains d'un diamètre supérieur à 80 µm et la sédimentométrie pour les grains les plus fins.

-Les limites d''Atterberg : NF P 94-051

Permettent de détecter les teneurs en eau exprimées en pourcentage qui correspondent aux différentes limites des états, tels que la limite de liquidité et la limite de plasticité.

-Densité sèche NF P 94-053

Représente la masse des particules solides du sol par unité de volume total, excluant l'eau et l'air présents dans les vides.

-Teneur en eau : (*NF P 94-050)*

Le rapport du poids d'eau contenu dans un échantillon du matériau comparativement au poids du même matériau sec

b) Les essais mécaniques

-Essai Proctor (*NF-94 093)*

Permet de déterminer la quantité d'eau nécessaire pour atteindre la densité sèche optimale d'un sol par compactage.

-Indice CBR : NF P 94-078

C'est utilisé pour évaluer la capacité des matériaux à supporter les charges des remblais et des couches de forme, ainsi que la traficabilité des engins de terrassement. Cet essai de portance est un indicateur important pour la conception et la construction des routes et des infrastructures.

c) Les essais chimiques

-Essai au bleu de méthylène (VBS) NF EN 933-9 :

Également appelé essai au bleu, est utilisé pour déterminer l'argilosité d'un granulat de sable ou plus généralement d'un sol.

VII.3.5.2 Résultats des essais obtenus en laboratoire

Tableau VII.6 : Résultats des essais physiques des puits de reconnaissance

Puits	pk	Granulo		Limites d'Atterberg (%)			Proctor		CBR	VBS	Classification	
		Dmax	<80 µm	W_l	Wp	Ip	γ_d (t/m3)	Wopm %			GTR	UIC
PU-501-LM/TB	PK 935+ 000	50	15.88	NR	NR	NR	8,00	1,91	61,00	0,23	B5	**QS2**
PU-502-LM/TB	PK 936+ 500	50	14.85	NR	NR	NR	10,00	1.98	80,00	0,25	B5	**QS2**
PU-503-LM/TB	PK 938+ 000	31.5	13.26	NR	NR	NR	10,00	2,13	76,00	0,21	B5	**QS2**
PU-504-LM/TB	PK 939+ 500	31.5	13.97	NR	NR	NR	10,00	2,23	75,00	0,18	B5	**QS2**
PU-505-LM/TB	PK 941+ 000	31.5	14.82	NR	NR	NR	10,00	2,14	71,00	0,18	B5	**QS2**
PU-506-LM/TB	PK 942+ 500	50	15.66	NR	NR	NR	10,00	2,18	67,00	0,20	B5	**QS2**
PU-507-LM/TB	PK 944+ 000	31.5	15.89	NR	NR	NR	10,00	2,11	73,00	0,18	B5	**QS2**
PU-508-LM/TB	PK 945+ 500	31.5	15.67	NR	NR	NR	10,00	2,19	74,00	0,21	B5	**QS2**

Exemple de classification

Classification selon GTR pour PU-501-LM/TB au PK 935+ 000

Classe des sols : Dmax = 50 mm ≤50 mm alors la classe de sol est A ou B ou D Le passant à 80 µm est 15.88% ≤ 35% alors la sous classe de sol est : Bi (Sol sableux et graveleux avec fines) On a tamisat a 80µm compris entre 12% et 35% et VBS ≤ 1.5 Donc le sous classe de sols sera B5 (sable et graves très silteux)

Classification selon UIC 719 R : Le sol est de classe : QS2 (sols moyens)

Interprétation les résultats de laboratoire

Les essais granulométriques réalisées sur les échantillons testés montrent un pourcentage de passants à 80 µ faible à moyen compris entre 18% et 29%

Ces résultats indiquent que le terrain étudié présente des formations granulaires avec un faible pourcentage de fines, se classant ainsi dans la catégorie des sols grenus. Les essais de portance montrent des valeurs de CBR comprises entre 61% et 80%, indiquant une bonne résistance mécanique et une aptitude satisfaisante pour des travaux de terrassement. Les valeurs de VBS, comprises entre 0,18 et 0,25 caractérisent des sols sablo-limoneux avec une apparition de la sensibilité à l'eau

VII.3.5.3 Analyses Chimiques

L'analyse chimique complète est effectuée dans le but d'apprécier, principalement, l'agressivité du sol de fondation, vis-à-vis du béton et des armatures selon la norme **NA 16002 : 2016**.

Les échantillons testés en matière de la détermination de taux des sulfates sont prélevés à des profondeurs coïncidentes le plus probablement, avec la couche d'ancrage des fondations.

Tableau VII.7 : Résultats d'essais chimique

SC	Résultats exprimés en % et en poids				
	Profondeur (m)	**Sulfates SO^{--}_4 mg /l**	**Carbonates CaCo3 %**	**Chlorures Cl - « Solubles dans l'eau » %**	**Observation**
F-93-LM-TB **PK 935+ 500**	3.00-4.00	362.00	18.46	0.14	Agressivité faible selon NA 16002 : 2016
F-94-LM-TB **PK 943+ 900**	2.00-3.00	300.00	4.23	0.21	Agressivité faible selon NA 16002 : 2016

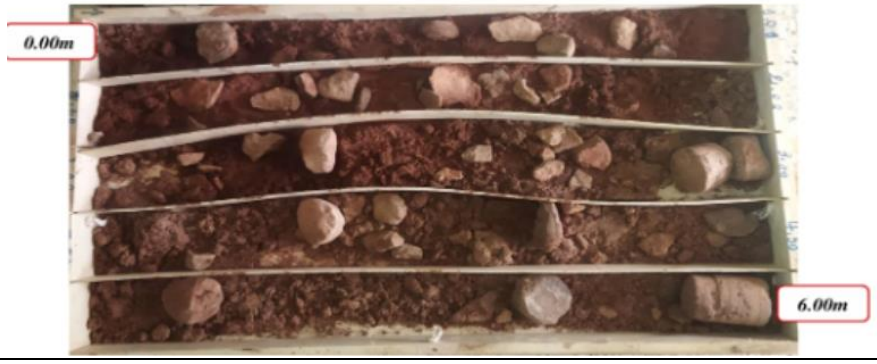
Interpretation finale

Les concentrations de **sulfates et de chlorures** sont relativement faibles et **ne posent pas de risque significatif** pour les matériaux de construction. (Béton et acier …)

- La présence importante de **carbonates** dans l'échantillon **F-93** indique que ce sol est **calcaire**.

VII.3.6 La lithologie de terrain

Tableau VII.8 : La lithologie de terrain

Sondage	Profondeur (m)	Description de sol	Photo de sondage
F-93-LM-TB AU PK 935+500	0m –6m	Sable rougeâtre à graves et cailloux de grés	
	6m – 10m	Grés calcaire, altéré, récupéré en morceau, brun	

Risque d'inondation

Sur cette zone d'étude, aucune zone inondable n'est détectée

VII.3.7 Utilisation des matériaux pour le remblai

VII.3.7.1 Matériaux de Gîtes d'emprunts et carrières

Pour notre terrain, nous avons opté pour une méthode de remblaiement, Les gites d'emprunt. Les gites utilisés sur chantier sont déterminés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VII.9: Gites utilisés sur chantier

Localisation		Essais In Situ		Nature du Sol	Classe UIC	Utilisation
Type	A proximité en parallèle	Essai In Situ	Prof. (m)			
Gite 43	PK 915+ 000	PU :38	4.0	Grès calcaire	QS3	-Sous ballast -Couche de forme -Couche de fondation -Couche supérieur du remblai
Gite 44	PK 942+ 000	PU :38	4.0	Grès calcaire	QS3	-Sous ballast -Couche de forme -Couche de fondation - -Couche supérieur du remblai

VII.3.8 Dimensionnement de la couche d'assise ferroviaire

L'infrastructure de la voie ferrée est la partie sur laquelle repose cette voie, elle sert à repartir sur la plateforme les charges exercées par les traverses et amortir les vibrations de la superstructure, de plus les couches d'assises contribuent à assurer, par leur nature et leur épaisseur, le bon comportement de la voie ferrée du point de vue rigidité, tenue du nivellement et drainage. Elles comprennent la couche de ballast, la couche sous-ballast, couche de fondation et une couche anti contaminant si nécessaire et une couche drainante.

VII.3.9 Couches d'assise

Par définition, la couche d'assise comprend la couche de ballast et la sous-couche (sous ballast+ couche de fondation) et la couche anti-contaminant et une couche drainante.

-Leurs rôles principaux sont :

L'amortissement des vibrations importantes provenant de contacte Rais – Roue ;

La répartition des charges provenant des traversés d'une manière presque uniforme sur la plateforme ;

La contribution à la stabilité longitudinale et transversale de la voie ferrée ; L'évacuation des eaux de ruissellement par le drainage.

VII.3.9.1 Ballast

Le ballast est un granulat propre de classe granulométrie de **[31.5/50] mm**, provenant de concassage des roches dures dépourvues de fines. La couche de ballast est d'une hauteur suffisante pour que la pression reçue par les traverses sous l'action des charges roulantes (Les Trains), se répartisse aussi uniformément que possible sur une plus grande surface de la plateforme. Aussi le ballast doit présenter une résistance élevée et une usure minimale.

- ✓ **Le ballast doit être conforme à la norme EN 53-695**

➢ Pour notre Ligne ferroviaire BECHAR-GARA DJEBILET le ballast sera constitué suivant les exigences mentionnée dans le tableau :

Tableau VII.10 : Exigences de fabrication de ballast

N°	Description	Proposition spécification pour l'axe haut (32,5 t)
1	Type de roche Matériau	Granit ou basalte
2	Qualité de base	Le ballast doit être propre et calibrée pierre concassée avec des particules dures, denses et anguleuses angulaires, offrant des angles vifs et des fragments cubiques avec un minimum de morceaux plats et morceaux plats allongés. Elle doit être exempte d'impuretés organiques et résidus inorganiques.
3	Forme des particules	Le ballast doit être de forme cubique. Les particules individuelles ne doivent pas être floconneuses et ne doivent pas avoir des faces généralement plates avec au maximum deux faces arrondies/sub- arrondies ou sous-arrondis.
4	Mode de fabrication	Le ballast ne doit être broyé qu'à la machine.
5	Abrasion des agrégats Valeur	25%
6	Impact global Valeur	18%
7	Absorption d'eau	0.5% Maximum

8	Taille et gradation	Retenu sur un tamis à mailles carrées de 65 mm. 30% - 50%. Retenu sur un tamis à mailles carrées de 40 mm. - 70%-90%. Retenu sur un tamis de 20 mm de côté pas moins de 90%.
9	Epaisseur du ballast	30 cm
10	Largeur de l'accotement Ballast	500mm en alignement 700mm en devers

VII.3.10 Sous-couche

La sous-couche est une couche d'adaptation interposée entre ballast et plate-forme, Elle comprend :

- **Une couche sous-ballast**

La sous-couche de Ballast se trouve sous la couche de ballast, qui regroupe les différentes couches Les fonctions de la couche de sous-ballast sont les suivantes :

-Préserver la partie supérieure de la plateforme de l'érosion qui peut se produire. Cela peut être causé soit par le poinçonnement effectué par les éléments de ballast, soit par l'action des eaux zénithales.

-Préserver les plateformes des effets du gel.

-Améliorer la répartition des charges transmises, ce qui permet d'obtenir des sollicitations de valeurs admissibles au niveau de la partie supérieure de la plateforme, en fonction de l'indice de portance du sol. La mise en place du sous-ballast est réalisée en utilisant une grave propre, bien calibrée, avec au moins 30% de concassés d'un calibre 0/31,5 mm, avec les sous-produits les plus prometteurs des carrières ouvertes.

- **Une couche de fondation**

La couche de fondation est réalisée en utilisant un grave propre et bien élevé. Les matériaux utilisés peuvent être soit des déchets provenant des carrières de ballast, soit des alluvions provenant

des rivières. Les matériaux de la couche de fondation doivent être de taille suffisante pour éviter toute contamination par rapport à la couche de forme et à la couche de sous-ballast.

La couche de fondation n'est pas requise sur les sols les plus performants.

- **La couche anti-contaminante**

Est une strate intermédiaire placée entre la couche de fondation et la couche de forme de la voie ferrée, utilisée dans la construction de chaussées pour préserver les propriétés mécaniques des

matériaux de la structure en empêchant leur contamination par la pénétration des matériaux du sol-support.

VII.3.11 La plateforme ferroviaire

La plate-forme correspond à l'étage en terre qui supporte la sous-couche. Ses composantes sont les terres rapportées lors d'un remblai ou le sol en place lors d'un déblai.

Quel que soit son type (déblais ou remblais), le sol de la plateforme doit respecter plusieurs critères :

D'évaluer la qualité globale de la plateforme : couche de structure + sol sous-jacent.

De prendre en compte la qualité de chaque sol qui constitue la plate-forme.

VII.3.11.1 La couche de Forme

La couche de forme se situe entre la partie supérieure de la terrasse (PST). Elle permet notamment d'ajuster les propriétés aléatoires des matériaux qui composent la PST, lesquels sont répartis de manière dispersée (en remblai ou en terrain en place).

Elle possède diverses caractéristiques mécaniques, géométriques, hydrauliques et thermiques

VII.4 Dimensionnement des couches d'assise

- **Plate- Forme Proposée**

Selon les conclusions de l'étude géotechnique et les données de base sur notre projet BECHAR -GARA DJEBILET la classe des qualités du sol support le plus souvent rencontré le long du tracé est en majorité QS2.

Suite aux prescriptions données par les UIC 719R nous conseillons d'opter pour une plateforme de type P3(bonne plateforme) dimensionnée préalablement pour un tel type de sol (QS3).

Tableau VII.11 : La classe la portance de la plate-forme.

QUALITÉ DU SOL SUPPORT	CLASSE DE LA PLATE FORME	COUCHE DE FORME	
		Qualité	Épaisseur min (m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.50
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.50
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

L'exigence de la couche de forme dépend de la charge appliquée. Pour un trafic lourd avec des essieux de 32,5 tonnes, et que le sol de fondation est de bonne qualité (QS3), afin d'assurer une plateforme de classe P3 avec une épaisseur minimale de 0,35 m.

VII.4.1 Calcul de l'épaisseur du ballast

Calcul de l'épaisseur du ballast :

Nous avons adopté les valeurs suivantes (fiche UIC-719 R) :

- 35 cm pour une vitesse > 200 km/h ;
- 30 cm pour une vitesse comprise entre 120 et 200 km/h
- 25 cm pour une vitesse comprise entre 80 et 120 km/h
- 20 cm pour une vitesse comprise entre 60 et 80 km/h

On prend e= 30 cm

VII.4.2 Calcul épaisseur minimal de couches d'assise

Conformément à la fiche UIC 719 et la IN260 (notice générale EF 2 C 20 N° 03), l'épaisseur requise de la couche d'assise se calcule selon la formule donnée par :

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

e : L'épaisseur de la couche d'assise (épaisseur du ballast+ épaisseur de la sous couche).

Avec :

E = (selon classe de la plateforme P1, P2, P3).

a = selon la classe de la voie (groupe de 1 à 6 voir UIC 714).

b = selon le type et la longueur de la traverse.

c = (selon le type de dimensionnement).

d = (selon la charge maximale à l'axe).

g = Géotextile.

Pour le cas du projet (BECHAR -GARA DJEBILET)

- La capacité portante de sol support envisagée est de classe P3. D'où E=0.45 m.
- Le groupe de trafic fictif selon la classification de la norme UIC 714 R est le Groupe 1 donc

a= 0 m.

- Pour notre projet les traverses utilisées sont les traverses en béton de L = 2.415m

$$b = \frac{2.5-L}{2} \qquad b = \frac{2.5-2.415}{2} = 0{,}0425\text{m}$$

Soit la valeur de b sera b = 0.05 m

- Le cas de dimensionnement normale (nouvelle ligne) donc le paramètre c aura une valeur c = 0
- La charge maximale d'essieu des véhicules remorqués est fixée pour le projet en Pleine voie à 32,5tonne\essieu, donc la valeur de facteur d est de d =+ 0.15 m.

- Pour les plateformes de portance P3 des lignes parcourues à grande vitesse, la valeur de f est nulle, f=0 m

- La qualité du sol support est QS2, si on considère la qualité de couche de forme est de QS3, alors le facteur g prend la valeur de 0 m. g = 0m.

D'où e[m] = 0.45+ 0 + 0.05 + 0 + 0.15 + 0.05 + 0 = 0.70 m

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

Tableau VII.12: Epaisseurs et matériaux de couche d'assise de la plateforme

Couches	Epaisseur	Matériaux
Ballast	30	Granit ou basalte
Sous-ballast	20	Grave propre entièrement concassée (0/31.5mm)
Couche de fondation	20	Grave sableuse entièrement concassée
Couche de forme de type QS3	35	Grave 0/D

Après l'étude géologique et géotechnique et les caractéristiques de la voie (traverses, charge d'essieu) nous arrivons à dimensionner le profil type des couches d'assise dans le projet comme suit :

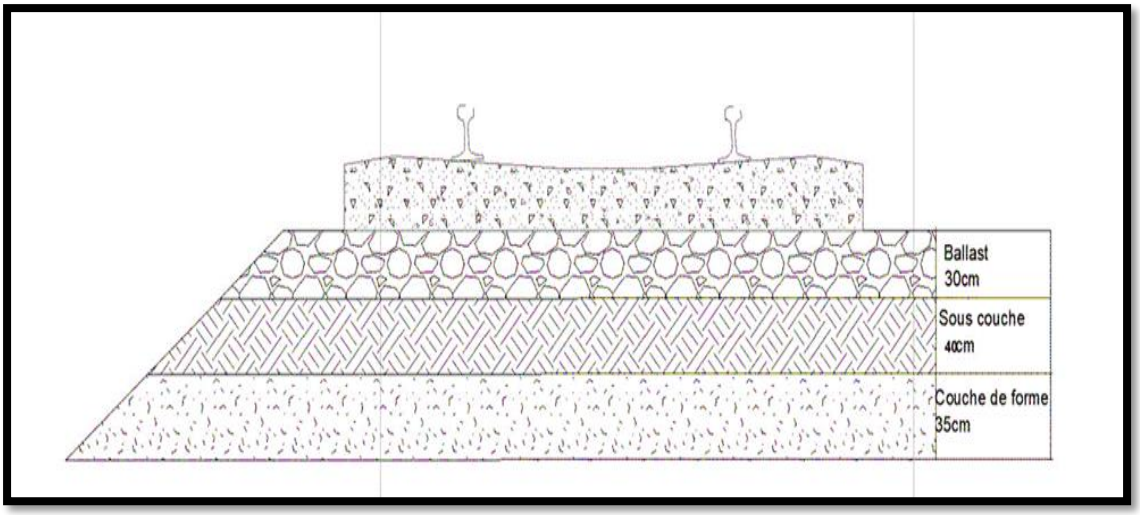


Figure VII-6 : Dimensionnement des couches d'assise

Conclusion

L'exécution des travaux in situ de la campagne géotechnique du projet ferroviaire Bechar – Gara Djebilet a permis de recueillir des données essentielles ayant conduit à une classification des sols selon les normes GTR et UIC 719R.Les terrains rencontrés sont principalement des sables et graviers silteux (QS2), offrant une bonne portance.

Chimiquement, ces sols montrent une agressivité faible vis-à-vis du béton en raison de la présence de sulfates. Géologiquement, la région est stable, avec un relief plat, sans risques majeurs d'instabilité.

CHAPITRE VIII : TERASSEMENT

VIII.1 Introduction

Les terrassements sont des éléments fondamentaux dans la réalisation des projets ferroviaires. Les terrassements regroupent l'ensemble des travaux de préparation du terrain, tels que les opérations de déblai et de remblai, nécessaires à la création d'une assise solide pour la pose des voies ferrées. Ces travaux consistent à excaver et à reconstituer les tranchées afin d'assurer une base stable et durable pour les rails. Quant aux ouvrages, ils correspondent aux structures de génie civil permettant de franchir les obstacles naturels ou artificiels, tels que les cours d'eau, les routes ou les vallées. Ils comprennent notamment les ponts, viaducs, passages inférieurs et supérieurs ainsi que les tunnels.

VIII.2 Les terrassements

Les terrassements occupent une place cruciale dans la construction des infrastructures ferroviaires. Ils comprennent plusieurs opérations destinées à modeler le terrain et à créer une plateforme stable et résistante pour la voie ferrée. Ces opérations incluent notamment :

- Le décapage de la couche superficielle de terre végétale pour atteindre le substrat solide sous-jacent.
- La réalisation de déblais et remblais permettant d'ajuster les niveaux topographiques conformément aux spécifications du projet.
- La mise en œuvre méthodique des différentes couches structurales, telles que la sous-couche et la couche de ballast, pour garantir la stabilité et la robustesse de l'assise de la voie.

La rigueur dans l'exécution de ces étapes est essentielle pour assurer la durabilité et la fiabilité des infrastructures ferroviaires. Ainsi, des études géotechniques approfondies sont indispensables pour caractériser précisément le sol et déterminer les méthodes de terrassement les plus adaptées.

VIII.3 Objectifs et enjeux des terrassements

Dès la phase initiale de préparation du terrain, les terrassements jouent un rôle déterminant. Ils visent à :

- Créer une surface stable, plane et uniforme, garantissant un roulement fluide des trains.
- Utiliser des matériaux de qualité, en tenant compte de leur granulométrie, compacité et autres propriétés mécaniques.
- Protéger les zones sensibles telles que les zones humides ou habitats naturels.
- Modeler les pentes des talus et remblais afin de prévenir tout risque de glissement ou d'instabilité.
- Assurer une gestion efficace du drainage pour éviter l'érosion et la stagnation des eaux.
- Réduire les nuisances sonores et vibratoires liées à la circulation ferroviaire.
- Respecter les normes environnementales afin de limiter l'impact sur les écosystèmes locaux.
- Garantir la sécurité des personnels intervenant sur le chantier.
- Préserver les ressources naturelles, notamment les sols fertiles et les ressources en eau.

VIII.4 Stabilité de remblais

VIII.4.1.1 Vis-à-vis le glissement

L'évaluation de la stabilité des remblais ferroviaires a été réalisée à l'aide de la méthode simplifiée de Bishop, en utilisant le logiciel TALREN 5. L'analyse a porté sur des profils de remblais présentant une pente de 2H/1V, avec l'introduction d'une berme de 3 mètres à mi-hauteur pour les remblais dont la hauteur dépasse 8 mètres. Une surcharge de 40 kPa a été appliquée au sommet du remblai afin de simuler les charges générées par le trafic ferroviaire à travers les traverses monoblocs. Conformément au référentiel technique de la SNTF, l'analyse s'est limitée au cas statique à long terme, en considérant les paramètres de résistance au cisaillement effective, avec un facteur de sécurité minimal requis de 1,5. Les zones analysées étant classées non sismiques, l'étude ne prend pas en compte les effets sismiques. Les paramètres géotechniques adoptés ont été déterminés à partir des résultats des sondages réalisés par le laboratoire LNHC, notamment à travers l'interprétation des valeurs SPT, et validés par des abaques empiriques (Terzaghi & Peck). Ces paramètres ont ensuite été affinés sur la base de l'expérience acquise sur ce type d'ouvrage.

Les caractéristiques de notre remblai sont les suivantes :

- Le poids spécifique : γ=20 KN/m3

- La cohésion : C = 5 Kpa.

- L'angle de frottement interne : $\Phi = 30°$

Les résultats de calcul de stabilités à long terme indiquent que la stabilité n'est vérifiée qu'avec une pente de 2H/1V.

Tableau VIII.1 : Synthèse des résultats de stabilité en remblai

Profils	H max	Pente	FS	Observations
PK 935+10 PK 941+125	06.00	2H/1V	2.52	Stable
PK941+150 PK 947+600	12.00	2H/1V	2.11	Stable
PK947+600 PK 949+982	14.00	2H/1V	1.63	Stable

Vérification de la Stabilité des remblais

Résultats de calcule des stabilités des talus par TALREN 5, dans le cas plus défavorable de notre projet.

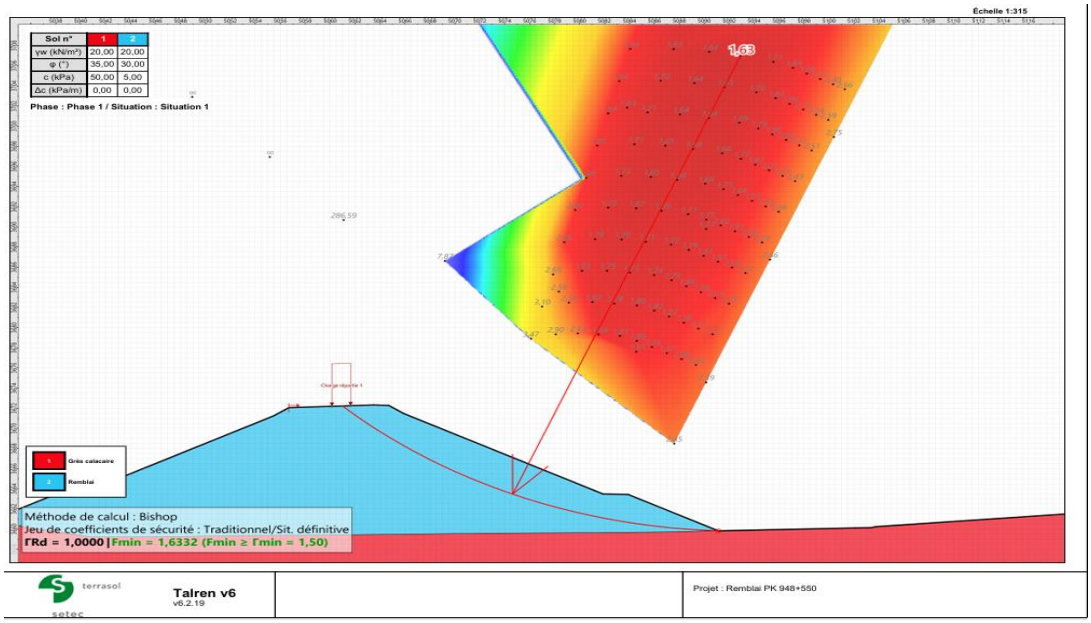


Figure VIII-1 : Vérification de la stabilité de remblai de hauteur 14 m avec une pente de 2H/1V

Commentaire : le facteur de sécurité obtenu est de 2,0848, ce qui dépasse largement la valeur minimale exigée de 1,5. Cela confirme que le talus est stable à long terme dans les conditions de calcul adoptées.

VIII.5 Stabilité des Déblais

L'étude de stabilité des talus de déblais dont la hauteur dépasse 6 mètres a été réalisée conformément aux normes techniques de la SNTF, avec une modélisation effectuée via le logiciel TALREN 5 selon la méthode simplifiée de Bishop. on a pris en considération l'effet d'une surcharge additionnelle de 40.00 kPa, correspondant aux **Charges transmises au sommet de la couche de ballast par l'intermédiaire d'une traverse monobloc,** afin de simuler le trafic sur la voie ferrée ;

Les facteurs de sécurité globaux, à prendre en considération selon le référentiel technique SNTF sont les suivants :

Cas statique à long terme : le coefficient de sécurité (F.S.) minimum recherché pour assurer la stabilité à long terme du talus est de 1,5.

Les profils de déblais sont aménagés selon les pentes suivantes :

- 3H/2V pour $H \leq 5$ m
- 2H/1V pour $5 \text{ m} < H < 10$ m
- 2H/1V + berme de 2 m à mi-hauteur pour $H \geq 10$ m

Tableau VIII.2 : Synthèse des résultats de stabilité en déblai

Profils	H max	Pente	FS	Observations
PK935+210 PK 935+455	7.00	2H/1V	2.38	Stable
PK947+559 PK 948+187	8.00	2H/1V	1.69	Stable

VIII.6 Vérification de la Stabilité des déblais :

Résultats de calcule des stabilités des talus par TALREN 5 dans les cas de notre projet

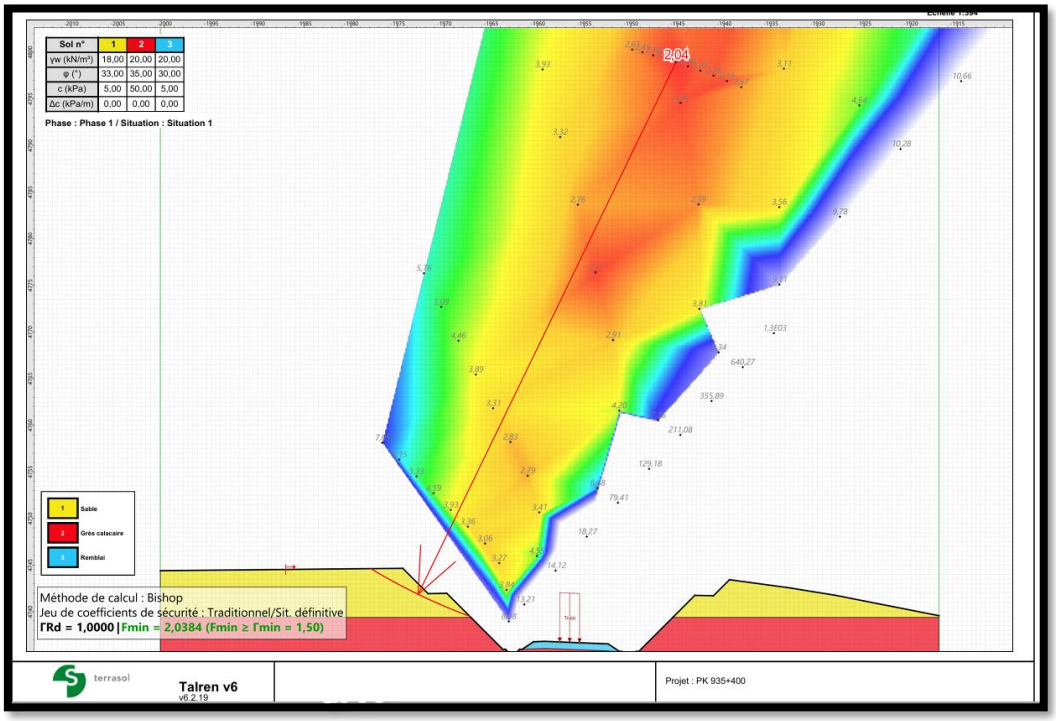


Figure VIII-2: Vérification de la stabilité de déblai de hauteur 7m avec une pente de 2H/1V

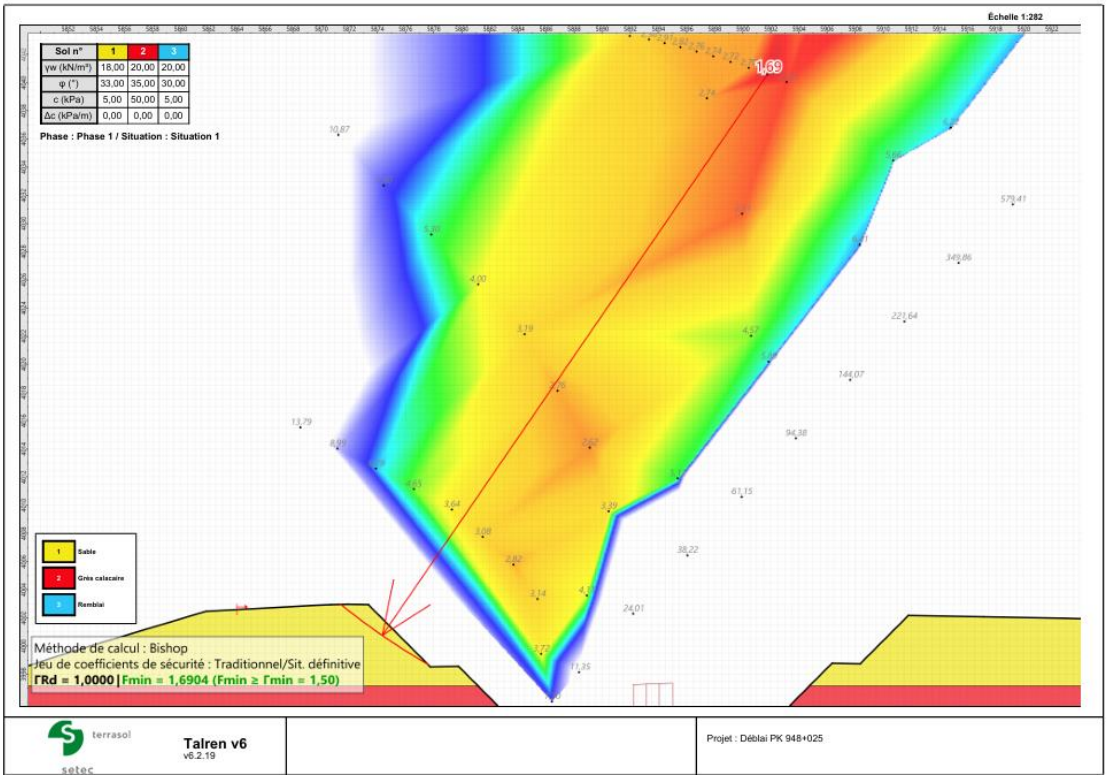


Figure VIII-3 : Vérification de la stabilité de déblai de hauteur 8(m) avec une pente de 2H/1V

Commentaire : Les facteurs de sécurité calculés (2,0848 et 1,6904) dépassent la valeur minimale exigée de 1,5 Ces résultats indiquent que les talus étudiés sont stables à long terme, dans les conditions de calcul retenues.

VIII.7 Protection des talus

En raison des caractéristiques intrinsèques des sols en place, il est prévu que les talus en déblais soient revêtus d'une couche minimale de 0.15 mètre de "terre végétale" assortie d'espèces végétales appropriées dès l'ouverture des excavations. Cette mesure a pour objectif de prévenir l'effet érosif potentiel du ruissellement superficiel

VIII.8 Les bermes

Les bermes stratégiquement positionnées le long des talus ferroviaires jouent un rôle primordial dans la préservation de la stabilité structurelle et du drainage efficace des voies. Leur intégration soigneuse permet de maîtriser les pentes et de prévenir tout risque d'érosion assurant ainsi le bon fonctionnement et la durabilité des infrastructures ferroviaires dans différentes situations.

− Largeur optimale : Les bermes doivent avoir une largeur adaptée, généralement entre 1 et 3 mètres pour permettre l'accès aux équipements de maintenance tout en garantissant une stabilité suffisante du talus.

− Pente idéale : Une pente bien ajustée typiquement entre 2 et 3% assure un drainage efficace sans risque d'accumulation d'eau préservant ainsi la durabilité des bermes.

Remarque : Dans le cadre de notre projet situé dans la région de Tindouf, caractérisée par un climat aride et des sols sableux, une berme d'une largeur de 2 mètres avec une pente de 2% a été adoptée. Ce choix technique permet d'assurer un drainage efficace lors des épisodes pluvieux soudains, tout en garantissant une stabilité suffisante des talus.

VIII.9 Profil en travers de notre projet d'étude

- Largeur de la plateforme : 8,00 mètres.
- Ecartement : 1435 mm
- Équipements latéraux :
- Bande de 0,70 m réservée à l'implantation : des équipements de signalisation, des télécommunications, de l'électrification.
- Axe des poteaux caténaires : Situé à au moins 3,15 m de l'axe de la voie.
- Cheminement piéton pour maintenance : Largeur : 0,70 m, a partir de l'axe du poteau caténaire, uniquement pour les voies à l'air libre.
- Structure de la plateforme :au-dessus du fond de déblai ou de la surface supérieure du remblai nivelé : Couche de fondation, Sous-ballast,
- La superstructure (rails et traverses) repose sur le sous-ballast.
- Pente des couches :4 % vers l'extérieur de la plateforme pour le drainage.
- Superstructure : rails UIC 60 E1, Traverses monobloc sur ballast.
- Câbles de télécommunication : une bande latérale du côté droit (sens croissant du kilométrage) est réservée à l'installation d'une conduite de câble.
- Traitement des talus : Pente des talus de remblai et déblai : 2H/1V.
- Zones de déblai : fossés capteurs pour recueillir les eaux de ruissellement.
- Zones de remblai : fossés d'écoulement pour protéger les pieds de talus contre l'humidité
- Des fossés longitudinaux de dimensions h=0.5 m ; b = 0.5 m avec une pente de 0.5/0.5 ont été construits au pied des talus

VIII.10 Les Ouvrages d'art

VIII.10.1 Influence sur le choix des ouvrages

Dans tous les cas, le choix du type de travaux est influencé par deux types de contraintes principales :

- Données naturelles : Cela inclut des facteurs tels que le débit d'eau et le type de sol qui sont des éléments intrinsèques de l'environnement naturel du site.
- Exigences techniques : Ces contraintes couvrent divers aspects techniques comme la portée nécessaire le type de chargeur à utiliser et les méthodes de fixation appropriées.

Par ailleurs, il est essentiel de considérer la taille et les limitations fonctionnelles qui sont déterminées par les éléments suivants :

- La voie à franchir ou l'obstacle à surmonter ce qui peut influencer la structure et le design des travaux

- Le programme de charge définissant les charges que la structure devra supporter.
- Le gabarit correspondant aux dimensions maximales autorisées pour l'ouvrage.
- Le tirant d'eau important pour les travaux en milieu aquatique.
- L'adaptation architecturale à la région afin de garantir une intégration harmonieuse avec le contexte local.
- Les contraintes spécifiques à respecter durant la construction pour assurer la sécurité et la conformité aux normes en vigueur.

VIII.10.2 Le croisement route-rail

En général, le problème de croisement doit prendre en compte la nature et le débit de la voie afin d'analyser chaque cas individuellement en fonction de la vitesse de base maximale.

Trois solutions possibles sont prévues :

-Passage supérieur

− Utilisé si la vitesse du train est élevée et que la topographie le nécessite.

− Utilisé lorsque la voie ferrée est sur un grand remblai par rapport à la route permettant d'insérer un gabarit routier en dessous.

-Passage à niveau

− Interdit si la vitesse du train dépasse 100 km/h. sauf pour des pistes à faible débit et si la topographie le permet.

− Admis pour des chemins à faible débit si la vitesse du train est inférieure à 100 km/h et si la topographie le permet.

-Passage inférieur de la route

−Rarement utilisé seulement si la topographie l'exige (niveau de roulement du train élevé).

VIII.10.3 Les ouvrages hydrauliques

-Buses et dalots (ces derniers seront détaillés dans chapitre Etude hydrologique et hydraulique)

VIII.11 Les ouvrages d'art du projet

Le tracé de la ligne BEHCHAR– GARA DJEBILET du Pk 935+000 au Pk 950+00 traverses la RN29, des oueds. De de fait, un ouvrage d'art de franchissement et des ouvrages hydrauliques sont projetés compte tenu des croisements avec ces obstacles.

VIII.11.1 Rétablissement routier

Dans notre projet, les trains circuleront à une vitesse de 160 km/h, supérieure à 100 km/h. Ce qui nécessite l'élimination des passages à niveau au profit de **passage inférieur de notre projet (comme le passage inférieur prévu au PK 939+000)** lorsqu'il y a intersection avec des chemins communaux ou des routes. Cette structure assurera un passage sécurisé en dessous des voies ferrées, garantissant ainsi la fluidité et la sécurité des infrastructures routières.

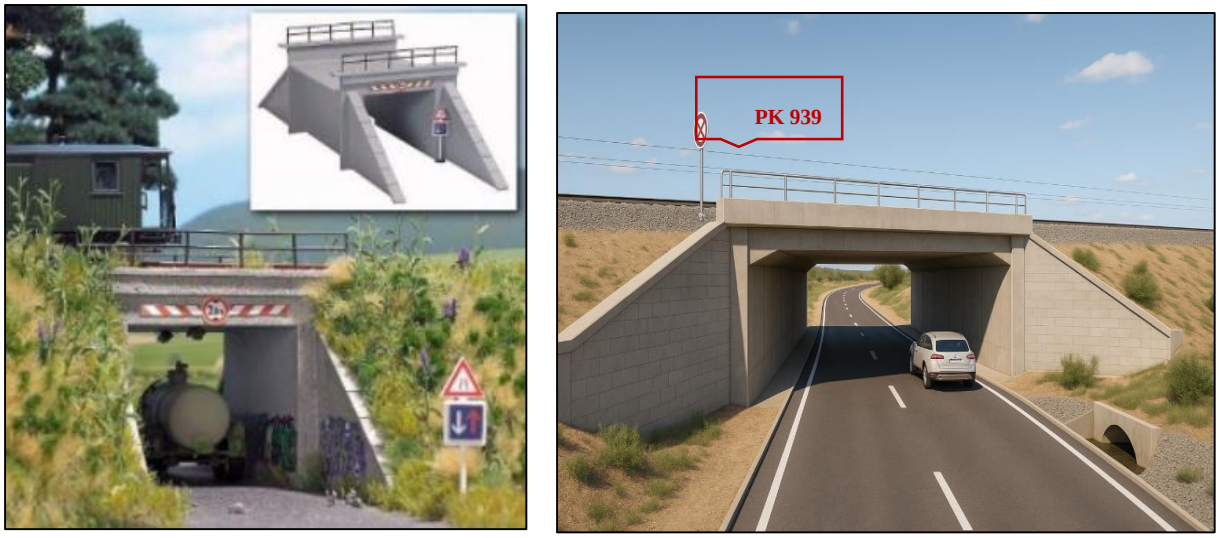


Figure VIII-4 : Illustration du passage inferieur

VIII.12 Calcul des cubatures

Les volumes de terrassement représentent les variations de volume des déblais et des remblais dans le projet, visant à créer une surface uniforme en alignement avec la trajectoire du projet.

Les volumes sont calculés en se basant sur plusieurs critères importants :

• Les profils en long.

• Les profils en travers.

• Les distances entre les profils.

Dans notre projet, les volumes de terrassement ont été calculés à l'aide du logiciel CIVIL 3D 2021.

Les détails de calcul résumés dans le tableau suivant :

Tableau VIII.3 : Récapitulatif des volumes des couches d'assise et couche de forme

Nature	Ballast	Sous ballast	Couche de fondation	Couche de forme
Volume (m^3)	35 956.80	24 945.03	26 967.60	51 583.03

Tableau VIII.4 :Récapitulatif des volumes de terrassement

Nature	Remblai	Déblais
Volume (m^3)	1 439 355.42	135 052.96

VIII.13 Conclusion

L'étude a confirmé la stabilité des remblais et déblais, même pour des hauteurs importantes grâce à l'utilisation du logiciel TALREN 5. Le tronçon présente un volume très élevé de remblais ce qui impacte fortement le coût du projet. Des solutions techniques comme les bermes, fossés, pour assurer le drainage et la protection des talus.

CHAPITRE IX :CONCEPTION ET AMENAGEMENT DE LA GARE

IX.1 Introduction

La gare est un lieu central dans le système de transport ferroviaire, où les trains s'arrêtent pour y prendre ou y laisser des passagers ou des marchandises. Les gares sont souvent des lieux de rencontre, de départ et d'arrivée pour les voyageurs, et peuvent également servir de centre de gestion pour les trains et les infrastructures ferroviaires.

IX.2 Type de gare

On distingue plusieurs types des gares :

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

IX.3 Étude du plan de masse de la gare

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

- **La catégorie de la voie :** qui détermine la disposition et l'utilisation des voies ferrées, ce qui influe sur la fluidité et l'efficacité des opérations ferroviaires.
- **Le trafic :** le trafic de passager et de marchandises guide les prévisions de fréquentation et l'optimisation des services, garantissant une réponse adéquate aux besoins de transport de la région.
- **L’emplacement de la gare :** qui joue un rôle important dans son accessibilité, son impact sur le développement urbain et sa capacité à servir de hub pour les connexions régionales.

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

IX.4 Aménagement de la gare

IX.4.1 Installation d'une gare à voyageur

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

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

IX.4.2 Schéma de principe de la gare

La gare de GARA DJEBILET, située sur le tronçon 3 de la ligne de Bechar-Tindouf, s'étend du PK 945+000 au PK 950+000, couvrant une distance totale de 5 000 mètres. Cette section de la voie comprend une gare marchandise de fret et une ligne de voyageurs pour les travailleurs au complexe du minerai de fer et les personnes arrivant de Tindouf.

La gare comprend trois parties disposées longitudinalement : le faisceau d'arrivée, la boucle de chargement, et le faisceau de départ.

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

La gare marchandise de GARA DJEBILET conçu essentiellement par deux faisceaux, le premier pour préparer les trains chargés de minerai de fer, et le second pour recevoir les trains et les wagons vides.

Note : Le schéma de principe est en format A3.

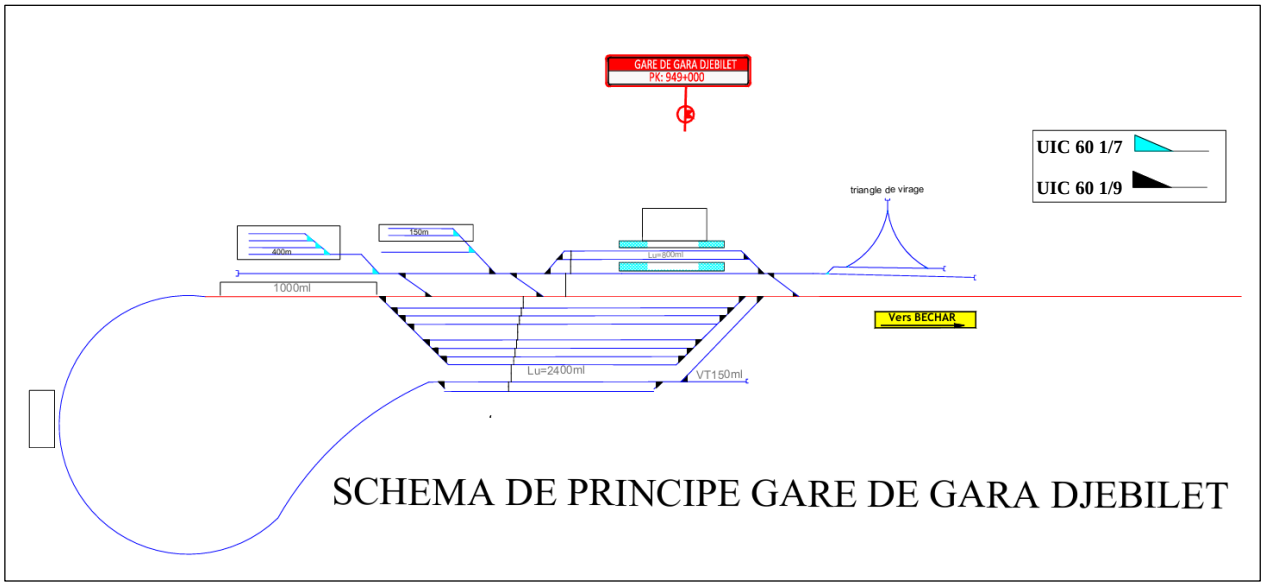


Figure IX-1 : Schéma de principe de la gare de Gara Djebilet

IX.4.3 Plan de voie de la gare

La gare est équipée d'une voie principale, treize voies de services, trois voies voyageurs (voies d'arrivée et de départ), trois voies de garage, quatre voies de maintenance, quatre voies en tiroir équipée d'un heurtoir à son extrémité, une voie triangulaire de retournement, Les quais latéraux, A et B, mesurent chacun 225 mètres de longueur, avec une largeur de 6 mètres pour le quai extérieur et de 8 mètres pour le quai intermédiaire.

IX.4.3.1 Les appareils de voie

- Pour notre conception on a :
- 03 ADV **UIC 60 190 1/7**
- 47 ADV **UIC 60 300 1/9** dont 23 (trois) déviation à gauche et 24 déviation à droite.

IX.4.3.2 Règles d'implantation des appareils de voie

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

Conditions générales

- Les appareils de voie doivent être installés sur une pente constante.

Dans les zones près des ouvrages d'art,

Tableau IX.1 : Les longueurs minimales de l'appareil de voie.

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

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

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

- En pointe : la longueur minimale d'alignement doit être égale à $V_d/2$, où V_d est la vitesse de franchissement en voie déviée.
- En talon de la branche déviée :
- Si la sortie d'appareil est en alignement, la longueur minimale d'alignement à respecter doit être égale à $V_d/2$.

Si la sortie d'appareil est en courbe :

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

En talon de la voie directe :

- la longueur minimale d'alignement L2 doit être supérieure à 50 m.

IX.4.3.3 Garage franc

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

$$\mathbf{GF = 3{,}57 \times N + 1 \text{ mètre}}$$

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

Longueur du garage franc

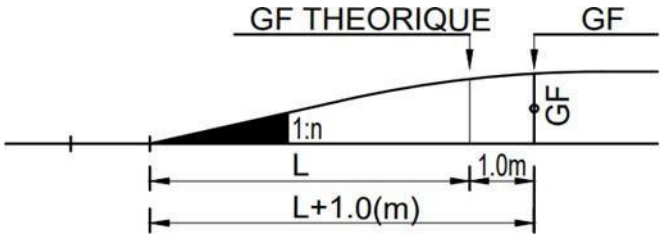


Figure IX-2:Schéma illustratif du garage franc

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

Pour les appareils de voie type (UIC 60 E1-500-1/7) : **GF= 3.57*7 + 1 = 25.99 m**

IX.4.3.4 Heurtoir

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

L'importance des heurtoirs réside dans leur rôle de sécurité. Ils assurent que les trains s'arrêtent en toute sécurité, protégeant ainsi les passagers, le personnel et les structures environnantes. Leur bon fonctionnement est essentiel pour la sécurité et l'efficacité des opérations ferroviaires.



Figure IX-3 : Heurtoir de sécurité

IX.4.3.5 Longueur utile

La longueur utile est la distance entre deux garages francs, permettant à un train de se garer sur une voie de dépassement sans entraver la circulation sur la voie principale ou sur les autres voies de dépassement adjacentes. Cette mesure est essentielle pour garantir des opérations ferroviaires efficaces et sécurisées.

Tableau IX.2: Les longueurs des voies utiles de la gare.

Type de voie	Numéros de voie	Longueur utile (m)
Voies d'arrivée marchandises	1, 2, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19	2400 à 2850
Voies voyageurs	6, 8, 10	687 à 953
Voies de garage	20, 22, 24	150 à 194
Voies de maintenance	28, 30, 32, 34	310 à 400
Voies en tiroir (arrivée)	16,17,19,26	250 ,600,750
Voie de retournement triangulaire	12, 14	100
Voies de départ marchandises	21, 23, 25, 27	2400 à 2706
Voies en tiroir (départ)	29, 31	750

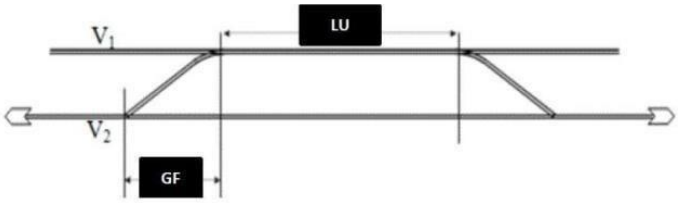


Figure IX-4: Schéma illustrative de la longueur utile

IX.5 Caractéristiques géométriques des gares

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

IX.5.1 Déclivité dans les gares

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

IX.5.2 Quai

IX.5.2.1 La longueur des quais (normes SNTF)

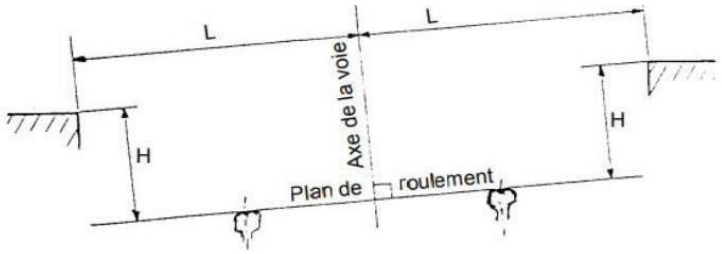
- Grande ligne : 350 m
- Service régional : 300 m
- Banlieue : 225 m

IX.5.2.2 La largeur des quais : Selon la SNTF

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

IX.5.2.3 Hauteur de quai : selon la fiche UIC 741

- La hauteur nominale du bord du quai devra être de 550 mm.
- Sous certaines conditions, une hauteur de 760 mm.



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

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

Figure IX-5: La hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie

IX.5.2.4 La distance à l'axe de la voie

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

La valeur de S est donnée par la formule suivante :

$$\mathbf{L\ (mm) = 1650 + (3750/R) + ((I-1435)/2)}$$

$$\mathbf{L\ (mm) == 1650 + (3750/\infty) + ((1435-1435)/2)}$$

$$\mathbf{L\ (mm) == 1650mm}$$

Où :

R : représente le rayon de la voie en mètres.

I : l'écartement de la voie en millimètres.

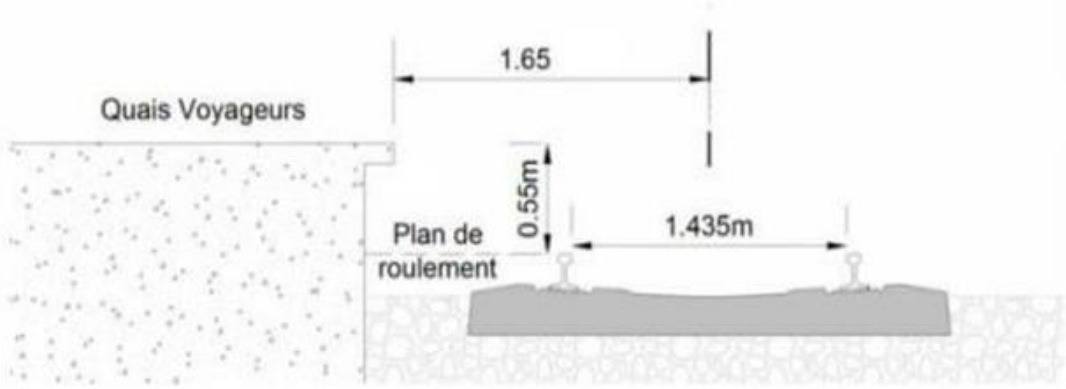


Figure IX-6 : Schéma illustratif de la distance entre le quai et l'entraxe de la voie

IX.5.2.5 L'entre axe des quais

Selon la SNTF

- Entraxe normal ≥ 11.3

- Entraxe minimal ≥ 9

- **Application sur notre projet**

Notre gare est constituée de deux quais A et B, avec :

A : quai extérieure.
B : quai intermédiaire.

Tableau IX.3 : Tableau récapitulatif sur les quais.

Quai	Pk début	Pk fin	Longueur	Largeur	Hauteur	Distance à l'axe	Entre-axe des quais
A	945+000	950+000	225 m	6 m	55cm	1650 mm	11.3 m
B				8 m			

CHAPITRE X : SIGNIALISATION FERROVIAIRE

X.1 Introduction

La signalisation ferroviaire est un ensemble d'instructions, présentées sous forme de panneaux (dans le cas de la signalisation mécanique) ou de feux (dans le cas de la signalisation lumineuse), visibles par le conducteur depuis le train. Elle joue un rôle essentiel dans la prévention des accidents en transmettant des informations cruciales sur l'état de la voie, la présence éventuelle d'autres trains et les limitations de vitesse. Ainsi, elle contribue à garantir la sécurité et à assurer la fluidité du trafic ferroviaire.

X.2 Spécificités du tronçon pk 935 – pk 950

Ce tronçon correspond à l'extrémité sud de la ligne Béchar – Tindouf – Gara Djebilet. Il comprend notamment le Poste de Commande Général (PCG 29) situé vers le PK 933+800, jusqu'à la gare terminale de Gara Djebilet. Cette section est sous la supervision du Poste de Commande Centralisée (PCC 4) situé à Tindouf.

X.3 Système de signalisation proposé

La voie BECHAR- TINDOUF est une nouvelle ligne à une vitesse de 160 km/h maximum pour les trains de voyageurs et de 70 km/h pour les trains de marchandises Le projet adopte une architecture moderne et intégrée, combinant les deux systèmes suivants

- Signalisation latérale : BAL (Bloc Automatique Lumineux)

✓ Utilisation de signaux lumineux à LED normalisés SIL4.
✓ Enclenchements à relais PRG.
✓ Implantation stratégique des signaux de vitesse, d'arrêt et de manœuvre.
✓ Détection des trains par compteurs d'essieux sans joints d'isolement.

- Signalisation embarquée : ERTMS Niveau 1

✓ Système européen de gestion du trafic (cab signal).
✓ Contrôle automatique de la vitesse.
✓ Communication continue entre le train et le sol.
✓ Interopérabilité avec les normes ferroviaires modernes.

X.4 Dispositifs installés dans le tronçon

✓ Poste de Commande Local (PCL) à la gare terminale, permettant le pilotage autonome.
✓ Détecteurs de boîtes chaudes (DBC) et détecteurs de défauts de roues (DDR) à l'entrée de la gare.
✓ Système de signalisation lumineux complet installé dans les zones critiques du tronçon.
✓ Câblage blindé résistant à la corrosion, au sable et aux températures élevées.

X.5 Objectifs et bénéfices du système

✓ Sécurité maximale pour les trains de minerai et les convois techniques.
✓ Adaptation aux conditions extrêmes du désert (poussière, chaleur).
✓ Supervision centralisée avec possibilité de gestion locale.
✓ Interopérabilité avec les futures extensions ferroviaires nationales.

XI.2. SIGNALISATION LUMINEUSE :

En signalisation lumineuse, les signaux donnent, de jour comme de nuit, les mêmes indications. Il est fait usage :

- Soit de panneaux portant un ou plusieurs feux de couleur fixes ou clignotants.
- Soit de tableaux lumineux ou réflectorisés, pouvant présenter une bande colorée, une inscription ou un signe conventionnel.

XI.3. SIGNALISATION MECANIQUE :

En signalisation mécanique, il est fait usage de signaux réalisés au moyen d'une aile ou d'une cocarde de couleur, ou bien d'un tableau mécanique.

X.6 Rôle des installations de signalisation

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

- L'espacement des circulations pour éviter les rattrapages des trains.
- La protection des circulations dans les établissements.
- Les prises en écharpes et les nez à nez de circulation (la circulation, dans les deux sens, sur une même voie).
- Les risques de déraillement par excès de vitesse.
- Le franchissement des voies ferrées par des routes sur un même niveau (passages à niveau).

X.7 Fonctions des signaux

Les signaux sont essentiellement utilisés pour assurer les fonctions suivantes :

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

Chacune de ces fonctions comprend habituellement une signalisation d'annonce et une

Signalisation d'exécution ou de rappel.

X.8 Implantation des signaux

L'implantation des signaux ferroviaires est une tâche stratégique qui dépend de plusieurs facteurs, notamment la configuration de la voie, les caractéristiques du réseau ferroviaire, les normes de sécurité et les exigences opérationnelles spécifiques.

Les signaux implantés à demeure sont normalement installés à gauche de la voie. Afin de permettre au mécanicien de s'arrêter devant un signal d'arrêt (ou un point à protéger) ou de respecter une limitation de vitesse dans une zone délimitée, il est nécessaire de le prévenir à une distance suffisante pour que le freinage puisse être mis en œuvre dans les conditions normales ; c'est le rôle des signaux d'annonce à distance.

Ces distances sont appelées, respectivement :

- Distance d'arrêt.
- Distance de ralentissement.

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

- Du profil moyen de la partie de voie intéressée (déclivité moyenne).
- De la vitesse maximale à laquelle est abordé le signal à distance.
- Des caractéristiques de freinage des circulations.

X.9 Principaux signaux ferroviaire et leurs indications

1. Signaux de vitesse :

Signal de vitesse maximale autorisée (VMA) : Indique la vitesse maximale autorisée dans le prochain canton. Il est généralement de forme ronde avec un nombre indiquant la vitesse limite (par exemple, un disque blanc avec un chiffre 40 indique une VMA de 40 km/h).

Signal de limitation de vitesse (Sv) : Indique une limitation de vitesse temporaire dans le prochain canton. Il est généralement de forme triangulaire pointant vers le bas, avec un disque portant le chiffre indiquant la vitesse limite (par exemple, un triangle pointant vers le bas avec un disque blanc et un chiffre 30 indique une limitation de vitesse à 30 km/h).

2. Signaux d'arrêt :

Signal d'arrêt (Se) : Indique l'obligation de s'arrêter avant d'entrer dans le prochain canton. Il est généralement de forme ronde rouge.

Signal d'arrêt à main : Un signal physique actionné manuellement par un agent de terrain, indiquant l'obligation immédiate de s'arrêter. Il est généralement de forme carrée ou rectangulaire rouge.

3. Signaux d'avertissement :

Signal d'avertissement de ralentissement (Ra): Indique une restriction de vitesse ou une situation particulière à venir dans le prochain canton. Il est généralement de forme triangulaire pointant vers le bas, avec un disque jaune.

Signal d'avertissement de distant (Av): Annonce un signal d'arrêt ou de limitation de vitesse à une certaine distance. Il est généralement de forme carrée ou rectangulaire jaune.

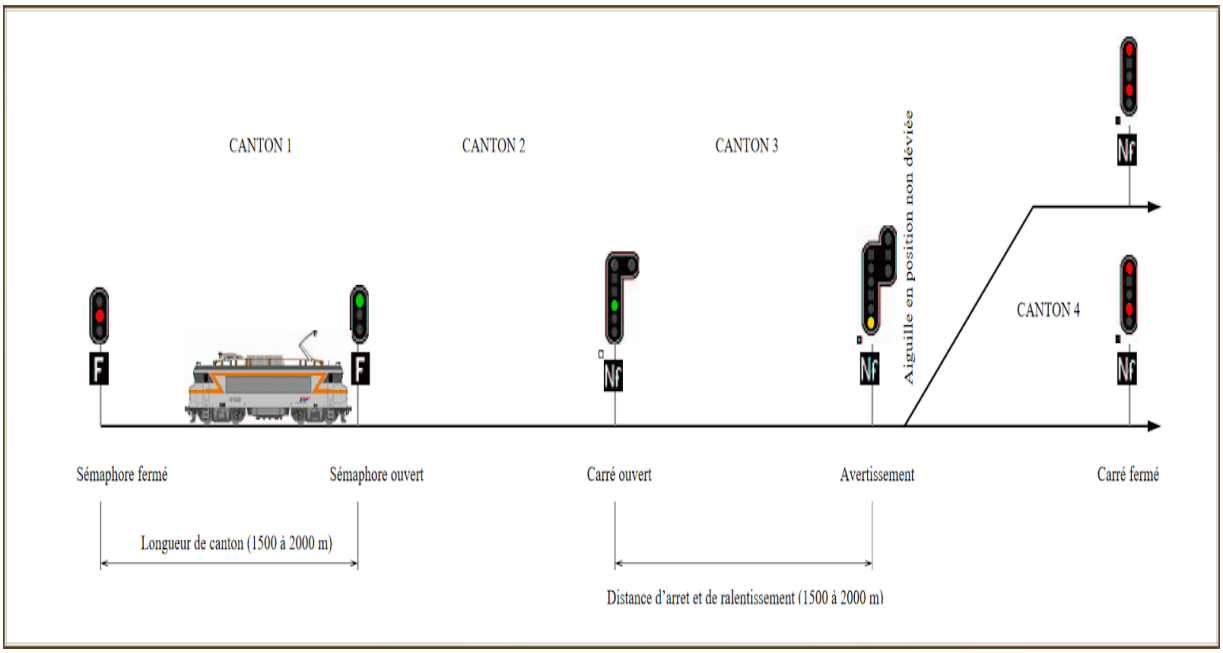
4. Signaux de manœuvre :

Signal de manœuvre (Sm) : Indique les mouvements autorisés aux trains dans les gares et les dépôts. Il peut être de différentes formes et couleurs selon les indications spécifiques (par exemple, un signal carré vert autorise l'entrée en gare, tandis qu'un signal carré rouge indique l'interdiction de franchir).

X.10 Cantonnement

Pour assurer l'espacement des circulations de même sens, les sections de ligne sont divisées en cantons ; l'entrée de chaque canton est commandée :

- Généralement par un sémaphore.
- Parfois par un signal carré ou par un signal d'arrêt à main précédé éventuellement par un disque.
- Ou bien encore par un feu rouge clignotant.

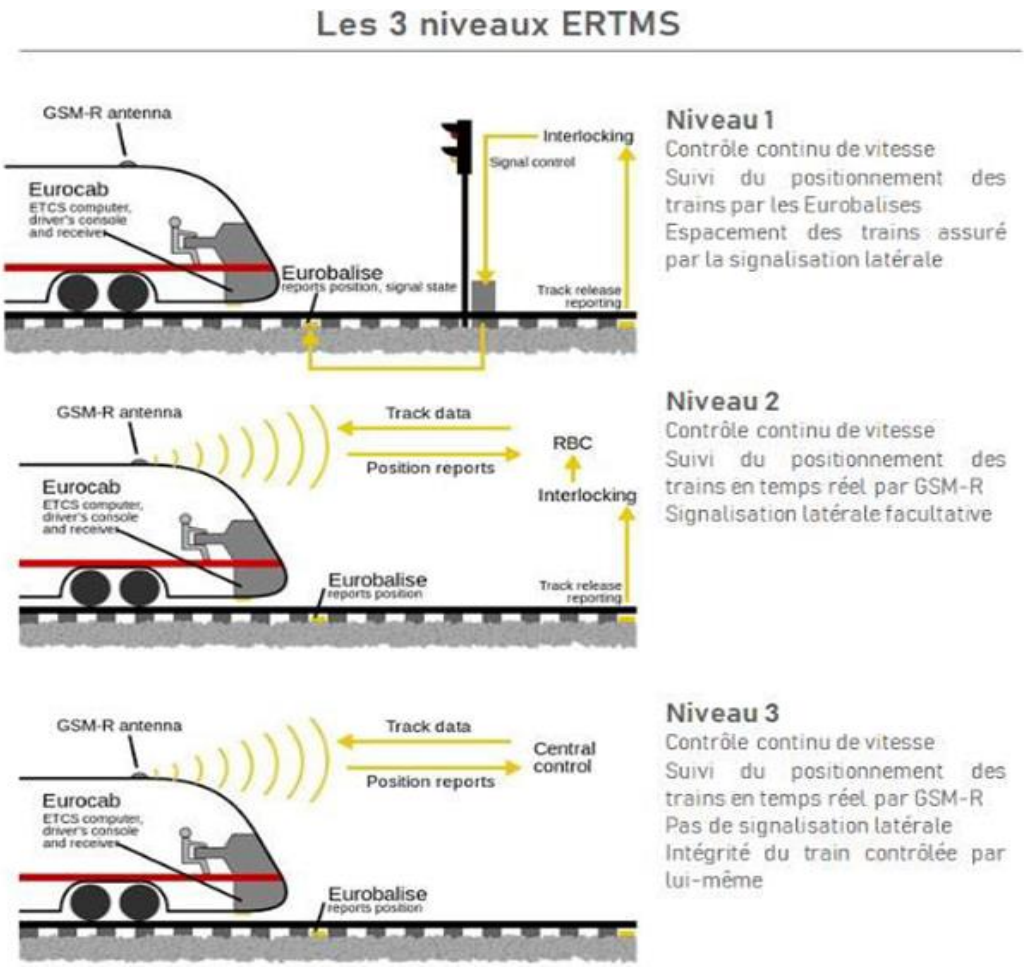


X.11 Le principe du système ERTMS

L'Européen Rail Traffic Management System (ERTMS), ou Système européen de gestion du trafic ferroviaire, il s'agit d'un système standardisé de signalisation bord/sol et de contrôle de vitesse européen standardisé dont la mise en place a commencé en 1996.

L'objectif de ce système européen est d'améliorer l'interopérabilité du système ferroviaire avec un seul équipement de sécurité utilisable Europe.

Ce système aura un impact global sur l'amélioration de la sécurité du transport ferroviaire, l'augmentation de la fréquence des trains et l'amélioration de la capacité des infrastructures.



X.12 CONCLUSION

En conclusion, la signalisation ferroviaire est essentielle pour la sécurité, l'efficacité et la fiabilité des trains. Elle est centrale dans la modernisation et l'amélioration des performances du transport ferroviaire, contribuant ainsi à un système de transport durable et attrayant pour les passagers et les acteurs économiques

Le tronçon PK 935 à PK 950, malgré sa position en bout de ligne et son environnement contraignant, bénéficie d'un système de signalisation avancé, combinant technologies européennes (ERTMS) et fiabilité des signalisations latérales classiques (BAL). Cela garantit une exploitation sûre, moderne et conforme aux standards internationaux.

CHAPITRE XI :ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XI.1 Introduction

L'impact de l'infrastructure sur l'environnement c'est la première et principale étape du processus de l'évaluation environnementale, c'est aussi une étude préalable permettant d'évaluer les effets directs ou indirects pouvant atteindre l'environnement à court, moyen et long terme suite à la mise en place des infrastructures de base et de déterminer des mesures pour supprimer, atténuer, ou compenser les impacts négatifs et d'améliorer des effets positifs du projet sur l'environnement.

La recherche sur l'impact sur l'environnement dans notre projet Béchar – Gara Djebilet (Tindouf), en particulier le tronçon du PK 935+000 au PK950+000 comprend :

- Une analyse exhaustive de l'état initial du site et de son environnement potentiellement impacté par le projet.
- Une analyse des effets positifs et négatifs du projet.

XI.2 L'importance d'étude d'impact sur l'environnement

L'étude d'impact sur l'environnement est devenue une étape inéluctable dans la Conception de n'importe quel type d'infrastructure et il est de notre devoir de s'assurer que L'implantation de celle-ci ait le moins de conséquences possible De manière méthodique et préalable, il est essentiel d'évaluer les conséquences potentielles, les impacts directs et indirects temporaires et permanents du projet sur le milieu.

- De prendre des mesures pour éviter les conséquences néfastes du projet.
- De valoriser et d'améliorer les effets bénéfiques du projet sur l'écosystème.
- De faire part à la population concernée des conséquences néfastes du projet.

XI.3 Description du milieu

XI.3.1 L'environnement physique

XI.3.1.1 Climat

La région d'étude présente un climat désertique et extrêmement sec, avec des températures très élevées (la température moyenne est de 34°C)

XI.3.1.2 Géomorphologie

Tindouf est située dans le bassin de Tindouf, une importante dépression géologique du bord occidental du Craton Ouest-Africain. Ce bassin joue un rôle essentiel dans la géologie saharienne et possède une histoire géologique riche qui s'étend sur des centaines de millions d'années.

XI.3.1.3 Géologie et lithologie

La variété géologique de la zone d'étude a entraîné une grande diversité de la lithologie, En effet, il y a des dépôts du tertiaire continental, des sables, mais à des proportions différentes, graviers, alluvions variées, calcaires, grès et schistes primaires.

XI.3.1.4 Hydrologie et hydraulique

La ligne récente traverse plusieurs bassins versants hydrologiques qui font partie des bassins du Sahara.

XI.3.1.5 Sismologie

En examinant la carte, il est évident que l'ensemble du périmètre d'étude se situe sur un axe d'activité sismique faible (zone 0).

XI.3.2 L'environnement biologique

XI.3.2.1 La Flore

Le paysage végétal du Sahara nord-ouest algérien se caractérise par des formations principalement arbustives, à l'exception des zones de dépressions et de cuvettes où les eaux de ruissellement s'accumulent.

Dans les fonds d'oueds, la végétation ripicole à structure arborescente prédomine, souvent composée d'Acacia raddiana et de palmiers dattiers sauvages.

À l'extérieur de ce type d'habitat, la végétation steppique, souvent dégradée, est présente.

XI.3.2.2 La Faune

La faune domestique : La faune domestique est représentée principalement par le cheptel caprin et camelin, avec une dominance de ce dernier.

La faune sauvage : La faune sauvage de la Wilaya de Tindouf est relativement modeste en raison des conditions arides et désertiques. Elle comprend des espèces adaptées à ces environnements, telles que le fennec (renard du désert), le lézard, le serpent, et diverses espèces d'oiseaux.

XI.4 Environnement socio-économique

XI.4.1 Démographie

La démographie de la wilaya de Tindouf a connu une évolution significative lors des divers recensements de la population réalisée depuis l'indépendance. Ainsi, de l'ordre de 4.500 habitants au RGPH 1966, la population a augmenté de 110.260 habitants au RGPH 2021.

XI.4.2 L'agriculture

Malgré une superficie agricole cadastrée, l'activité agricole demeure très limitée et ne satisfait pas les besoins d'une population en plein essor. Cela est dû au faible niveau de ressources hydriques et au climat sec et très chaud.

XI.4.3 Economie

En plus de celui de Gara Djebilet, Tindouf compte un autre important gisement de fer, situé au lieu-dit Mechri Abdelaziz, à 400 kilomètres à l'est de la ville.

XI.5 Infrastructures de transport

XI.5.1 Le réseau routier

Le réseau routier de la région se distingue principalement par le passage de la RN50 reliant Tindouf à la wilaya de Bechar.

XI.5.2 Réseaux Aéroportuaires

La wilaya possède un aéroport régional commun sophistiqué qui joue un rôle très important avec une capacité de 400 personnes et deux avions, il est en liaison avec les villes les plus importantes du pays.

XI.6 Analyse des impacts directes et indirectes du projet sur l'environnement

L'évaluation des Impacts du projet Béchar-gara Djebilet (Tindouf) repose sur l'étude des éventuels conflits entre le milieu traversé et l'infrastructure à construire. Il est nécessaire de rechercher les aspects et les impacts liés aux différentes étapes de réalisation et à l'exploitation de notre ligne ferroviaire.

XI.6.1 Impacts de la phase de réalisation

L'élément affecte	Impact
Impacts sur la population	L'expropriation des biens, immeubles, équipements et terrains agricoles. Sur notre tronçon l'impact d'expropriation des populations est négligeable
Impact de la coupure	Perturbations de la circulation, notamment par la coupure de la RN50 et des pistes d'accès, limitant ainsi les liaisons entre les deux côtés du tracé. Cela affectera particulièrement les déplacements de la population, l'accès aux propriétés (champs et terres agricoles, fermes), ainsi que le déplacement des troupeaux d'animaux. Cette phase sera caractérisée par un phénomène de coupure direct et durable.
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 la qualité de l'air	Les émissions de gaz provenant des installations de combustion, les gaz d'échappement des véhicules et des camions. - Les poussières émises par le transport de matériaux par les camions ; Une dispersion involontaire de substances chimiques gazeuses ; - En excluant les COV, les particules de PM10.
Impacts sur les ressources en eau	Les eaux de réseau hydrographique peuvent être altérées temporairement par les différents travaux (Perturbation par la mise en suspension de sédiments fins, par l'augmentation de la turbidité par diversement des eaux de chantier, et les eaux de lavage des engins.

Impacts sonores	Le bruit émis par la circulation des trains est la principale perturbation du transport ferroviaire, due à la pénétration dans l'air et au contact acier sur acier des roues et du Rai
La géomorphologie	-Risques liés à la sensibilité des formations géologiques traversées. -Possibilité d'impacts négatifs dus aux opérations de terrassement, déblais et remblais. -Effets résiduels des opérations de construction sur la stabilité des talus.
Les sols	- le décapage de l'emprise entraîne la perte des sols - l'intensification des phénomènes d'érosion - le tassement des sols.
La Flore	-Risque d'abattage d'arbres, d'arbustes et d'autres formations herbacées pendant les travaux de chantier. -Réduction du couvert végétal et diminution de la productivité agricole.
La Faune	Terrassements entraînant la destruction et le changement d'habitat naturel de la faune locale.

XI.6.2 Impacts positifs de la phase d'exploitation

XI.6.2.1 Impacts positifs sur l'économie et le transport

- La sécurité et l'amélioration des transports de la matière première (Fer) ;
- Modernisation des moyens de transports.
- Une Rentabilité meilleure pour la Société nationale de transport ferroviaire.
- Aménagement urbain à proximité des gares nouvelles.
- Augmenter la part de desserte ferroviaire dans la région.
- Relie le nord de pays avec le Sud.
- Réduction de la congestion routière.

XI.7 Mesures de compensation des impacts environnementaux

XI.7.1 Mesures d'atténuation

La faune et la flore :

- Préserver les habitats naturels en limitant la destruction des espaces verts.
- Fermer les zones de chantier pour éviter les intrusions d'animaux.
- Sensibiliser le personnel à l'importance de la flore.
- Ré-végétaliser et transplanter des espèces végétales

La population :

- Installer des écrans acoustiques (murs ou merlons) pour réduire le bruit durant l'exploitation.
- Arroser régulièrement les pistes pour maîtriser les poussières et protéger la santé des riverains et des travailleurs.

Atmosphère et sols:

- Préserver les écoulements naturels (oueds) en limitant l'impact des coupures de cours d'eau.
- Compenser la perte de végétation par la création d'espaces verts et le reboisement.
- Interdire les produits chimiques nocifs à proximité des sites sensibles.
- Optimiser le profil en long de la ligne pour réduire terrassements et volumes de matériaux.

XI.8 Conclusion

Pour réduire les impacts environnementaux de la ligne ferroviaire, il est indispensable d'adopter une approche globale alliant :

une planification approfondie, des mesures préventives et correctives adaptées, un suivi régulier pour vérifier l'efficacité des actions.

Toutefois, durant les phases de construction et d'exploitation, des perturbations irréversibles sur le milieu naturel (cours d'eau, sols, habitats) et sur le fonctionnement urbain (circulation, déplacements agricoles et fauniques) resteront inévitables.

CHAPITRE XII :

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

XII.1 : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

XII.1.1 Devis quantitatif et estimatif

N° LOT	Désignations des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant HT (DA)
1- INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDE D'EXECUTION					
1-1	Installation générale de chantier	F	01	763 921 229,94	763 921 229,94
1-2	Etude d'exécution	F	01	90 000 000,00	90 000 000,00
Coût total installation de chantier et étude d'exécution (DA)					**853 921 229,94**
2- TERRASSEMENTS					
2-1	Décapage de terre végétale sur épaisseur de 0,3m	M3	4680.00	750.00	3 510 000.00
2-2	Déblais	M3	135052.96	2500.00	337 632 400.00
2-3	Remblais	M3	272280,90	1500.00	408 421 350.00
2-4	Couche de forme	M3	51583.03	2600.00	134 115 878.00
2-5	Couche de fondation	M3	26967.60	3200.00	86 296 320.00
2-6	Sous ballast	M3	24945.03	3800.00	94791 114.00
2-7	Ensemencement des talus	M2	1957	1100.00	2 152 700.00
2-8	Clôture de ligne	M	30 000	6500.00	19 500 000.00
2-9	Mise en place de terre végétale	M3	6000	300.00	1 800 000.00
Coût total des terrassements (DA)					**1 263 719 762.00**
3- OUVRAGE D'ART					
3-1	Passage inferieur	U	01	539 988 950.00	5 399 88 950.00
Coût total des ouvrages d'art (DA)					**539 988 950.00**

4- OUVRAGES HYDRAULIQUE					
4-1	Fossés trapézoïdaux en béton armé	ML	900	9000.00	8 100 000.00
4-2	Fossés trapézoïdaux en terre	ML	2430	1200.00	2 916 000.00
4-3	Dalot en béton armé 3×2	U	2	45 000.00	90 000.00
4-4	Buse circulaire 1500 Φ	U	32	50 000. 00	1 600 000.00
Coût total des ouvrages hydraulique (DA)					**12 706 000.00**
5- TRAVAUX DE VOIE 01- (PLEINE VOIE)					
5-1	Fourniture et pose de ballast d'épaisseur de 0.30m	M3	35956.80	7400.00	266 080 320.00
5-2	Soudage aluminothermique	U	311	20800	6 468 800.00
5-3	Soudage électrique	U	4659.88	18400	85 741 792.00
5-4	Fourniture des rails UIC 60	T	5387.35	8500	45 792 475.00
5-5	Fourniture des traverses monobloc en béton précontrainte	U	50 010,00	12 000,00	600 120 000,00
5-6	Attache Vossloh W30 H.H.	U	200 040,00	1 800,00	360 072 000,00
5-7	Semelles cannelées (200x165x9)	U	100 020,00	450,00	45 009 000,00
5-8	Fourniture et pose de ADV UIC 1/9	U	47,00	170 000 000,00	7 990 000 000,00
5-9	Fourniture et pose de ADV UIC 1/7	U	3,00	155 000 000,00	465 000 000,00
5-10	Fourniture et pose heurtoir	U	13,00	620 000,00	8 060 000,00
5-11	Pose de la voie	ML	134 100,00	8 050,00	1 079 505 000,00
5-12	Fourniture et pose poteaux kilométrique	U	15,00	13 000,00	195 000,00

5-13	Fourniture et pose poteaux hectométrique	U	45,00	13 000,00	585 000,00
5-14	Fourniture et pose bornes de repère	U	897,00	13 000,00	11 661 000,00
5-15	Fourniture et pose poteaux de déclivité	U	7,00	11 000,00	77 000,00
5-12	Libération et homogénéisation des contraintes du LRS	ML	89 476,00	900,00	80 528 400,00
5-13	Fourniture et pose de traverses de garage de franc	U	56,00	55 000,00	3 080 000,00
Coût totale des travaux de voie (DA)					**10 675 488 387,00**
02- GARE					
6-1	Bâtiment de voyageurs + aménagement	U	01	175 017 400.00	175 017 400.00
6-2	Quais	U	02	25150 000,00	50 300 000,00
Coût totale de la gare (DA)					**225 317 400,00**
7- SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION					
7-1	**Signalisation +Electrification**				**14 800 000,00**
Total en HT					13 585 941 728,94
Montant TVA((avec taux de TVA =19%)					2 581 328 928,50
Montant total en TTC					**16 167 270 657,44**

Montant total en TTC (en lettres)

Seize milliards cent soixante-sept millions deux cent soixante-dix mille six cent cinquante-sept dinars algériens et quarante-quatre centimes.

CONCLUSION GENERAL

CONCLUSION GENERAL

La thématique du projet de fin d'étude concerne une étude APD d'une nouvelle ligne ferroviaire BECHAR-GHARA DJBILET (TINDOUF) qui se déroulera du Pk 935+000 au Pk 950+000, avec une vitesse rapide de 160 km/h et une vitesse lente de 70 km/h. De plus, il s'agira de concevoir la nouvelle gare MIXTE de TINDOUF . L'objectif de ce projet est de désenclaver et de développer la région Sud du pays. On considère cette grande ligne comme une importante infrastructure qui favorise le développement de l'économie du pays. Son objectif principal est de transporter les minéraux de GARA DJBILET vers le nord

Dans cette étude, nous avons réalisé une analyse approfondie du contournement ferroviaire de la ville de TINDOUF, qui s'étend sur une distance de 15 km, qui fait partie de la ligne BECHAR-TINDOUF. Nous avons commencé par l'analyse géométrique, puis nous avons effectué des études géologiques, géotechniques, hydrauliques, de stabilité des talus, etc. Afin d'améliorer ces dernières, nous utilisons les différentes normes (SNTF, UIC), les logiciels (AUTOCAD,Civil 3D) ainsi que les connaissances acquises pendant nos années d'études supérieures.

Tout cela nous a permis de terminer notre formation à l'Ecole nationale supérieure des travaux publics d'Alger et d'acquérir une certaine expérience sur les chantiers.

Bibliographie

[1] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2ème Edition.

[2] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 3ème Edition.

[3] SNTF : REFERENTIEL TECHNIQUE SNTF Chapitre 6 Géométrie de la voie.Version 2 du 22/12/2005.

[4] IN0230_implantation appareil de voie du 20.01.2009 .

[5] ST N°590 B-Oct 95.

[6] Cours hydraulique et assainissement de RHMANI Douadi ENSTP.

[7] SETIRAIL, « Rapport de l'étude géologique et géotechnique ».

[8] SETIRAIL, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».

[9] SNTF, chapitre 10, signalisation et télécommunication, version 2.

[10] Mémoires de voie ferrée école nationale des travaux publics.

ANNEXES

ANNEXE A : Listing de l'axe en plan

Nom de l'axe: Axe Tindouf

Départ : 935+000 Extrémité : 950+000

Abscisse curviligne de départ(m)	Abscisse curviligne de fin(m)	Longueur (m)	Caractéristiques
935+000	935+083	83.399	DR1
935+083	935+183	100.000	CLO1 Angle_delta:011.4827(g) Rayon: 2300 Clotilde :479.583 (m)
935+183	935+598	414.851	
935+598	935+698	100.000	
935+698	937+309	1610.638	DR2
937+309	937+409	100.000	CLO2 Angle_delta:014.1830(g) Rayon: 2300 Clotilde :479.583 (m)
937+409	937+921	512.408	
937+921	938+021	100.000	
938+021	938+171	150.000	
938+171	939+317	1146.204	CLO3 Angle delta: 056.1305(g) Rayon: 1300 Clotilde :441.588 (m)
939+317	939+467	150.000	
939+467	939+525	57.520	DR3
939+525	939+625	100.000	CLO4 Rayon: 2300 Angle delta: 044.4908(g) Clotilde : 479.583(m)
939+625	941+232	1607.378	
941+232	943+420	2187.903	DR4
943+420	943+520	100.000	CLO5 Rayon: 2300 Angle delta: 011.7726(g) Clotilde : 479.583(m)
943+520	943+925	405.323	
943+925	944+025	100.000	
944+146	944+384	238.562	DR5
944+384	944+484	100.000	CLO6 Rayon: 2300 Angle delta: 0033.6003(g) Clotilde : 479.583(m)
944+484	945+700	1216.089	
945+700	945+800	100.000	
945+800	949+982	4181.600	DR6

ANNEXE B : Données de Courbe du Profil en Long

Nom de l'axe : Axe Tindouf

Départ : 935+000 Extrémité : 950+000

Abscisse du PIV en (m)	Altitude du PIV en (m)	Talus d'entrée en %	Talus de sortie en %	A (changement de talus) en %	Type de sous-entité	Longueur de la courbe de la ligne de profil en long en (m)	Rayon de la courbe en (m)
935+000	377.114	-0.54	0.54	0.54	Courbe circulaire	64.849	12000
936+341	369.868	-0.54	0.00	0.54	Parabole symétrique	87.901	35000
937+600	369.868	0.00	0.25	0.25	Courbe circulaire	48.284	9900
940+200	376.247	0.25	0.74	0.49	Courbe circulaire	48.284	9900
944+454	409.089	0.74	0.00	0.74	Courbe circulaire	68.275	9240.566
950+372	409.089	0.00	-	-	-	-	-

ANNEXE D: Canalisation circulaire partiellement remplie

Q/Qps	V/Vps	h/D	Q/Qps	V/Vps	h/D
0,001	0,14	0,02	0,534	1,02	0,52
0,003	0,22	0,04	0,568	1,03	0,54
0,007	0,29	0,06	0,603	1,05	0,56
0,013	0,35	0,08	0,637	1,06	0,58
0,021	0,40	0,10	0,672	1,07	0,60
0,031	0,45	0,12	0,706	1,08	0,62
0,042	0,50	0,14	0,740	1,09	0,64
0,056	0,54	0,16	0,773	1,10	0,66
0,071	0,58	0,18	0,806	1,11	0,68
0,088	0,62	0,20	0,837	1,12	0,70

0,106	0,65	0,22	0,868	1,13	0,72
0,126	0,68	0,24	0,898	1,13	0,74
0,148	0,72	0,26	0,926	1,14	0,76
0,171	0,75	0,28	0,953	1,14	0,78
0,196	0,78	0,30	0,977	1,14	0,80
0,222	0,80	0,32	1,000	1,14	0,82
0,249	0,83	0,34	1,021	1,14	0,84
0,277	0,86	0,36	1,039	1,14	0,86
0,307	0,88	0,38	1,054	1,13	0,88
0,337	0,90	0,40	1,066	1,12	0,90
0,368	0,92	0,42	1,073	1,12	0,92
0,400	0,94	0,44	1,076	1,10	0,94
0,433	0,96	0,46	1,071	1,09	0,96
0,466	0,98	0,48	1,057	1,06	0,98
0,500	1,00	0,50	1,000	1,00	1,00

ANNEXE E : Résultats de la compagne géotechnique (Sondages carottés)

F 93-LM/TB :	0.00 – 5.00 m : Sable rougeâtre a graves et cailloux de grès 5.00 – 12.00 m : Grés calcaire, altéré, récupéré en morceau, brun
F 94-LM/TB :	0.00 – 3.50 m : Sable rougeâtre a graves et cailloux de grès 3.50 – 5.50 m : Grés calcaire, altéré, récupéré en morceau, brun 5.50 – 10.0 m : Grès calcaire induré, compacte, brun
F 95-LM/TB :	0.00 – 2.50 m : Sable rougeâtre a graves et cailloux de grès 2.50 – 10.0 m : Grès calcaire induré, compacte, brun

Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville
Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction
E.P.E/S.P.A AU CAPITAL DE 800 000 000 DA
DIRECTION REGIONALE EST

RAPPORT DE FORAGE

Sondage : F 93-LM/TB

Projet : Ligne firroviaire
Client : SETI RAIL SPA Alger

Dossier N° :
Endroit : Bechar-Tindouf-Ghar Djebilet

Date début :
Date fin :
Profondeur forée (m) : 12
Niveau d'eau (m) :

Coordonnées GPS:
X :
Y :
Z :

Boue de forage : Eau Claire
Type forage : Carotté
Foreuse : Labyss 75

Etat des échantillons :
Intact | Remanié | Paraffiné | Roche

Échelle (m)	Élévation (m) / Profondeur (m)	Récupération (25 50 75 100)	SPT (N1 + N2)	ROD	Tubage	Carottier	État	Profondeur Échantillon	Niveau d'eau	Symboles	DESCRIPTION	Détail Essais SPT Prof (m)	N0	N1	N2
1.0 – 5.0	-5.00 / 5.00										Sable rougeâtre à graves et cailloux de grés				
6.0 – 11.0	-12.00										Grés calcaire, altéré, récupéré en morceau, brun				

Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville
Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction
E.P.E/S.P.A AU CAPITAL DE 800 000 000 DA
DIRECTION REGIONALE EST

RAPPORT DE FORAGE

Sondage : F 94-LM/TB

Projet : Ligne firroviaire
Client : SETI RAIL SPA Alger

Dossier N° :
Endroit : Bechar-Tindouf-Ghar Djebile

Date début :
Date fin :
Profondeur forée (m) : 10
Niveau d'eau (m) :

Coordonnées GPS:
X :
Y :
Z :

Boue de forage : Eau Claire
Type forage : Carotté
Foreuse : Labyss 75

Etat des échantillons :
Intact | Remanié | Paraffiné | Roche

Échelle (m)	Élévation (m) / Profondeur (m)	Récupération (25 50 75 100)	SPT (N1 + N2)	ROD	Tubage	Carottier	État	Profondeur Échantillon	Niveau d'eau	Symboles	DESCRIPTION	Détail Essais SPT Prof (m)	N0	N1	N2
1.0 – 3.0	-3.50 / 3.50										Sable rougeâtre à graves et cailloux de grés				
4.0 – 5.0	-5.50 / 5.50										Grés calcaire, altéré, récupéré en morceau, brun				
6.0 – 9.0	-10.00 / 10.00										Grés calcaire induré, compacte, brun				
											Fin du forage à une profondeur de 10 m.				

Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville
Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction
E.P.E/S.P.A AU CAPITAL DE 800 000 000 DA
DIRECTION REGIONALE EST

RAPPORT DE FORAGE

Sondage : F 95-LM/TB

Projet : Ligne firroviaire
Client : SETI RAIL SPA Alger
Dossier N° :
Endroit : Bechar-Tindouf-Ghar Djebile

Date début :
Date fin :
Profondeur forée (m) : 10
Niveau d'eau (m) :

Coordonnées GPS:
X :
Y :
Z :

Boue de forage : Eau Claire
Type forage : Carotté
Foreuse : Labyss 75

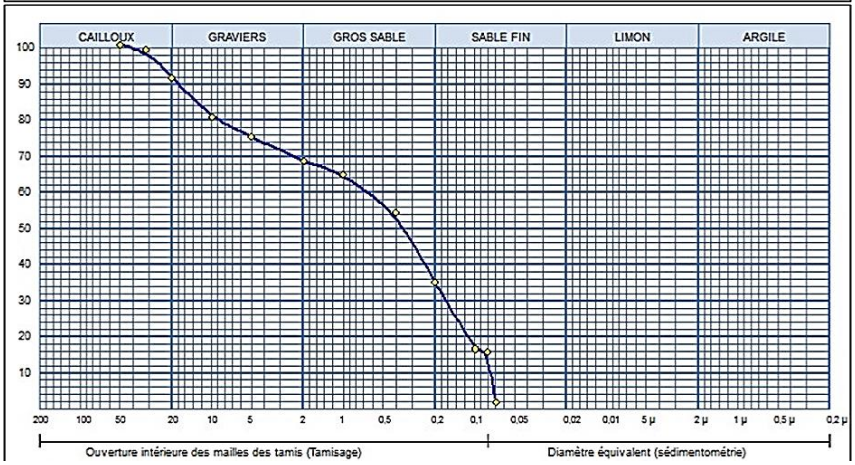
Etat des échantillons :
Intact | Remanié | Paraffiné | Roche

Echelle (m)	Elévation (m) / Profondeur (m)	Récupération (25 50 75 100)	SPT (N1 + N2)	ROD	Tubage	Carottier	État	Profondeur Échantillon	Niveau d'eau	Symboles	DESCRIPTION	Détail Essais SPT: Prof (m)	N0	N1	N2
1.0											Sable rougeâtre à graves et cailloux de grés				
2.0	-2.50														
3.0	2.50														
4.0															
5.0											Grés calcaire induré, compacte, brun				
6.0															
7.0															
8.0															
9.0															
10.0	-10.00														
	10.00										Fin du forage à une profondeur de 10 m.				

Client :
N° Projet : /
Projet : Ligne feroviére Bechar Tindouf

Sondage n° : PK 935+000
Profondeur :
Matériaux :
Provenance :
Date essais : 23/07/2023

Sondage: PK 935+000 :



Analyse Granulométrique		Analyse sédimentométrique	
Tamis (mm)	Tamisat (%)	Diamètre équivalent	Tamisat (%)
50,00	101,00	80,00 µm	15,88
31,50	99,53	68,60 µm	1,83
20,00	91,80		
10,00	80,98		
5,00	75,43		
2,00	68,71		
1,00	65,08		
0,40	54,32		
0,20	35,06		
0,10	16,64		

Echant	< 80 µ	LIMITES D'ATTERBERG			Classificat°
		W.L (%)	W.P (%)	I.P (%)	
—◇—	15,88 %	1 %	%	1 %	SA

ANNEXE F : classification des sols selon UIC

Classe de qualités des sols	Classification des sols (identification géotechnique)
QS0 : Sols impropres	0.1 sols organiques. 0.2 sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonné, humides et donc non compactables. 0.3 sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse) 0.5 sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels par exemple). 0.6 sols mixtes « minéraux organique ».
QS1 : Sols médiocres	1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (sauf sols0.2). 1.2 Roches très évolutives par exemple : - Craies de $\rho d < 1.7 t/m^3$ et de friabilité forte – Marnes - Schistes altérés. 1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (sauf sols 0.2). 1.4 Roches évolutives par exemple : - Craies de $\rho d < 1.7$ <t/m3 et de friabilité faible - Schistes non altérés. 1.5 Roches tendres par exemple : Si Microdeval en présence d'eau (MDE)>40 et Los Angeles LA>40.
QS2 : Sols moyens	2.1 Sol comportant de 5 à 15% de fines. 2.2 Sols comportant moins de 5% de fines mais uniformes (Cu≤6). 2.3 Roches moyennement dures par exemple : Si 25<MDE≤40 et 30<LA<40.
QS3 : Bons sols	3.1 Sols comportant moins de 5% de fines 3.2 Roches dures par exemples : Si MDE≤25 et LA≤30

ANNEXE G : classification des sols selon le code UIC 719R

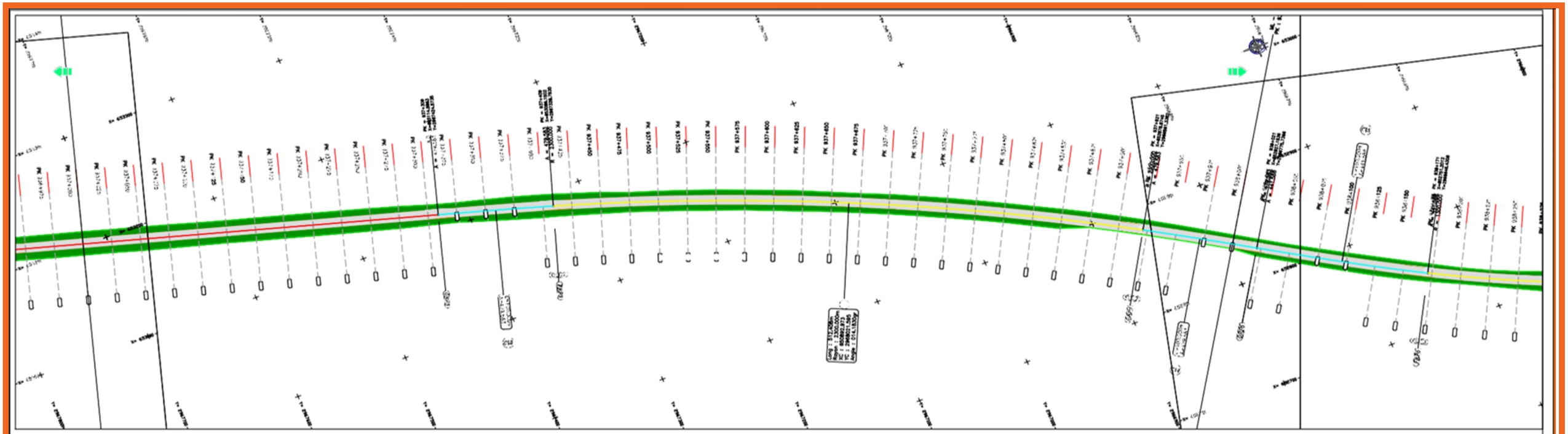
Type de sol (Classification géotechnique)	Classe de qualité des sols
- Sols organiques ; - Sols avec plus de 15% de fins, expansifs, humides, de haute plasticité et pas compactables ; - Sols contaminés avec déchets, matière organique ou résidus ; - Sols avec matériaux solubles (sel-gemme ou plâtre).	QS0
- Sols avec plus de 40% de fins (pas classifiables comme QS0); - Roches évolutives.	QS1 (a)
- Sols avec 15% à 40% de fins (pas classifiables comme QS0); - Roches friables ; - Roches peu dures (MDE > 40 et LA >40%).	QS1 (b)*
- Sols avec 5% à 15% de fins ; - Sols avec moins de 5% de fins mais uniformes (Cu ≤ 6); - Roches moyennement dures (25% < MDE ≤ 40% et 30% < LA ≤ 40%)	QS2
- Sols avec moins de 5% de fins; - Roches dures (MDE ≤ 25% et LA ≤ 30%)	QS3

ANNEXE H : Les épaisseurs minimales de la couche d'assise selon UIC719R

E	0.70m	Pour les plateformes de classe de portance P1.
	0.55m	Pour les plateformes de classe de portance P2.
	0.45m	Pour les plateformes de classe de portance P3.
a	0 m	Pour les lignes des groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V>160 km/h quel que soit le groupe (UIC).
	-0.05	Pour les lignes de groups UIC (3,4).
	-0.10	Pour les lignes de groupe UIC (5, 6,7, 8,9) avec voyageurs.
	-0.15	Pour les lignes de groupe UIC (7, 8,9) sans voyageurs.
b	0 m	Pour les travers en bois de longueurs L= 2.6 m
	(2.50-L) /2 m	Pour les travers en béton de longueur L. (L et b en mettre si L>2.5, b peut être négatif).
c	0 m	Pour un dimensionnement normal (nouvelle ligne).
	-0.1	À titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que ''7, 8 et 9
d	0 m	Lorsque la charge nominale maximale d'essieu des véhicules remorques est inférieur ou égale a 20 tonne/essieu.
	0.05 m	Lorsque cette charge est de 22 ,5 tonne/essieu.
	0.12 m	Lorsque cette charge est de 25 tonne/essieu.
f	0	Pour toutes les lignes parcourues à V ≤ 160 Km/h et pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse.
	0.05 m	Pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues a grande vitesse.
	0.10 m	Pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse.
g	+	Géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2.
	0	(Pas de géotextile), lorsque la couche de forme est en sol QS3.

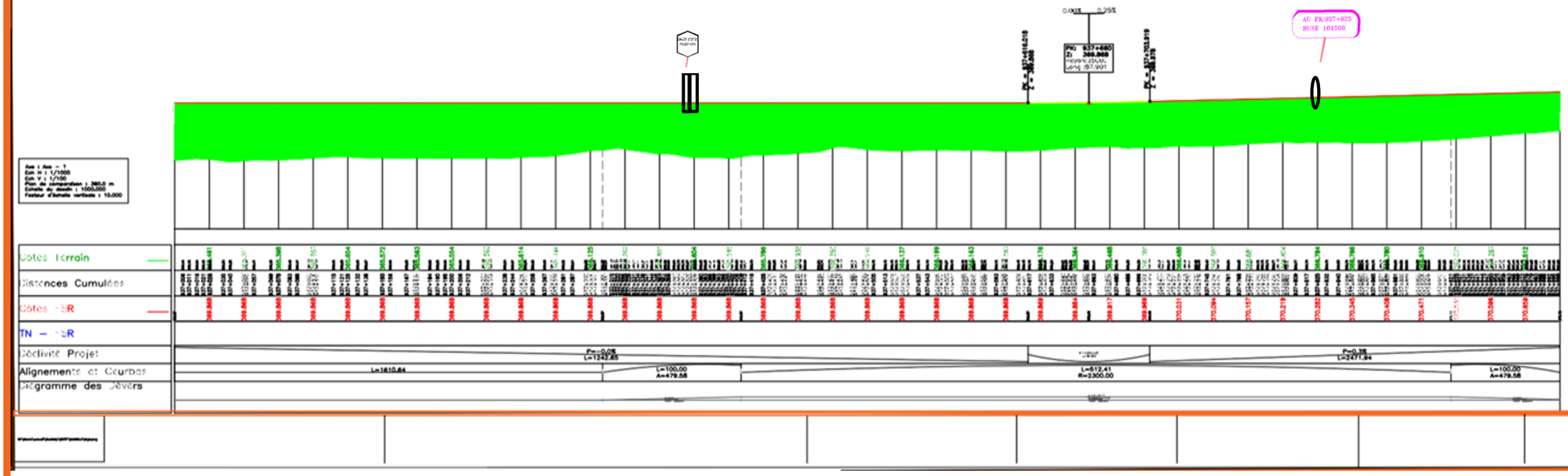
ANNEXE I : fuseau de contrôle de ballast

Points singuliers des fuseaux	Dimensions des mailles carrées	Valeur de fuseau de contrôle
Dmax : 1.25D	63	Passant 100%
D	50	85%≤Passant D≤99%
Tamis intermédiaire	40 31,5	40%≤Passant≤74% 10%≤Passant≤35%
D	25	Passant≤ 5%
Dmin : 0,63d	16	Dmin : 0,63



Béchar

Gara Djebilet



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

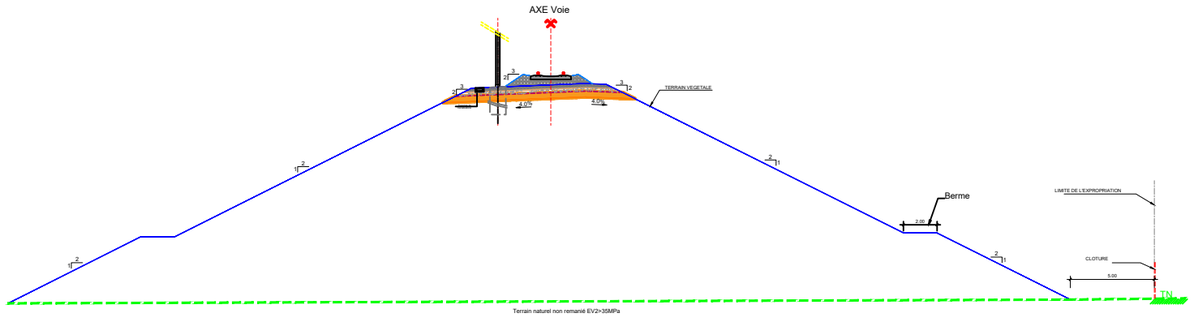
Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38 **Site web :** www.enstp.edu.dz
Tel : (023) 70 19 04 **E-mail :** enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
étude en APD de la nouvelle ligne minière ferroviaire BECHAR -GARA DJEBILET (TINDOUF) du PK935+000 au PK950+000 avec conception d'une GARA DJEBILET	H.Djaboub D.Djied	A.Ouali Y.Berriche	1 :100	2	2024 / 2025

PROFIL EN TRAVERS TYPE

Echelle: 1/100

Remblai>8m



PROFIL EN TRAVERS TYPE

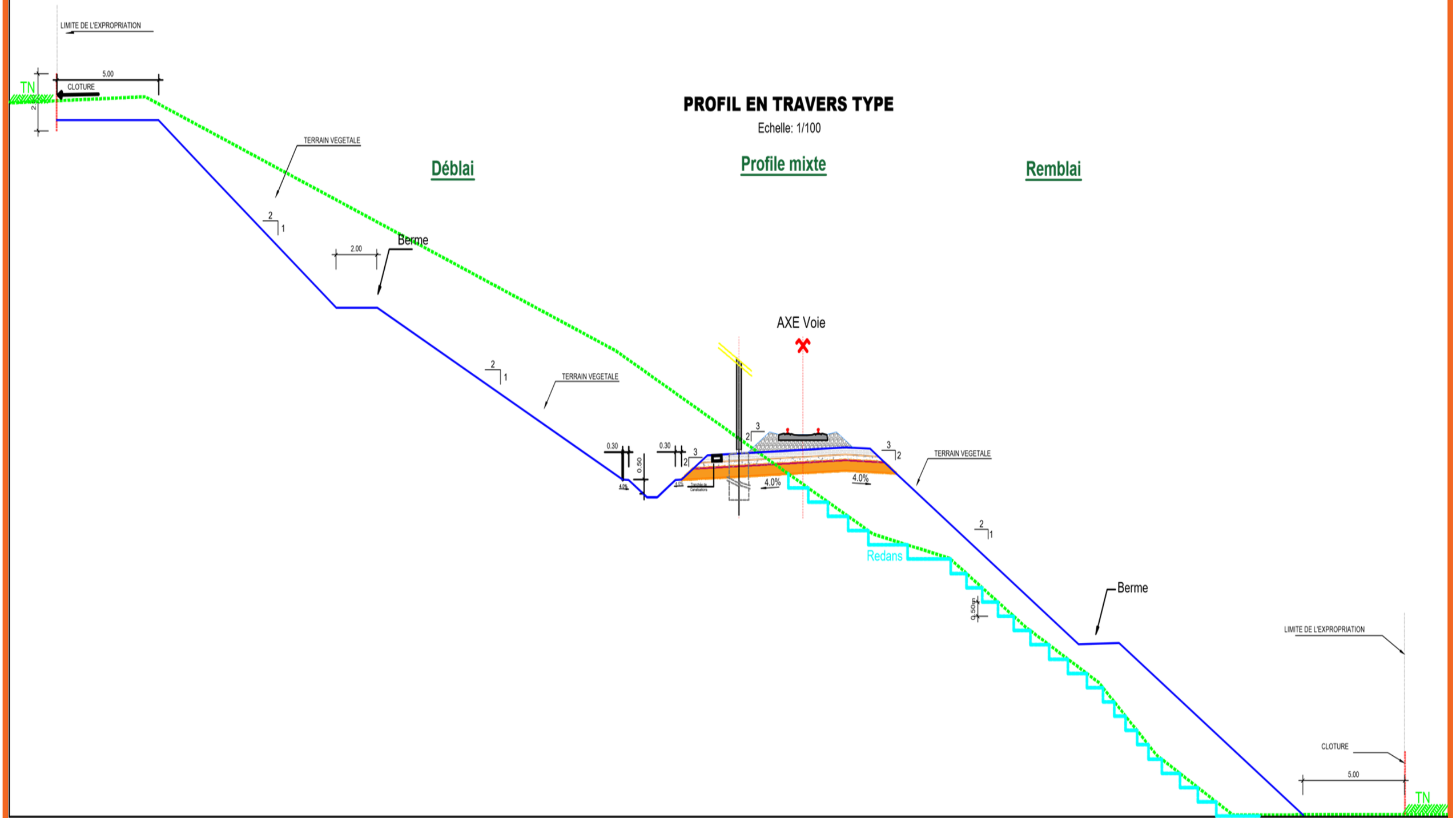
Echelle: 1/100

Déblai > 6m

C:\Users\pc\Desktop\cartouches ENSTP\logo.JPG **Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger** **Fax :** (023) 70 19 38 **Site web :** www.enstp.edu.dz **Tel :** (023) 70 19 04 **E-mail :** enstp@enstp.edu.dz	PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
	Étude APD de la nouvelle ligne ferroviaire Béchar – Tindouf – Ghar Djebilet (du PK 935 au PK 950)	H.DJABOUB D.DJIED	A.OUALI	1/100	3	2024 / 2025

PROFIL EN TRAVERS TYPE

Echelle: 1/100



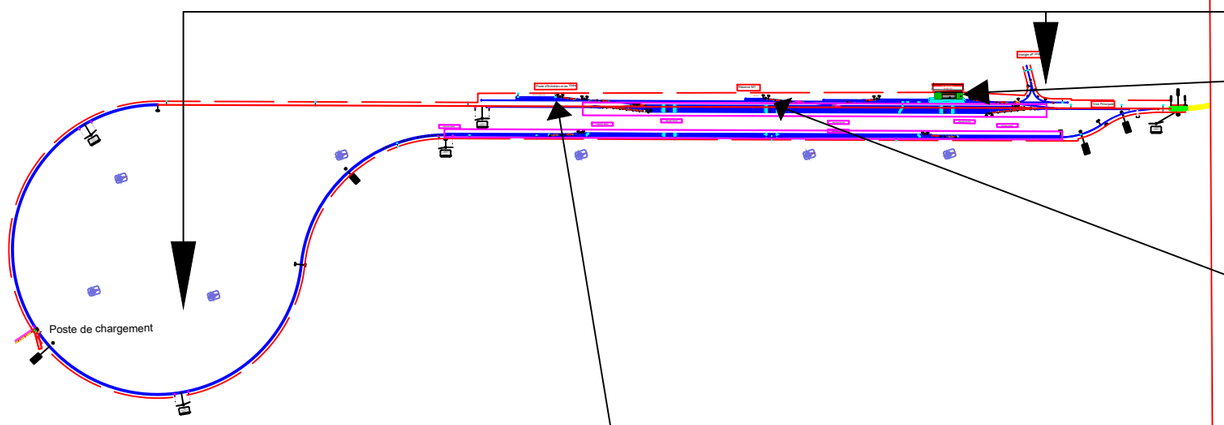
ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

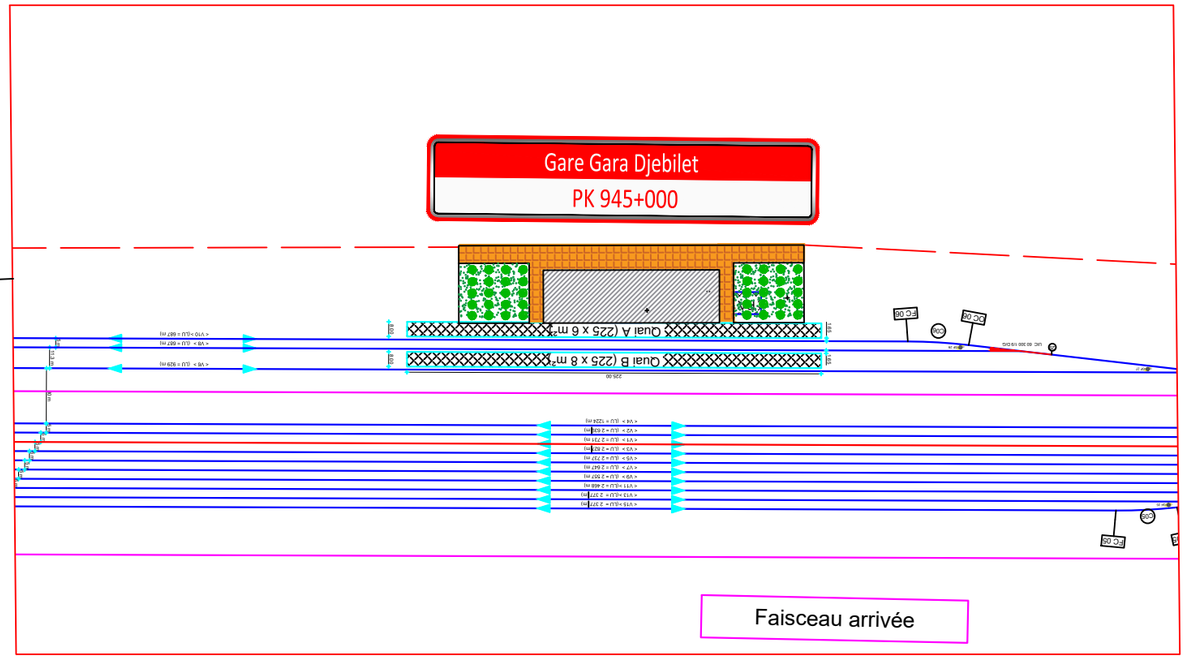
Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38 **Site web : www.enstp.edu.dz**
Tel : (023) 70 19 04 **E-mail : enstp@enstp.edu.dz**

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
étude en APD de la nouvelle ligne minière ferroviaire BECHAR -GARA DJEBILET (TINDOUF) du PK935+000 au PK950+000 avec conception d'une GARA DJEBILET	H.Djaboub D.Djied	A.Ouali Y.Berriche	**1 :100**	6	2024 / 2025

Plan de voie de la Gare ferroviaire

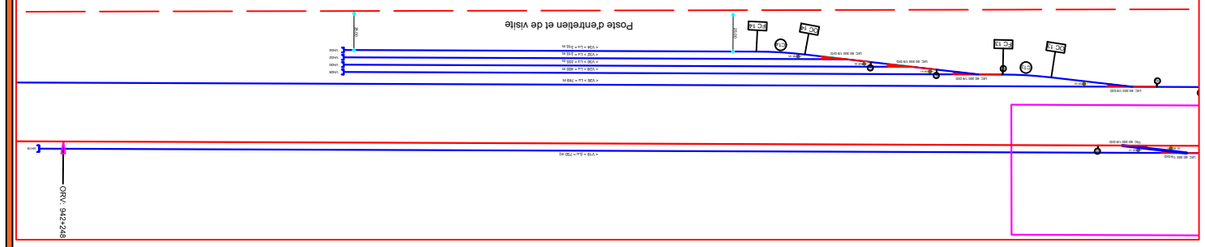
de GARE DE GARA DJEBILET AU PK 939+083.700 m

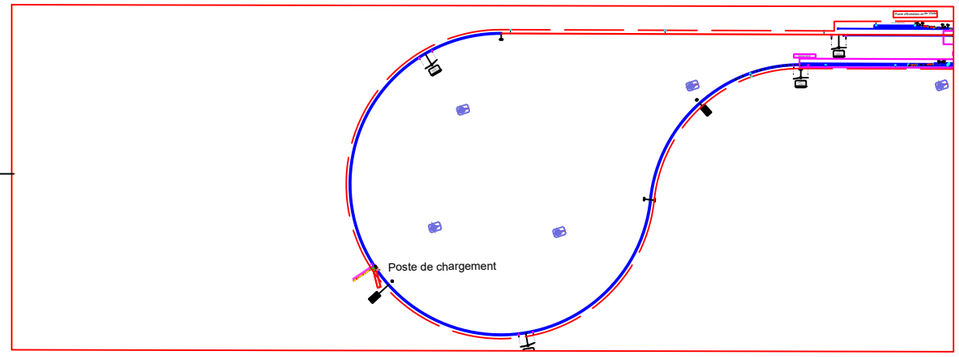




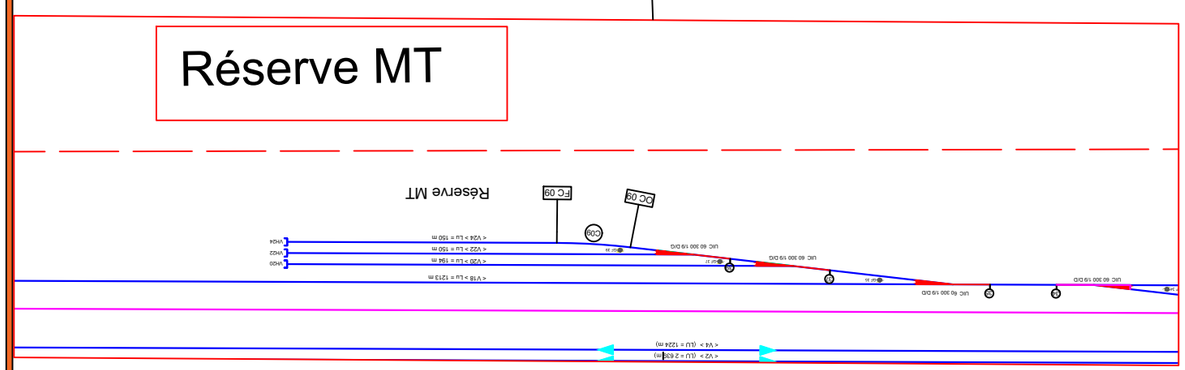
Faisceau arrivée

Poste d'Entretien et de Visite

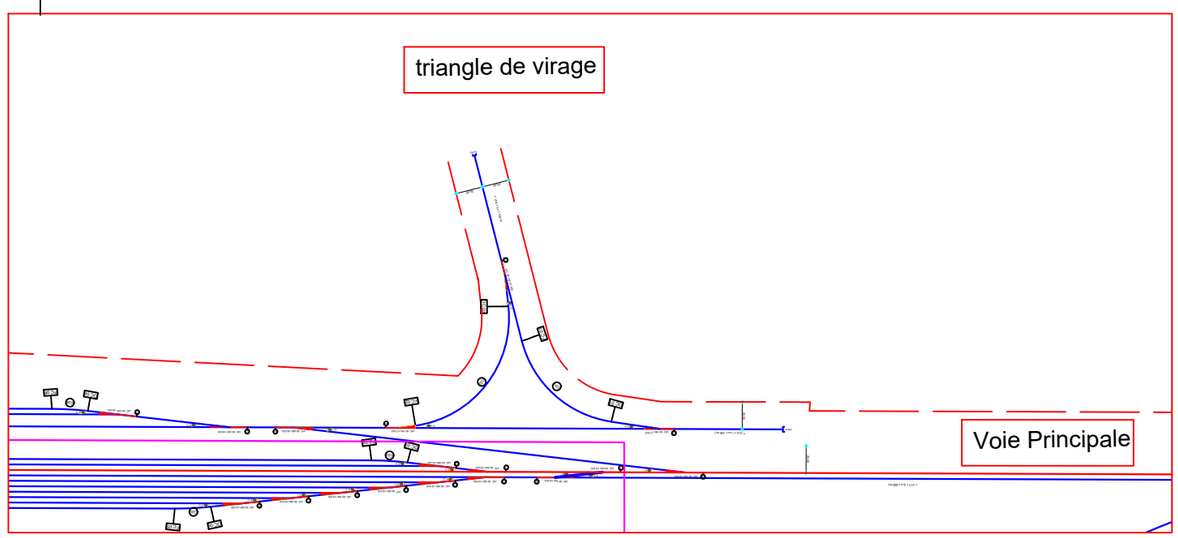




Réserve MT



triangle de virage



Voie Principale

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

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude en APD de la nouvelle ligne miniere ferroviare BECHAR -GARA DJEBILET (TINDOUF) du PK935+000 au PK950+000 avec conception d'une GARA DJEBILET	**D.DJIED H.DJAABOUB**	**A.OUALI**	**1:100**	**6**	2024 / 2025