République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة

فرنسـيس جانســون

Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Béchar-Tindouf-Gara Djebilet du PK 19+675 au PK 35+800 avec l'aménagement et la conception de la gare de Bechar djdid

Présenté par :

BENREJDAL Sabrina

MAZOUZI Asmaa

Encadré par :

Mr. ZENNOUCHE Smail

Mr. HAMADI Kamel

Promotion 2024/2025

© ENSTP-FJ - Garidi - Vieux Kouba

REMERCIEMENT :

Avant tout, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Allah Tout-Puissant pour nous avoir accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires à l'accomplissement de ce travail.

Nous tenons à adresser un grand merci à **Mr. MORSLI Rabeh** ainsi qu'à tout le personnel de l'**ENSTP** pour leurs précieux conseils et leurs efforts. Nous remercions particulièrement **Mme Bourebia** et **Mme Makoudi** pour leur disponibilité et leur accompagnement tout au long de notre parcours.

Nous exprimons nos sincères remerciements à notre encadrant, **Mr.ZENNOUCHE Smail**, pour sa disponibilité, son accompagnement rigoureux et ses conseils précieux tout au long de ce projet. Son soutien et sa confiance ont été essentiels à l'avancement de notre travail.

Nos remerciements à notre co-encadrant, **Dr.HAMADI Kamel**, pour ses orientations techniques pertinentes, son engagement constant qui ont fortement enrichi notre étude.

Nous tenons aussi à remercier toute l'équipe de l'entreprise **Infrarail**, au sein de laquelle nous avons effectué notre stage, leur collaboration et les enseignements pratiques qu'ils nous ont transmis durant cette période formatrice.

Nous adressons une mention toute particulière à **l'ingénieur SMIRA Houssam Eddine** pour son implication, ses efforts constants, sa disponibilité et son accompagnement technique de grande qualité, qui ont largement contribué à enrichir notre expérience sur le terrain. Enfin, nous remercions les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre mémoire, ainsi que tous nos enseignants pour leur contribution à notre formation tout au long de notre parcours à l'ENSTP.

Dedication:

BISSMILLAH , the Most Gracious, the Most Merciful.
All praise is due to Allah, who has guided me and carried me through every challenge with His infinite mercy and wisdom.

To my beloved **Mother**, whose absence is a wound that never truly heals. Allah yarhamha. I carry your love in every heartbeat, your voice in every prayer, and your strength in every step I take. You may not be here to see this moment, but I feel your presence with me always. I dedicate this work to you because I know no one was waiting for this more than you. I pray that Allah grants you Jannatul Firdaus and reunites us in a place where pain does not exist.

To my father**, Abdelkader** thank you for your patience, your sacrifice, and the calm you've brought into my life. You have carried more than you ever let us see, and I will always be grateful for your silent, steady love.

To my little sister **Amina** you are everything. The joy of our home, the softness in my world, the one whose hugs make everything better. Your pure heart and bright soul are a blessing that I thank Allah for every day. I pray your path is filled with love, success, and protection.

To my brothers **Ayoub, Zakaria, and Souleimane** thank you for being my solid ground. You each hold a special place in my heart, and I'm so lucky to call you my brothers. May Allah preserve our bond and protect you always.

To all my friends who filled my days with meaning : **Dalila**, **Marie**, **Rayene**, **Radhia**, **Nadia**, **Randa** , **Imene**, **Warda** , and every dear friend who stood by me thank you for your warmth, your loyalty, and the comfort of your presence. You've been there in moments of laughter, silence, and everything in between, and I'm endlessly grateful for the memories we've built together and the love you've shown me along the way.

To my dear aunts **Fatma zohra** ,**Fella** and To my cousins **Chaima** , **Hadil**, and to all my other cousins who are more like sisters , your kindness and wisdom have been a steady light in my life. And to my entire family, thank you for surrounding me with care, prayers, and unwavering belief. May Allah keep our bond strong and fill it always with peace and blessings.

To my partner on this ride, **Sabrina** you've become so much more than someone I worked with, you've become a sister of my soul. Thank you for the laughter that lifted heavy days, the calm you brought in moments of stress, and the genuine warmth you shared so naturally. Sharing this thesis with you turned into something far deeper than collaboration it became a bond I'll always hold close. Your presence made everything lighter, more joyful, and full of meaning. I'm truly grateful for every second spent together, and I'll forever carry the traces of this connection in my heart.

This dedication carries all my love, my memories, and the people who shaped this path with me.
May Allah bless you all.

Asmaa.

Dédicace :

Avant d'entamer ce mémoire ,je souhaite adresser mes plus sincères remercîments à toutes les personnes qui m'ont soutenue ,accompagnée et encouragée tout le long de ce parcours.

À ma mère, dont l'amour m'a portée bien plus loin que mes propres forces.
Son soutien silencieux, sa tendresse et ses invocations ont été mon refuge.
Je lui dois chaque pas de ce chemin parcouru.
Qu'Allah lui accorde la guérison, soulage ses douleurs et l'enveloppe de Sa miséricorde.

À mon père, pour la confiance qu'il m'a toujours accordée, ses conseils pleins de sagesse et sa présence rassurante. Grâce à lui, j'ai appris à croire en moi et à persévérer malgré les difficultés.

À ma sœur Cylia, pour son affection sincère, sa délicatesse et sa présence toujours apaisante. Son énergie douce et sa façon unique de me faire sourire ont été un véritable refuge.

À mon frère Madjid, dont les gestes discrets et les paroles justes m'ont portée dans les moments clés.

À son épouse, Hanan, pour sa bienveillance naturelle, son attention touchante et ses encouragements silencieux mais puissants.

À leur petit Cylas, ce doux rayon de lumière âgé de trois mois, qui occupe déjà une place immense dans mon cœur.

Je tiens à remercier du fond du cœur mon binôme Asmaa, avec qui j'ai partagé chaque étape de ce travail. Sa patience, son sérieux, et sa bienveillance ont fait de cette collaboration une belle expérience, à la fois enrichissante et humaine. Avec le temps, elle est devenue bien plus qu'une partenaire : une amie précieuse que je garderai toujours dans mon cœur.

Je remercie chaleureusement mes amies Melissa, Nihad, Baya,Mona, Nada, Louiza, Chaïma et Rayane, pour leur amitié fidèle, leurs mots d'encouragement et leur énergie positive qui m'a portée dans les moments de doute

Sabrina

Résume :

Le présent mémoire porte sur une étude en Avant-Projet Détaillé (APD) d'un tronçon de la future ligne ferroviaire minière Béchar–Gara Djebilet, situé entre le PK 19+675 et le PK 39+800, dans la wilaya de Béchar. Ce projet vise à faciliter le transport du minerai de fer extrait du gisement de Gara Djebilet vers les ports du nord du pays. L'étude a été réalisée selon les normes UIC et les recommandations de la SNTF, en intégrant les exigences de traction lourde (32,5 t/essieu). Une attention particulière a été accordée à l'aménagement de la gare de Béchar Jdid, située dans une nouvelle zone urbaine en développement. Les outils utilisés incluent AutoCAD, Covadis 17, Géo 5.0, Civil 3D, Google Earth et Ms Project.

Summary :

This thesis focuses on a Detailed Preliminary Study (APD) of a section of the future mining railway line between Béchar and Gara Djebilet, covering the segment from PK 19+675 to PK 39+800, located in the wilaya of Béchar. The project aims to facilitate the transport of iron ore extracted from the Gara Djebilet deposit to the ports in the northern part of the country. The study was conducted according to UIC standards and the recommendations of the Algerian National Railway Company (SNTF), incorporating the requirements of heavy axle loads (32.5 tons per axle). Special attention was given to the development of the Béchar Jdid station, located in a new urban development zone. The tools used include AutoCAD, Covadis 17, Géo 5.0, Civil 3D, Google Earth, and MS Project.

ملخص:

يتناول هذا البحث دراسة أولية تفصيلية (APD) لمقطع من خط السكة الحديدية المنجمية المستقبلية الذي سيربط بين بشار وڤارا جبيلات، ويمتد بين النقطة الكيلومترية 19+675 الى39+800، ضمن ولاية بشار. يهدف هذا المشروع إلى تسهيل نقل خام الحديد المستخرج من منجم ڤارا جبيلات نحو موانئ الشمال الجزائري. وقد أُنجزت هذه الدراسة وفقًا لمعايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC) وتوصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية (SNTF)، مع مراعاة متطلبات الحمولة الثقيلة لكل محور (32.5 طن/محور). كما تم التركيز على تهيئة محطة "بشار جديد"، التي تقع ضمن منطقة حضرية جديدة قيد التطوير. وقد استُخدمت في هذه الدراسة عدة أدوات وبرمجيات تقنية، منها :

AutoCAD، Covadis 17، Géo 5.0، Civil 3D، Google Earth، MS Project

LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS :

Symbole	Désignation	Unité
Lmin	Longueur minimale des alignements et des pleines courbes	m
Rmin	Rayon minimum de l'alignement circulaire	m
dth	Dévers théorique	mm
dp	Dévers pratique	mm
Dmax	Dévers maximum	mm
E	Excès de dévers	mm
I	Insuffisance de dévers	mm
C	Coefficient de dévers	-
WP	Limite de plasticité	-
WL	Limite de liquidité	-
IP	Indice de plasticité	-
γh	Poids volumique humide	t/m³
γd	Poids volumique sec	t/m³
γ_opt	Poids volumique optimum	t/m³
Wn	Teneur en eau naturel	-
ω_opt	Teneur en eau optimum	-
ϕ	Angle de frottement	°
C	Cohésion du sol	Bars
tc	Temps de concentration	h
Pmax,j	Pluies maximales journalières	mm
i	L'intensité de pluie	mm/h
I	La pente moyenne	m/m
Cr	Coefficient de ruissellement	-
Qps	Débit à plein section	m³/s

Abréviation désignation :

SNTF : Société Nationale des Chemins de Fer.
UIC : Union Internationale des Chemins de fer.
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
RPOA : Règlement Parasismique Algérien des Ouvrages d'Art.
APD : Avant-Projet Détaillé.
FSR : Face supérieure de roulement.
ADV : Appareils de voie.
RN : Route nationale.
PST : Partie supérieure du terrassement.
GTR : Guide technique « Réalisation des remblais et desc ouches de forme ».
CBR : Essai de CBR.
BV : Bassin versant.
PK : Point Kilométrique.
GTR : Guide de Terrassement Routier.
ERTMS : Européen Railways Traffic Management System.
Vmar : Vitesse marchandise
Vps : Vtesse pleine section.
Vvoy : Vitesse voyageur

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT : 2

Résume : 5

Liste des symboles et abréviations : 6

Liste des tableaux 13

Liste des figures 15

I. INTRODUCTION GENERALE : 1

I. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIE : LES LIGNES FERROVIAIRES MINIÈRES DANS LE MONDE ET LEURS PARTICULARITÉS : 2

I.1 INTRODUCTION : 2

I.2 IMPORTANCE STRATEGIQUE DANS L'ECONOMIE MONDIALE : 3

I.3 OBJECTIF DE CETTE RECHERCHE : 3

I.4 PRINCIPALES LIGNES FERROVIAIRES MINIERES DANS LE MONDE 3

I.5 PARTICULARITES TECHNIQUES ET FONCTIONNELLES DES LIGNES FERROVIAIRES MINIERES DANS LE MONDE : 6

I.5.1 Conception et dimensionnement spécifiques 6

I.5.2 Infrastructures renforcées 6

I.6 CONCLUSION : 7

II. CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET : 4

II.1 INTRODUCTION : 4

II.2 LOCALISATION DE PROJET : 4

II.3 PRESENTATION DE ZONE D'ETUDE : 4

II.4 PRESENTATION DU TRONÇON ETUDIE : 5

II.5 OBJECTIF DE PROJET : 5

II.6 CARACTERISTIQUE DE PROJET : 6

II.7 CONCLUSION : **Erreur ! Signet non défini.**

III. CHAPITRE III : L'ARMEMENT DE LA VOIE 7

III.1 LE RAIL : 7

III.1.1 Rôles du Rail : 7

III.1.2 Types de rails : 7

III.2 LES TRAVERS : 8

III.2.1 Les types des Traverses : 9

III.3 SYSTEME DATTACHE : 11

III.3.1 Les types d'attaches : 11

III.3.2 Type d'attache utilisé dans le projet : 11
III.3.3 Rôle des attaches : 12
III.4 LES LONGS RAILS SOUDES (LRS) : 13
III.4.1 Introduction : 13
III.4.2 Définition : 13
III.4.3 Importance et avantages des LRS dans le transport ferroviaire : 13
III.4.4 Dilatation des LRS : 14
III.4.5 STABILITÉ TRANSVERSALE DES LRS : 15
III.4.6 Techniques de transport, de soudure et de fixation des rails : 15
III.4.7 Opération de la libération des LRS : 15
III.5 LA POSE DE VOIE : 16
III.5.1 Préparation de la plateforme de voie : 16
III.5.2 Distribution et pose des rails : 16
III.5.3 Préparation et pose des traverses : 17
III.5.4 Fixation et assemblage des rails : 18
III.5.5 Ballastage et nivellement : 19
III.5.6 Finitions et stabilisation : 19
III.5.7 Réception et contrôle des travaux : 20
III.6 CONCLUSION : 20
IV. CHAPITRE IV : LA GEOMETRIE DE LE VOIE 21
IV.1 INTRODUCTION : 21
IV.2 TRACE EN PLAN : 21
IV.2.1 Les éléments constitutifs d'un tracé en plan : 22
IV.2.2 Paramètres de conception de la voie: 23
IV.2.3 Application au projet : 27
IV.3 Les contraintes : 30
IV.3.1 Les contraintes des réseaux de services : 30
IV.3.2 Les Ouvrages d'art : 30
IV.4 PROFIL EN LONG : 32
IV.4.1 Introduction : 32
IV.4.2 Définition : 32
IV.4.3 Règles à respecter pour le profil en long : 32
IV.4.4 Elément géométrique de profil en long : 33
IV.4.5 Eléments de composition du profil en long : 33

IV.5 COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN : 35
IV.6 CONCLUSION : 36
V. ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE : 37
V.1 INTRODUCTION : 37
V.2 OBJECTIF : 37
V.3 ETUDE HYDROLOGIQUE : 37
V.3.1 Situation géographique de la zone : 38
V.3.1 Bassin hydrographie de la zone d'étude : 38
V.3.2 Caractéristique morphologique des bassins versants : 39
V.3.3 Caractéristique des bassins versants 39
V.3.4 Caractéristiques climatiques et pluviométriques : 42
V.3.5 le Temps de concentration « T_c » : 42
V.3.6 Calcul débit des bassins versant : 46
V.4 Calcule hydraulique : 49
V.4.1 Dimensionnement des ouvrages transversaux : 49
V.4.2 Ouvrages d'assainissement longitudinaux : 54
VI. ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE 59
VI.1 INTRODUCTION : 59
VI.2 ÉTUDE GÉOLOGIQUE : 59
VI.2.1 Aperçu géologique régional : 59
VI.2.2 Aperçu géologique local 60
VI.2.3 Cadre géologique: 60
VI.3 CONTRAINTES NATURELLES ET RISQUES ENVIRONNEMENTAUX : 62
VI.4 ÉTUDE GEOTECHNIQUE : 62
VI.4.1 Programme d'investigation géotechnique : 63
VI.4.2 Approche méthodologique d'investigation et de caractérisation géotechnique des sols : 63
VI.4.3 Essais in situ : 63
VI.4.4 Essai au Laboratoire : 66
VI.4.5 Synthèse des résultats de laboratoire 70
VI.4.6 Analyse chimique : 70
VI.4.7 Utilisation des matériaux pour le remblai : 71
VI.5 CONCLUSION : 73
VII. CHAPITRE VII: ASSISE FERROVIAIRE : 75

VII.1 INTRODUCTION : 75
VII.2 CARACTERISTIQUE ET ROLES DES DIVERSES COUCHES D'ASSISE : 75
VII.2.1 La couche de ballast : 75
VII.2.2 Pente de talus : 76
VII.2.3 Sous couche : 76
VII.2.4 La plateforme ferroviaire : 76
VII.3 LA COUCHE DE FORME : 77
VII.4 DIMENSIONNEMENT DES COUCHES D'ASSISE : 77
VII.4.1 L'épaisseur Plate-forme : 77
VII.4.2 L'épaisseur du ballast : 77
VII.4.3 L'épaisseur de sous couche : 78
VII.5 CONCLUSION : 78
VIII. CHAPITRE VIII: LES TERRASSEMENTS : 83
VIII.1 INTRODUCTION : 83
VIII.2 CALCUL DE LA STABILITE DE TALUS : 84
VIII.2.2 Calcule des cubatures : 89
IX. CONCEPTION ET AMENAGEMENT DE LA GARE : 91
IX.1 INTRODUCTION : 91
IX.2 TYPE DE GARE : 91
IX.3 ÉTUDE DU PLAN DE MASSE DE LA GARE : 91
IX.4 AMÉNAGEMENT DE LA GARE : 92
IX.4.1 Installation d'une gare voyageurs : 92
IX.4.2 Schéma de principe de la gare : 92
IX.4.3 Plan de voie de la gare : 92
IX.4.4 Entraxe entre les voies : 92
IX.4.5 Les appareils de voie : 92
IX.5 CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES GARES : 97
IX.5.1 Déclivité dans les gares : 97
IX.5.2 Quai : 97
IX.5.3 Passerelle supérieure : 98
IX.6 ASSAINISSEMENT DANS LES GARES : 98
IX.6.1 Assainissement transversale : 98
IX.6.2 Assainissement longitudinal : 98
X. SIGNALISATION FERROVIAIRE 103

X.1 INTRODUCTION : 103
X.2 LES PRINCIPAUX RISQUES FERROVIAIRES : 103
X.3 LES BUTS DES INSTALATIONS DE LA SIGNALISATION : 104
X.4 TYPES DE SIGNALISATION : 104
X.5 IMPLANTATION DES SIGNAUX EN ALGERIE : 105
X.6 SYSTEME DE SIGNALISATION FERROVIAIRE : 105
X.6.1 Les fonctions de signaux : 105
X.7 LES DIFFERENTS TYPES DE BLOCS : 106
X.8 SYSTEME DE CANTONNEMENT : 106
X.8.1 Définition : 106
X.8.2 Principes : 106
X.9 LE SYSTEME ERTMS 107
X.10 FONCTIONNEMENT DES NIVEAUX DU SYSTEME ERTMS 108
X.10.1 Les équipements ERTMS à bord des locomotives : 108
X.11 APPLICATION SUR NOTRE PROJET : 109
X.12 CONCLUSION : 109
XI. ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT : 111
XI.1 INTRODUCTION : 111
XI.2 OBJECTIF D'ETUDE : 111
XI.3 REFERENCES LEGALES ET REGLEMENTAIRE : 111
XI.4 ANALYSE DE L'ETAT INITIAL DE LA ZONE DU PROJET : 112
XI.4.1 Description du Site : 112
XI.4.2 Situation géographique et administrative de la wilaya de Béchar 112
XI.5 RESSOURCES BIOLOGIQUES ET HUMAINES DE LA ZONE D'ETUDE : 112
XI.5.1 L'environnement biologique : 112
XI.6 EVALUATION DES IMPACTS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT : 115
XI.6.1 Les impacts positifs : 115
XI.6.2 Les impacts négatifs : 115
XI.7 CONCLUSION : 116
XII. PLANIFICATION : 119
XII.1 INTRODUCTION : 119
XII.2 DEFINITION DE MS PROJECT : 119
XII.3 LES ETAPES DE LA PLANIFICATION DUN PROJET AVEC MS PROJECT : 119
XII.4 DIAGRAMME DE GANTT : 119

XII.5 APPLICATION SUR NOTRE PROJET : 119
XIII. Devis estimatif et quantitatif 121
XIV. CONCLUSION GENERAL : 126
BIBLIOGRAPHIE: 128
ANNEXES

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1: principales lignes ferroviaires minières dans le monde.....4
Tableau II-1 les caractéristiques de projet 6
Tableau IV-1 : Valeurs de longueur minimale de l'alignement (SNTF)......22
Tableau IV-2:Valeur limite de dévers.....23
Tableau IV-3:Valeurs limites de la variation du devers (SNTF)......25
Tableau IV-4:valeur limite de la variation du dévers.....25
Tableau IV-5 insuffisances de devers selon SNTF 26
Tableau IV-6:valeur limites de la variation de l'insuffisance de dévers 26
Tableau IV-7:valeurs limites de l'excès du devers selon SNTF 26
Tableau IV-8:récapitulatif de tous les paramètres géométriques de tracé de notre projet 30
Tableau IV-9:les lignes des réseaux de services 30
Tableau IV-10:les ouvrages d'art projetés sur notre tronçon 31
Tableau IV-11:limite déclivité maximal.....33
Tableau IV-12:limite de pente et rampe dans notre projet.....34
Tableau IV-13:Valeurs de la longueur minimale des éléments 34
Tableau IV-14:Les valeurs de rayon minimal selon SNTF 35
Tableau IV-15:Paramètres géométriques de profil en long(selon SNTF) 35
Tableau V-1: caractéristiques des bassins versants.....40
Tableau V-2:Les températures mensuelles de la période entre (1992– 2020) 42
Tableau V-3:Pluies journalières maximales fréquentielles.....42
Tableau V-4: Le Temps de concentration calculé en 2 méthodes.....44
Tableau V-5: Coeffecient C1 dépend de la pente du bassin versant 46
Tableau V-6: Coeffecient C2 dépend de de la nature du sol.....47
Tableau V-7: Coefficient de couverture végétale du bassin versant 47
Tableau V-8: Tableau des variables réduites de Gumbel 48
Tableau V-9: Valeur de KS selon SETRA.....49
Tableau V-10: Tableau des résultats des calculs hydraliques et des ouvrages de drainage transversal projetés.....53
Tableau V-11: Calcul des débits à évacuer dans le cas déblai 55
Tableau V-12: dimensionnement du fossé proposé.....56
Tableau VI-1:Programme d'investigation de notre zone d'étude 63

Tableau VI-2: résultats des puis de reconnaissance 64
Tableau VI-3: Résultats des sondages carottés sur la lithologie 65
Tableau VI-4: Essai SPT 66
Tableau VI-5:Résultats des essais de pénétration dynamique 66
Tableau VI-6: Classification GTR et UIC selon les essais au laboratoires 68
Tableau VI-7 : la classe d'agressivité selon la classification des environnements agressifs: 70
Tableau VI-8Matériaux de gites d'emprunts 72
Tableau VII-1: Exigences techniques du ballast pour l'axe haut (32,5 t) 75
Tableau VII-2: Classification de qualités des sols 77
Tableau VII-3: classification de la portance des plates-formes 77
Tableau VII-4: épaisseurs de couche d'assise de la plateforme 78
Tableau VIII-1: Caractéristiques des Couches Géologiques 85
Tableau VIII-2: les résultats de calcul de stabilité de déblai 87
Tableau VIII-3: Caractéristiques des Couches Géologiques 87
Tableau VIII-4: les résultats de calcul de stabilité de remblai 88
Tableau VIII-5: Récapitulatif des volumes des couches d'assise et couche de forme 89
Tableau VIII-6: Récapitulatif des volumes de terrassement 89
Tableau IX-1: les longueurs minimales de l'appareil de voie 94
Tableau IX-2:Longueurs des voies utiles de la gare 96
Tableau IX-3:Tableau récapitulatif sur les quais 97
Tableau XI-1:références légales et réglementaires 112
Tableau XI-2:Les impacts positifs directs et indirects du projet 115
Tableau XI-3:Identification des impacts négatifs du projet et les mesures 115

LISTE DES FIGURES

Figure I-1: Premiers systèmes ferroviaires dans les mines (wagonnets tirés par des chevaux)[11]....2

Figure I-2; Évolution projetée du marché mondial du transport ferroviaire de marchandises entre 2024 et 2033 [5]....3

Figure II-1: Lignes minière ouest source ANESRIF....4

Figure III-1 section du rail....7

Figure III-2: Rail Vignole UIC 60 E1....8

Figure III-3: Exemple de description du modèle....9

Figure III-4 : Traverses monobloc....9

Figure III-5: Traverses bi-bloc....10

Figure III-6 : Traverses en bois....10

Figure III-7: traverses métalliques....11

Figure III-8 Système d'attache ferroviaire Vossloh W30 HH....12

FigureIII-9Représentation graphique de LRS....13

Figure III-10:le comportement du rail....14

Figure III-11: Implantations topographiques de l'axe de voie....16

Figure III-12: La soudure électrique....17

Figure III-13: Pré-ballastage....17

Figure III-14:Pelle rail-route....18

Figure III-15: Montage des rails....18

Figure III-16:Fixation des rails....18

Figure III-17: Soudage aluminothermique....19

Figure III-18: le bourrage....20

Figure IV-1 : Les éléments de tracé en plan....22

Figure IV-2:schéma de dévers....23

Figure IV-3Eléments de profil en long....33

Figure IV-4:la valeur de déclivité en fonction de sa longueur....34

Figure V-1: La délimitation des bassins versants dans la carte....38

Figure V-2 : carte des sous bassins versant de Sahara algérien....39

Figure V-3: Schéma d'un dalot....51

Figure V-4 Fossé de forme trapézoïdale.....54

Figure V-5:notre fossé adoptés....57

Figure VI-1:Aperçu géologique régional.....59

Figure VI-2 : Tracé projeté Du Pk 0 au Pk 84 environ sur carte géologique d'Algérie 1/500 000.....60
Figure VI-3: carte hypsométrique de la région de Bechar (source : OpenstreetMap).....61
Figure VI-4:coupe géologique de la commune de Béchar.....61
Figure VI-5:carte de zonage sismique de l'Algérie.....62
Figure VI-6:puit de reconnaissance 9 au pk 24 +500.....64
Figure VII-1:Profil en travers de l'assise ferroviaire.....75
Figure VIII-1Les zones des déblais et des remblais.....84
Figure VIII-2:Distribution de la charge de train en fonction de la profondeur et du poids de train (Jain & Keshav, 1999)......85
Figure VIII-3:Vérification de la stabilité des déblais avec une pente de 3H/2V.....86
Figure VIII-4:les résultats de calcul de stabilité de déblai geo5.....86
Figure VIII-5:Vérification de la stabilité des déblais avec une pente de 1H/1V.....87
Figure VIII-6: Vérification de la stabilité des remblais avec une pente de 2H/1V.....88
Figure VIII-7:résultats de calcul de stabilité de remblai geo5.....88
Figure IX-1:Description géométrique de l'appareil de voix UIC60-500-1/12.....93
Figure IX-2: Description géométrique de l'appareil de voix UIC60-300-1/9.....93
Figure IX-3: La longueur du garage franc.....95
Figure IX-4: Figures représentatives d'un heurtoir.....95
Figure IX-5:Schéma illustrative de la longueur utile.....96
Figure IX-6: Passerelle supérieure.....98
Figure X-1: Le système de cantonnement.....107
Figure X-2:système ERTMS.....107
Figure X-3Interface homme Machine ERTMS.....108
Figure XI-1 Diversité de la faune saharienne.....113
Figure XI-2 : Diversité de la flore saharienne.....114
Figure XI-3:Le passage du projet par des terrains agricoles (google Earth).....116

INTRODUCTION GENERALE

I. INTRODUCTION GENERALE :

Le réseau ferroviaire Algérien constitue un levier fondamental pour le développement économique et l'aménagement du territoire. Son exploitation est gérée principalement par la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF), il s'étend sur plusieurs milliers de kilomètres et relie les grandes villes du pays, industriels et portuaires. Ces dernières années, une dynamique de modernisation et d'extension a été lancée, avec un accent particulier sur le développement des lignes à vocation voyageurs et marchandises.

Parmi les pouvoirs publics les plus stratégiques de ce réseau figurent les lignes ferroviaires dites minières, dédiées au transport de matériaux issus des activités extractives vers les zones industrielles, les unités de transformation ou les ports. La ligne Annaba – Ouenza transporte le minerai de fer vers le port d'Annaba, tandis que la ligne Tébessa – Djebel Onk – Skikda est dédiée au transport du phosphate vers Skikda. À l'ouest, la ligne Béchar – Kenadsa – Oran assure le transport du charbon extrait de Kenadsa. Ces projets ont créé des axes logistiques entre sites miniers et centres économiques. Dans cette dynamique de développement territorial et industriel, le projet de la ligne ferroviaire Gara Djebilet – Béchar s'impose comme une infrastructure stratégique de portée nationale. Il vise à relier le gisement de minerai de fer de Gara Djebilet, situé dans l'extrême sud-ouest algérien, à la ville de Béchar, en vue de son intégration au réseau ferroviaire national. Cette liaison permettra d'assurer le transport de grandes quantités de minerai vers les centres industriels et les infrastructures portuaires du nord, contribuant ainsi à la valorisation économique de la région et à l'ouverture d'une zone longtemps restée enclavée.

Le tracé de cette ligne traverse des zones sahariennes caractérisées par des paysages arides, des formations géologiques complexes, des oueds et des terrains instables. Ces contraintes imposent une approche d'ingénierie adaptée, tenant compte des réalités géotechniques locales. La réussite du projet dépend ainsi d'une étude rigoureuse du sol, d'une conception soignée des plateformes ferroviaires, des ouvrages de franchissement et du système d'assainissement.

L'objectif global est de garantir une infrastructure fiable, durable et parfaitement intégrée dans son environnement, permettant une exploitation optimale, sûre et économique de cette liaison ferroviaire stratégique. Le cadre de ce projet de fin d'études se limite au tronçon allant du PK 19+675 au PK 39+800, situé dans la wilaya de Béchar.

Ce travail est composé de 13 chapitres, couvrant l'ensemble des étapes d'un projet ferroviaire :

- Chapitre I : Recherche bibliographique.
- Chapitre II : Présentation du projet.
- Chapitre III : L'armement de la voie.
- Chapitre IV : La géométrie de la voie .
- Chapitre V : Étude hydraulique et hydrologique.
- Chapitre VI : Étude géologique et géotechnique .
- Chapitre VII : L'assise ferroviaire.
- Chapitre VIII : Terrassement .
- Chapitre IX : Conception de la gare de Béchar El Djedid.
- Chapitre X : la signalisation ferroviaire .
- Chapitre XI : Étude d'impact sur l'environnement .
- Chapitre XII : Planification .
- Chapitre XIII: Devis quantitatif et estimatif du projet.

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIE

I. CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIE - LES LIGNES FERROVIAIRES MINIÈRES DANS LE MONDE ET LEURS PARTICULARITÉS :

I.1 INTRODUCTION :



Figure I-1: Premiers systèmes ferroviaires dans les mines (wagonnets tirés par des chevaux)[11]

À travers l'histoire, le transport de minerais a toujours posé des défis logistiques majeurs. Dès le XVII^{e} siècle, alors que l'exploitation minière prenait de l'ampleur en Europe, il devenait évident que les moyens classiques routes de terre, charrettes ou barges étaient inadaptés aux volumes croissants à déplacer. L'instabilité des terrains, la lenteur des convois et l'irrégularité des flux freinaient l'expansion des sites extractifs . C'est dans ce contexte qu'apparaissent les premières voies ferrées en bois, utilisées notamment dans les mines britanniques de Broseley, où des wagonnets tirés par chevaux circulaient sur des *wagonways* (fig I.1) rudimentaires . Ce système simple mais ingénieux annonçait déjà les exigences fondamentales des futures lignes minières : fiabilité, stabilité et capacité.

L'évolution technique du rail fonte moulée, puis acier, locomotives à vapeur a permis de transformer ces installations en véritables corridors de transport lourd, optimisés pour la régularité et l'endurance [3]. Mais au-delà des matériaux, ce sont les contraintes propres au transport minier qui ont forgé une typologie ferroviaire à part entière. Contraintes de poids, de fréquence, d'environnement extrême (poussière, chaleur, vibration), mais aussi de rentabilité sur de longues distances sans arrêts intermédiaires, ont mené à des choix d'ingénierie très spécifiques.

Aujourd'hui encore, les lignes ferroviaires minières, présentes en Australie, au Brésil, au Canada, en Chine et dans plusieurs autres pays à travers le monde, sont conçues comme des structures résistantes et spécialisées. Elles se distinguent par leurs rails surdimensionnés, leurs plateformes renforcées, leurs systèmes de fixation adaptés aux efforts dynamiques, et leur logistique centrée sur le flux continu de matières premières. Leur performance conditionne directement la compétitivité de toute une filière industrielle

I.2 IMPORTANCE STRATEGIQUE DANS L'ECONOMIE MONDIALE :

Le transport ferroviaire minier est un pilier fondamental de l'économie mondiale, assurant l'acheminement efficace de matières premières essentielles telles que le fer, la bauxite, le cuivre et le charbon. Ces ressources sont indispensables à des secteurs clés comme la construction, l'énergie et les technologies de pointe.

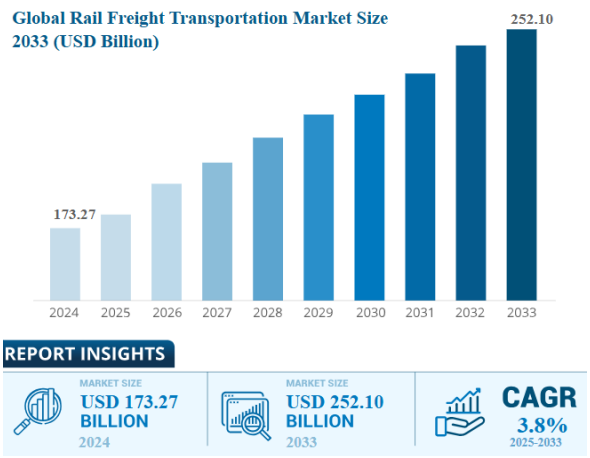


Figure I-2; Évolution projetée du marché mondial du transport ferroviaire de marchandises entre 2024 et 2033 [5]

Selon les données de l'Union internationale des chemins de fer (UIC), le transport de marchandises par rail a atteint des milliards de tonnes-kilomètres à l'échelle mondiale, témoignant de l'ampleur de ce mode de transport dans le commerce international. Par exemple, en 2023, l'Allemagne a enregistré une performance de 125 milliards de tonnes-kilomètres, représentant environ un tiers du total de l'Union européenne.

Le marché mondial du transport ferroviaire de marchandises, incluant le secteur minier, est en pleine expansion. En 2024, il était estimé à 173,27 milliards de dollars et devrait atteindre 252,1 milliards de dollars d'ici 2033(Fig I.2), avec un taux de croissance annuel moyen de 3,8 % Cette croissance reflète l'augmentation continue de la demande en matières premières, notamment dans les économies émergentes et dans le cadre de la transition vers une économie à faible émission de carbone.

Pour les pays producteurs, les infrastructures ferroviaires minières ne sont pas seulement des moyens logistiques ; elles sont des vecteurs de développement économique, facilitant les exportations, attirant les investissements et stimulant la croissance régionale.

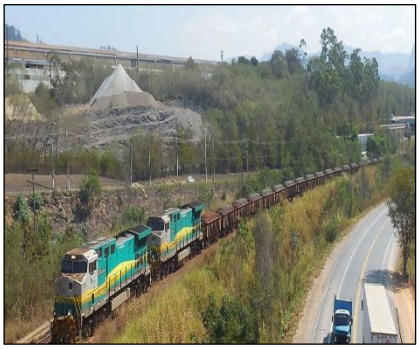
I.3 OBJECTIF DE CETTE RECHERCHE :

Cette recherche vise à illustrer le rôle stratégique des lignes ferroviaires minières dans le paysage industriel mondial, en présentant quelques-unes des infrastructures les plus emblématiques dédiées à ce type de transport. À travers ces exemples internationaux, il s'agit de mettre en évidence ce qui distingue ces lignes des réseaux ferroviaires classiques, notamment en termes de conception, de contraintes structurelles et d'exigences d'exploitation.

I.4 PRINCIPALES LIGNES FERROVIAIRES MINIERES DANS LE MONDE

Pour mieux comprendre les spécificités des lignes ferroviaires minières, il est essentiel d'examiner les exemples les plus emblématiques à l'échelle mondiale. Ces lignes, conçues pour relever des défis techniques, logistiques et environnementaux très variés, offrent une richesse d'enseignements en matière de conception, d'exploitation et de résilience. Le tableau ci-dessous présente quelques-unes des principales lignes ferroviaires minières dans le monde (tab.I.1)

Tableau I-1: principales lignes ferroviaires minières dans le monde

Pays	Nom de la ligne	Longueur (km)	Caractéristiques principales	Illustration représentative
Brésil	Carajás (EFC/EF-315)	892	Transport de >120 Mt/an de minerai de fer ; dessert aussi 350 000 passagers/an.	
Brésil	Vitória–Minas (EFVM)	664	Transport de minerai de fer ; service passager quotidien longue distance.	
Guinée	Simandou (en projet)	670	Transport de minerai de fer ; mise en service prévue en 2025 ; défis sécuritaires et techniques.	
Canada	QNS&L (Québec North Shore & Labrador)	414	Transport de minerai de fer dans conditions extrêmes ; ancienne desserte passagers.	

Russie	Transsibérien	9 289	Transport de ressources variées vers l'Asie ; ligne intercontinentale stratégique.	
Russie	BAM (Baïkal-Amour Magistral)	4 300	Transport de charbon, minerais, bois ; relie la Sibérie à l'Extrême-Orient russe.	
Mauritanie	Zouérate–Nouadhibou	704	Trains de 2,5 km ; 17 000 t de minerai de fer ; transport rudimentaire de passagers.	
Algérie	Annaba–Djebel el-Onk	422	Ligne modernisée ; relie les mines de l'est au port d'Annaba.	
Algérie	Béchar–Tindouf–Gara Djebilet (en projet)	>950	Transport de minerai de fer vers le nord ; ligne stratégique pour le sud algérien.	

I.5 PARTICULARITES TECHNIQUES ET FONCTIONNELLES DES LIGNES FERROVIAIRES MINIERES DANS LE MONDE :

I.5.1 Conception et dimensionnement spécifiques

Conçues pour le transport intensif de minerais sur de longues distances, les lignes ferroviaires minières doivent répondre à des exigences techniques élevées. Elles se caractérisent par des infrastructures renforcées rails à haute résistance, traverses robustes et systèmes de fixation spécifiques capables de supporter des charges massives dans des environnements souvent difficiles. À titre d'exemple, la ligne Béchar Gara Djebilet en Algérie, dédiée exclusivement au fret minier, prévoit l'exploitation de trains pouvant transporter jusqu'à 22 100 tonnes chacun, illustrant la nécessité d'une conception adaptée à des contraintes hors norme tant sur le plan structurel qu'opérationnel.

I.5.2 Infrastructures renforcées

I.5.2.1 Rails et traverses :

Les lignes minières utilisent des rails lourds (UIC 60 à 68) pour supporter des charges importantes par essieu généralement entre 30 et 40 tonnes, contre 17 à 22 tonnes sur les lignes classiques. Les traverses sont en béton précontraint haute densité, souvent monoblocs de grande longueur (jusqu'à 2,6 m), capables de supporter des charges jusqu'à 32,5 tonnes par essieu, assurant ainsi la robustesse nécessaire pour le passage de convois très lourds.

I.5.2.2 Ballast :

Le ballast utilisé sur les lignes minières doit répondre à des spécifications très strictes par rapport aux lignes classiques, en raison des charges très lourdes et du trafic intensif. Il est principalement constitué de roches dures comme le granit ou le basalte, concassées mécaniquement pour obtenir des granulats propres, anguleux, denses et cubiques, sans impuretés ni particules floconneuses. La granulométrie est soigneusement contrôlée, avec des pourcentages précis retenus sur des tamis de 20, 40 et 65 mm, assurant un bon imbriquement et une stabilité optimale. Enfin, la largeur de l'accotement est définie entre 500 mm en alignement et 700 mm en dévers, contribuant à la stabilité latérale de la voie. Ces exigences garantissent la durabilité, la stabilité mécanique et le drainage efficace indispensables aux infrastructures minières.

I.5.2.3 Longueur et puissance des trains :

Les trains miniers sont exceptionnellement longs, souvent entre 2 et 4 km, composés de plus de 150 wagons chargés de minerais lourds À titre d'exemple, en Algérie, la SNTF prévoit de déployer un train minier de 2,2 km de long, composé de 177 wagons, pour assurer le transport du minerai de fer depuis le gisement de Gara Djebilet jusqu'à Béchar.

À l'échelle internationale, l'Australie détient le record avec un train de minerai de fer de 7,3 km opéré par BHP, pesant près de 100 000 tonnes et tracté par huit locomotives. Ce type de configuration maximise la capacité de transport, réduit les coûts unitaires et permet une exploitation efficace, même sur des terrains difficiles. Cette configuration maximise la capacité de transport tout en réduisant les coûts unitaires. En comparaison, les trains classiques sont généralement plus courts et moins lourds,

adaptés à un trafic mixte voyageurs-marchandises. Les trains miniers représentent ainsi une solution efficace pour le transport massif sur de longues distances.

I.5.2.4 Gestion du trafic et exploitation intensive :

La gestion du trafic ferroviaire sur les lignes minières est conçue pour assurer un flux continu et soutenu, en adéquation avec les rythmes d'extraction et d'exportation des minerais. Le plan d'exploitation prévoit une forte densité de trains, principalement affectés au fret minier, complétés ponctuellement par des convois voyageurs selon les besoins logistiques. Des gares spécialisées pour le chargement et le déchargement, des ateliers lourds pour la maintenance des trains, ainsi que des voies de garage longues sont aménagés pour fluidifier la circulation et garantir la régularité du service. Des installations de jonction et de bifurcation permettent d'éviter toute interruption. Par exemple, pour la ligne Béchar–Gara Djebilet, l'exploitation prévoit jusqu'à huit trains miniers par jour et un train voyageur. Cette organisation vise à maximiser la capacité de transport, réduire les temps d'attente et garantir la fiabilité du service dans un contexte industriel.

I.6 CONCLUSION :

Les lignes ferroviaires minières se distinguent des réseaux classiques par leur conception hautement spécialisée, adaptée au transport de charges exceptionnellement lourdes dans des conditions souvent extrêmes. Chaque composant des rails à forte section aux traverses renforcées, en passant par un ballast calibré est sélectionné selon des critères rigoureux de résistance, de stabilité et de durabilité. Ces choix techniques garantissent non seulement la sécurité et la fiabilité de l'exploitation, mais permettent aussi d'optimiser les performances logistiques dans le secteur minier.

PRESENTATION DE PROJET

II. CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET .

II.1 INTRODUCTION :

En 2023, l'Algérie a lancé la construction d'une ligne ferroviaire reliant Béchar à Tindouf, visant à transporter le minerai de fer du gisement géant de Gara Djebilet vers les centres industriels et portuaires du nord du pays. Ce projet stratégique, divisé en plusieurs tronçons, est réalisé par des entreprises publiques en partenariat avec des sociétés chinoises. Avec une capacité de transport estimée à 50 millions de tonnes de minerai de fer par an, ce développement vise à renforcer l'industrie sidérurgique nationale et à stimuler le développement économique des régions du sud-ouest algérien.

II.2 LOCALISATION DE PROJET :

Le projet est situé à l'ouest de l'Algérie et s'étend sur environ 950 km, reliant Béchar, Tindouf et le gisement de fer de Gara Djebilet. Il traverse plusieurs wilayas, notamment Béchar, Beni Abbès et Tindouf (FigII-1). Le tracé comprend plusieurs tronçons, reliant des zones stratégiques comme Hammaguir et Oum Laassel. Six gares sont prévues le long du parcours, ainsi que deux gares de chargement et de déchargement situées à Gara Djebilet et dans la zone industrielle de Toumiat, près de Béchar.

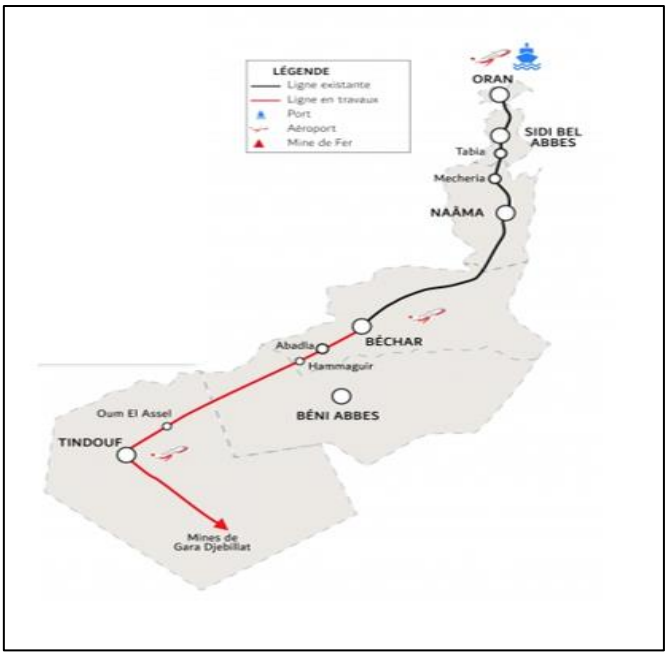


Figure II-1: Lignes minière ouest source ANESRIF

II.3 PRESENTATION DE ZONE D'ETUDE :

La wilaya de Béchar, située dans l'ouest du Sahara algérien, est une région vaste et peu peuplée, connue pour son climat aride et son patrimoine saharien. Elle occupe une position stratégique, notamment en raison de sa frontière avec le Maroc.

- Nombre de communes : 21
- Nombre de daïras : 12
- Superficie : 168 711 km²
- Population (2024) : 353591 habitants

- Densité : 2.19 habitant/km

- Le climat de Béchar est subtropical, désertique et continental). Les hivers sont froids, avec des températures pouvant descendre sous 0 °C et des records atteignant -5 °C. Les étés sont très chauds, avec des températures dépassant souvent 40 °C et pouvant atteindre 45 °C. Comme dans tout le Sahara, les précipitations sont extrêmement faibles, ne dépassant pas 80 mm par an.
- La région de Béchar, située aux portes du Sahara, présente un contexte géographique et naturel particulier, influençant directement la planification et la réalisation des infrastructures. Sur le plan sismique, elle est classée en zone de faible, ce qui implique un risque limité mais un respect obligatoire des normes en vigueur.
- Le relief, quant à lui, est marqué par une diversité de formes, allant de zones montagneuses à des plateaux arides et des dépressions, ce qui constitue un défi pour le tracé et l'implantation des ouvrages ferroviaires.

II.4 PRESENTATION DU TRONÇON ETUDIE :

Nous allons présenter dans ce travail notre thème de projet de fin d'études, une étude en Avant-Projet Détaillé (APD) portant sur une ligne ferroviaire minière reliant Béchar à Gara Djebilet. Ce projet s'inscrit dans le cadre du développement des infrastructures stratégiques en Algérie, avec pour objectif principal le transport du minerai de fer extrait de la mine de Gara Djebilet vers les zones industrielles et les ports d'exportation comme celui d'Arzew.

Le cadre de ce projet de fin d'études se limite au tronçon allant **du PK 19+675 au PK 39+800**, situé dans la wilaya de Béchar. Ce tronçon fait partie d'une ligne de 950 km conçue pour supporter une charge par essieu de 32,5 tonnes, répondant ainsi aux exigences du transport de marchandises lourdes. L'étude est réalisée selon les normes de l'Union Internationale des Chemins de Fer (UIC) et les recommandations de la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF).

II.5 OBJECTIF DE PROJET :

Le projet ferroviaire reliant Gara Djebilet à Tindouf a pour principal objectif d'optimiser le transport du minerai de fer extrait de la mine de Gara Djebilet vers les zones industrielles et portuaires, en particulier le port d'Oran. Cette infrastructure stratégique vise à :

- Renforcer l'exploitation et l'exportation du fer, contribuant ainsi à la croissance du secteur minier en Algérie.
- Améliorer la logistique et la compétitivité des industries minières grâce à un transport plus efficace et moins coûteux.
- Développer les régions traversées en stimulant les échanges économiques et en créant de nouvelles opportunités.
- Moderniser le réseau ferroviaire national en intégrant une ligne mixte permettant également le transport de voyageur.

II.6 CARACTERISTIQUE DE PROJET :

Tableau II-1 les caractéristiques de projet

Paramètres	Caractéristiques
Écartement des voies	1 435 mm
Entre axes	4,20 m (Gares, PCG et OA)
Longueur utile de la gare	2 400 m
Profil en long de la voie (Rampes et pentes) Maximales	8 ‰ au sens chargé 10 ‰ au sens vide 0 ‰ au niveau des gares et PCG
Ouvrages d'art et Tunnel	Conçus pour une double voie
Traverses	Monobloc en béton précontraint
Trafic	Mixte à prédominance minière
Signalisation	ERTMS
Électrification	25 kV
Télécommunication	GSM-R
Charge à l'essieu	32.5 tonnes (charge importante exceptionnelle)
Gabarit d'obstacle	UIC incluant la caténaire en 25 kV
Voies armées	Rails 60-E1 fixés sur des traverses Monobloc (béton armé précontraint)
Vitesse d'exploitation	160 km/h pour le transport passager 70 km/h pour le transport de marchandises (selon le rapport de transport)
Sous-couche	Sous-ballast, couche de fondation, géotextile si nécessaire

II.7 DONNEES PRELIMINAIRES SUR LE TRANSPORT :

L'étude de transport a permis d'analyser les besoins en déplacement entre Béchar et Tindouf, en mettant l'accent sur le transport du minerai de fer depuis la mine de Gara Djebilet. Cette étude montre l'importance de la ligne ferroviaire pour le développement économique de la région et l'amélioration des échanges logistiques

II-2Données d'entrée de l'étude de transport

Données d'entrée de l'étude de transport	
Minerai transporté	le Fer
Tonnage annuel à transporter	**50 000 000** tonnes
Sens des trains chargés	Gara Djebilet vers Bechar
Sens des trains vides	Bechar vers Gara Djebilet
Nombre de jours des transports	350 jours/ 365 jours
Tonnage journalier à transporter	**142850** tonnes
Charge utile d'un Wagon	105 tonnes
Tare d'un Wagon	25 tonnes
Poids total d'un Wagon chargé	130 tonnes
Vitesse de circulation des trains chargés	70 /h
Charge à l'essieu pour les voies	32.5 tonnes

II.8 CONCLUSION :

Le projet de la ligne ferroviaire Béchar-Gara Djebilet constitue un levier majeur pour le développement et l'exploitation des ressources minières de la région. En facilitant le transport du minerai de fer vers les installations industrielles, cette infrastructure contribuera à la dynamisation économique locale et nationale, tout en favorisant l'essor du secteur minier et des échanges commerciaux.

ARMEMENT DE LA VOIE

III. CHAPITRE III : L'ARMEMENT DE LA VOIE

III.1 LE RAIL :

Le rail est un élément fondamental de la voie ferrée, conçu pour assurer à la fois le roulement, le guidage et la stabilité des essieux. Fabriqué en acier, il est posé sur des traverses avec un écartement standard de 1 435 mm (Fig III-1). Sa longueur varie de 18 m à 36 m, avec des barres continues pouvant atteindre 288 m ou plus.

- Les rails se caractérisent par :
- Leur profil
- La nuance d'acier



Figure III-1 **section du rail**

III.1.1 Rôles du Rail :

Le rail joue un rôle essentiel dans le fonctionnement des voies ferrées en assurant plusieurs fonctions clés, notamment :

- Le support des charges : Il absorbe les efforts verticaux et horizontaux provenant du poids du train.
- Le guidage : Il dirige les roues et assure leur déplacement précis sur la voie.
- La transmission électrique : Il permet le retour du courant de traction et sert de support au courant de signalisation pour le contrôle des trains.

III.1.2 Types de rails :

On distingue plusieurs types de rails utilisés dans les voies ferrées, parmi lesquels :

- Rail Vignole : Le plus couramment utilisé pour les voies principales et les lignes à grande vitesse.
- Rail double champignon : Ancien modèle aujourd'hui peu utilisé.
- Rail à patin large : Conçu pour offrir une meilleure stabilité sur les traverses.

✓ **Type de rail utilisé dans notre projet :**

Dans notre projet, le rail choisi est du type **Vignole UIC 60 E1**(Fig III-2), caractérisé par :

- Masse : 60.21 kg/ml
- Surface de la section : 76.7 cm²
- Hauteur du rail : 172 mm
- Largeur du champignon : 72 mm

- Largeur du patin : 150 mm
- Épaisseur de l'âme : 16.5 mm
- Dureté de la table de roulement : 260-300 HBW
- Résistance à la traction : ≥ 880 N/mm²
- Allongement : ≥ 10%

✓ **Le rail Vignole UIC 60 E1 est composé de :**

- Le patin : Repose sur les traverses.
- L'âme : Partie verticale reliant le champignon au patin.
- Le champignon : Constitue la table de roulement.
- La table de roulement : Surface supérieure du champignon assurant le contact avec les roues.

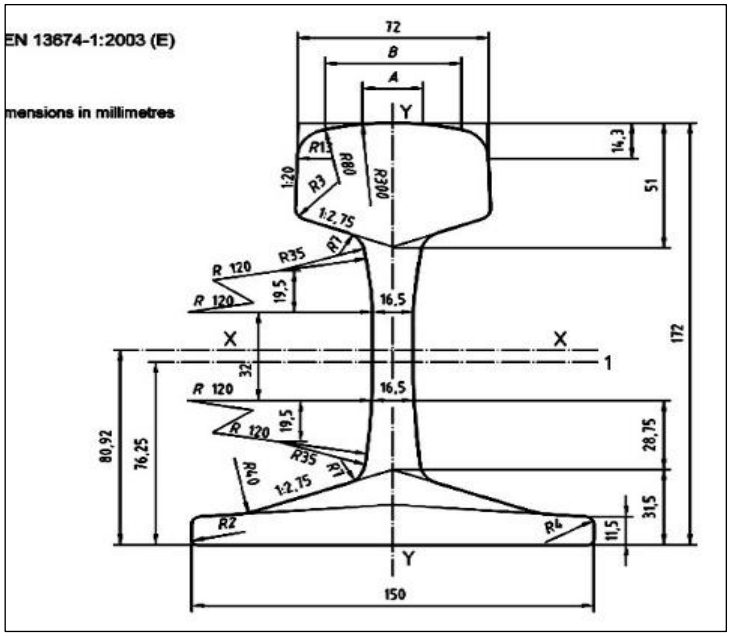


Figure III-2: Rail Vignole UIC 60 E1

III.2 LES TRAVERS :

Les traverses constituent un élément fondamental de la superstructure ferroviaire, assurant à la fois le support des deux files de rails et la transmission des efforts vers le ballast. Leur rôle est essentiel pour garantir la stabilité, le maintien de l'écartement constant entre les rails et l'inclinaison conforme au type Vignole (1/20). Conformément aux normes de la SNTF, le travelage moyen est estimé entre 1666 et 1667 traverses par kilomètre. Dans le cadre de notre projet, l'espacement entre les traverses est de 0,60 mètre, et le modèle utilisé est la traverse **monobloc M450** en béton armé précontraint, sélectionnée pour sa robustesse et sa performance structurelle.

- **Description du modèle M450 :**
  Le modèle M450 est défini comme suit (Fig III-3):
  - M : Traverse monobloc
  - 4 : Épaisseur de la traverse égale à 220 mm
  - 5 : Longueur de la traverse égale à 2415 mm

- 0 : Modèle de base compatible avec les rails U50 et UIC60

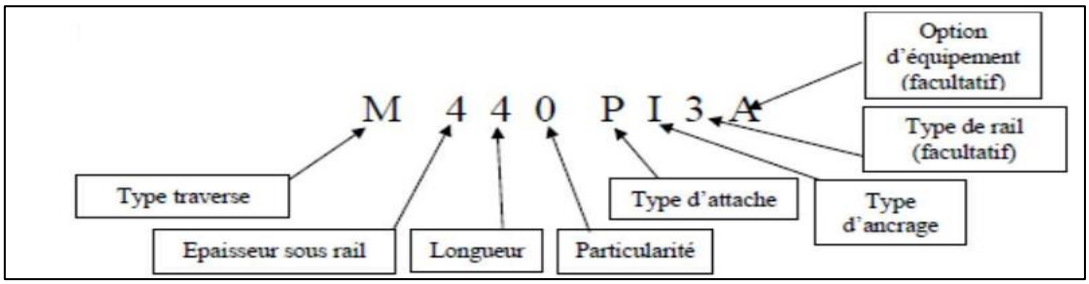


Figure III-3: Exemple de description du modèle

III.2.1 Les types des Traverses :

Il existe deux types de traverses utilisé en Algérie :

III.2.1.1 Traverses en béton :

Depuis les années 1970, la France utilise largement les traverses en béton pour leur coût réduit et leur meilleure maîtrise technologique, selon la norme EN 13230.

Les traverses en béton, de plus en plus utilisées en raison de leur qualité et du coût élevé du bois, assurent un bon ancrage de la voie et offrent une durée de vie plus longue ($\pm$50 ans)

Elles équipent notamment les lignes à grande vitesse avec des attaches élastiques et isolants en caoutchouc. Il en existe de deux types, la traverse bibloc (FigIII-5) et la traverse monobloc (FigIII-4) :

- **Traverses monobloc :**

En béton précontraint, amincies dans leur partie centrale, armées de fils à haute résistance.



Figure III-4 : Traverses monobloc

- **Traverses bi-bloc :**

Formées de deux blocs de béton, les blochets, reliés par une entretoise métallique, qui absorbe les efforts en milieu de traverse.



Figure III-5: Traverses bi-bloc

III.2.1.2 Traverses en bois :

Les traverses en bois (Fig III-6) constituent encore la très grande majorité des traverses utilisées dans le monde. Traditionnellement elles sont en bois dur (chêne ou plus rarement en hêtre ou en azobé). Le bois est apprécié pour sa résistance et sa flexibilité, pour sa facilité de mise en œuvre. Mais de durée de vie réduite (20 à 30 ans) car putrescible,

Pour éviter l'apparition de fentes, liées aux successions de périodes humides et sèches, on peut cercler les têtes de traverses à l'aide de feuillards métallique



Figure III-6 : Traverses en bois

III.2.1.3 Les traverses métalliques :

Les traverses métalliques (Fig III-7), en forme de U renversé, étaient utilisées pour stabiliser la voie. Imputrescibles et peu exigeantes en entretien, elles ont été abandonnées en France depuis plus de trente ans en raison de leur légèreté, de leur faible résistance latérale, de leur sensibilité à la corrosion et des problèmes d'isolation électrique qu'elles posent



Figure III-7: traverses métalliques

III.3 SYSTEME DATTACHE :

Le système d'attache constitue un composant essentiel de la superstructure ferroviaire, assurant la fixation des rails aux traverses tout en garantissant la stabilité et la durabilité de la voie. Il permet également de transmettre les efforts et d'absorber les sollicitations dynamiques générées par le passage des trains.

III.3.1 Les types d'attaches :

On distingue trois grandes familles d'attaches selon leur comportement mécanique :

- **Fixation rigide :**
  - Crampons (utilisés principalement aux États-Unis)
  - Tirefonds (utilisés avec des traverses en bois)
  - Crapauds (utilisés avec des traverses métalliques)
- **Fixation élastique directe :**
  - Semelle en caoutchouc
  - Lame ressort de type :
    - Griffon
    - Nabla
    - Fastclip
    - Vossloh
- **Fixation élastique indirecte :**
  - Semelle en caoutchouc
  - Selle
  - Lame ressort (comme pour les attaches Nabla, Fastclip, Vossloh)

III.3.2 Type d'attache utilisé dans le projet :

Dans le cadre de notre projet, nous avons opté pour le système d'attache Vossloh W30 HH (Fig III-8), une solution élastique de fixation moderne, spécifiquement conçue pour les lignes à fort trafic et les conditions climatiques extrêmes, telles que celles rencontrées dans la région Béchar Tindouf.

Ce système comprend plusieurs composants : un ressort de serrage en acier (clip), des semelles élastomères, des vis de fixation, des chevilles d'ancrage (dowels) et des éléments isolants. Ensemble, ils assurent une fixation fiable du rail sur la traverse, tout en permettant une certaine élasticité nécessaire à l'absorption des chocs et des vibrations causés par le trafic ferroviaire.

Afin d'améliorer le confort de roulement et de prolonger la durée de vie de la voie, une semelle en élastomère est placée entre le rail et la traverse. Elle permet de répartir les charges, d'atténuer les vibrations, et de réduire l'usure prématurée des composants.



Figure III-8 Système d'attache ferroviaire Vossloh W30 HH

Le choix de ce système s'explique par plusieurs facteurs:

- Le système Vossloh est adapté au trafic lourd, car il supporte les charges élevées des trains miniers avec une excellente stabilité.
- Le système Vossloh est compatible avec les traverses monoblocs en béton, ce qui assure une fixation solide et durable.
- Le système Vossloh présente une excellente résistance aux conditions extrêmes, notamment aux fortes chaleurs, aux variations thermiques et à l'envahissement sableux du désert.
- Ce système nécessite peu d'entretien, ce qui le rend particulièrement adapté aux régions isolées.
- Grâce à sa conception importante , le système Vossloh offre une longue durée de vie tout en nécessitant peu de maintenance, ce qui le rend idéal pour les lignes isolées et à fort trafic comme celle de Béchar–Tindouf.
- Il est couramment utilisé dans les lignes minières mondiales, ce qui en fait un standard international reconnu pour sa fiabilité et son retour d'expérience.

III.3.3 Rôle des attaches :

Les attaches jouent un rôle fondamental dans la stabilité et la sécurité de la voie ferrée. Le système Vossloh W30 HH assure plusieurs fonctions essentielles :

- Fixation sécurisée du rail sur la traverse, garantissant un maintien constant même sous des charges lourdes.
- Absorption des vibrations grâce à la semelle élastomère, réduisant les nuisances sonores et les contraintes mécaniques sur les composants.

- Compensation des relâchements : le ressort conserve un bon serrage même en cas de desserrage progressif dû à l'effet des charges dynamiques.
- Maintien de l'élasticité : les composants du système conservent leur performance après de nombreux cycles de montage et démontage.
- Résistance aux efforts dynamiques et longitudinaux, empêchant tout déplacement du rail et assurant une exploitation ferroviaire en toute sécurité.

III.4 LES LONGS RAILS SOUDES (LRS) :

III.4.1 Introduction :

Les longs rails soudés (LRS), également appelés barres longues, représentent une technique moderne de pose des voies ferrées. Cette méthode permet de supprimer la majorité des joints entre rails sur de longues distances, parfois sur plusieurs kilomètres. Elle est aujourd'hui utilisée pour toutes les lignes à fort trafic, notamment les lignes à grande vitesse.

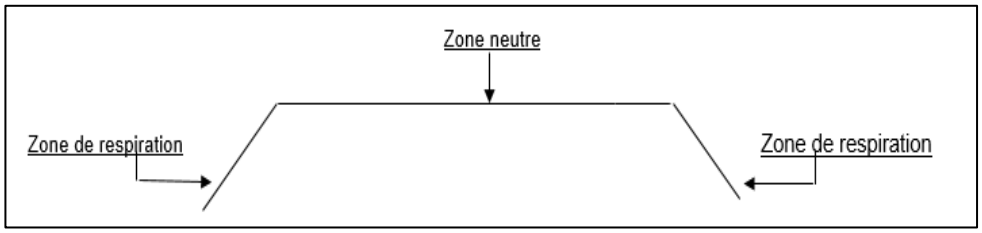
III.4.2 Définition :

Le long rail soudé (LRS) est une barre de grande longueur (Fig III-9), conçue de manière à présenter une zone centrale dite "zone neutre", d'une longueur minimale de 300 mètres, dans laquelle aucun mouvement de dilatation du rail ne se produit, quelles que soient les variations de température.

De part et d'autre de cette zone neutre, le rail subit des mouvements de dilatation, dont l'amplitude augmente progressivement jusqu'à atteindre un maximum aux extrémités des barres.

Ces parties mobiles sont appelées zones de respiration

Les LRS peuvent être terminés soit par des appareils de dilatations, soit par des dispositifs à joints multiples.



FigureIII-9Représentation graphique de LRS

III.4.3 Importance et avantages des LRS dans le transport ferroviaire :

- Suppression des Joints : Les LRS permettent de réaliser des rails continus, éliminant ainsi les joints fréquents des voies classiques. Cela assure une surface de roulement plus régulière et plus confortable.
- Amélioration du Confort : L'absence de joints réduit considérablement les chocs et vibrations, offrant ainsi un meilleur confort pour les passagers.
- Durabilité Accrue : Moins exposés à l'usure et aux chocs répétés, les LRS ont une durée de vie prolongée, ce qui diminue la fréquence de remplacement des rails.
- Renforcement de la Sécurité : La continuité de la voie favorise une meilleure stabilité, réduisant significativement les risques de déraillement.

- Réduction des Coûts d'Entretien : Moins de joints signifie moins de points de faiblesse, donc moins d'inspections et de réparations, ce qui réduit les dépenses de maintenance.

III.4.4 Dilatation des LRS :

III.4.4.1 Définition :

La dilatation thermique est le changement de longueur des rails dû aux variations de température.

Lorsqu'une barre de rail de longueur L et de section S est posée sans contrainte (libre de toute attache), elle peut se dilater ou se contracter librement proportionnellement à la variation de température qu'elle subit (Fig III-10).

Si t_o est la température de pose de la barre, sa variation de longueur ΔL à la température t sera suivant la formule ci-après :

$$\Delta L = \alpha \times L \times \Delta t$$

α : est le coefficient de dilatation linéaire de l'acier à rail ($\alpha = 11.10^{-6}$).

Δt: Est la variation de température, avec $\Delta t = (t - t_o)$.

En considérant les attaches bien serrées, la partie centrale d'une barre longue ne bouge pas quelles que soient les variations de températures du fait de l'équilibre qui s'établit entre les efforts longitudinaux dus à la température et les forces de frottements ballast traverses.

Seuls les 150 derniers mètres (où cet équilibre n'existe plus) se déplacent, entrainant un mouvement de l'extrémité.

D'où l'effort thermique F au niveau de la partie centrale du LRS :

$$F = E \times \alpha \times S \times \Delta t$$

- E est le module d'élasticité de l'acier à rail, $E = 2{,}1.10^6$ kg/cm^2
- S est la section du rail en cm^2

Ce qui résulte de l'effort thermique F, une contrainte thermique dans le rail suivant la formule:

$$\delta = E \times \alpha \times \Delta t$$:

si $\Delta t > 0$ = compression (dilatation) ; si $\Delta t < 0$ = traction (contraction)

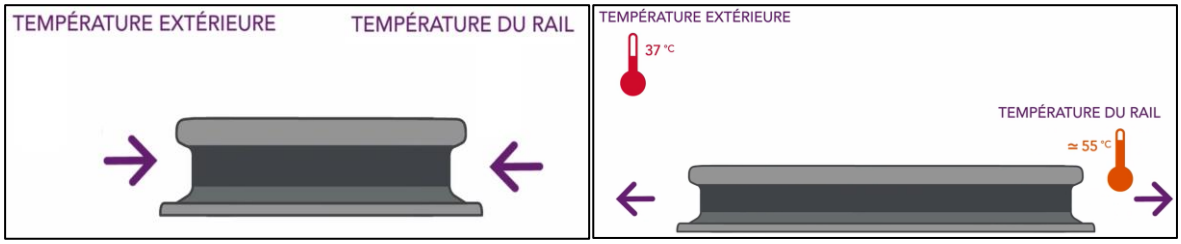


Figure III-10:le comportement du rail

III.4.4.2 Illustration du comportement d'un LRS soumis à la température :

Un LRS ballasté et fixé sans contrainte à la température t_0, Une barre à l'état neutre, subissant une montée uniforme de température de t_0 à t.

L'effort dû à la dilatation sera entièrement transmis au ballast, via les traverses, elles-mêmes solidaires du rail grâce à des attaches bien serrées. La dilatation s'effectue uniquement dans les zones de respiration, selon l'évolution de la température :

Si la température passe de t_0 (température de pose) à t_{max} (température maximale), le déplacement se fait du milieu vers les extrémités de la barre.

Si la température baisse de t_0 à t_{min} (température minimale), le déplacement se fait des extrémités vers le milieu de la barre.

III.4.5 STABILITÉ TRANSVERSALE DES LRS :

III.4.5.1 Ballast et compactage :

Un bon compactage du ballast permet de mieux répartir les charges et de limiter les mouvements latéraux des traverses et des rails.

III.4.5.2 Type et fixation des traverses :

Les traverses doivent être solidement ancrées au ballast et leur espacement soit conforme aux normes de conception. Leurs fixations élastiques utilisées doivent permettre une flexibilité en maintenant une forte résistance latérale.

III.4.5.3 Ecartement des rails :

L'écartement des rails doit être constant et reste conforme.

III.4.6 Techniques de transport, de soudure et de fixation des rails :

Grâce à la flexibilité de ces barres, elles peuvent être transportées sur des rames de wagons plats spécialement équipés avec des supports appelés agrès ainsi que des goulottes facilitant le déchargement. Une fois sur le chantier, les rails sont assemblés par soudure selon deux méthodes principales :

- **Soudure électrique** : un cordon de soudure est appliqué en continu pour combler l'espace entre les extrémités des rails, assurant une jonction solide.
- **Soudure aluminothermique** : cette technique repose sur la coulée d'acier en fusion obtenu par la réduction d'oxyde de fer à l'aide d'aluminium, dans un moule réfractaire adapté à la forme du rail. La réaction exothermique génère des températures supérieures à 2000°C, garantissant une liaison durable.

Après soudure, les rails sont solidement fixés aux traverses au moyen d'attaches élastiques, permettant de maintenir la stabilité de la voie.

III.4.7 Opération de la libération des LRS :

Le but de l'opération de la libération des LRS est de :

- Permettre au LRS de se dilater librement et annuler ainsi toutes les contraintes.

- Fixer la barre à une température déterminée, comprise dans l'intervalle des températures de fixation admis dans chaque zone du réseau ferroviaire.

La libération des LRS se fait après stabilisation de la voie, soit à la température ambiante si elle est adaptée, soit par tendeurs hydrauliques qui tirent le rail pour annuler les contraintes. On libère simultanément les deux files de rails, par tronçons de maximum 1200 m. Les attaches sont desserrées, la barre posée sur des rouleaux, puis on fait vibrer le rail avec des marteaux frappeurs. La fixation finale intervient après les soudures aluminothermiques.

III.5 LA POSE DE VOIE :

La pose de la voie ferrée est une étape essentielle dans la construction et la maintenance des infrastructures ferroviaires. Elle nécessite une planification rigoureuse, ainsi que l'utilisation de techniques, de logistique et d'équipements spécialisés. L'objectif est d'assurer une infrastructure fiable, durable et conforme aux normes de sécurité.

III.5.1 Préparation de la plateforme de voie :

III.5.1.1 Réception de la plateforme :

- Inspection visuelle et géotechnique : Évaluation de la qualité des matériaux, du drainage, de la largeur, de l'inclinaison et de la compacité.
- Correction des défauts : Vérification du nivellement et ajustement des paramètres pour conformité aux plans.

III.5.1.2 Implantations topographiques :

- Axe de voie : Définit l'alignement horizontal (droites et courbes).
- Piquets rejets : Points de contrôle temporaires pour suivre et corriger l'alignement et le nivellement (Fig III-11).

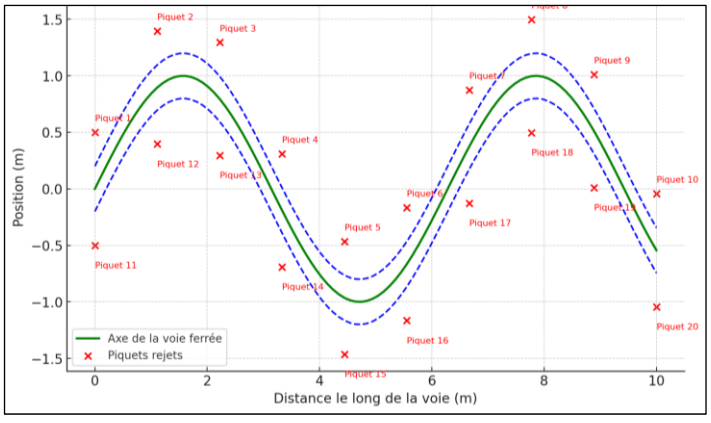


Figure III-11: Implantations topographiques de l'axe de voie

III.5.2 Distribution et pose des rails :

III.5.2.1 Distribution des rails :

Les rails sont d'abord transportés depuis la zone de stockage jusqu'à la plateforme à l'aide de grues ou de chariots. Une fois sur place, ils sont positionnés le long de l'axe de la voie, en respectant précisément le tracé défini pour garantir un alignement correct dès le départ.

III.5.2.2 Soudage des rails en LRS (Longs Rails Soudés) :

Le soudage électrique permet d'assembler des rails de 18 m pour former des barres LRS d'au moins 216 m (Fig III-12). Des tests non destructifs sont ensuite réalisés pour contrôler laqualité et l'intégrité des soudures.



Figure III-12: La soudure électrique

III.5.3 Préparation et pose des traverses :

III.5.3.1 Pré-ballastage :

Réalisation à l'aide d'un finisseur : déversement et nivellement de la première couche de ballast (Fig III-13).



Figure III-13: Pré-ballastage

III.5.3.2 Pose des traverses :

Méthodes :

- Portique mobile sur rails/roues.

- Pelle rail-route équipée de dispositifs de levage (Fig III-14).



Figure III-14:Pelle rail-route

III.5.3.3 Montage des rails sur traverses :

Des semelles en caoutchouc sont placées entre les rails et les traverses pour absorber les vibrations et répartir les charges. La pose des rails se fait à l'aide d'une positionneuse (Fig III-15), garantissant un positionnement précis sans endommager les semelles.



Figure III-15: Montage des rails

III.5.4 Fixation et assemblage des rails :

III.5.4.1 Fixation des rails aux traverses :

Les rails sont fixés aux traverses avec des attaches élastiques qui absorbent les chocs (Fig III-16). Le serrage est effectué avec des clés dynamométriques pour garantir un couple précis.



Figure III-16:Fixation des rails

III.5.4.2 Assemblage des rails :

- Nettoyage, inspection visuelle des extrémités.
- Assemblage avec éclisses et dispositifs de serrage en « C ».
- Assemblage LRS final après le 2e relevage et la 1ère stabilisation.

III.5.4.3 Mise à l'axe de la voie :

Réglages de l'alignement longitudinal et transversal à l'aide de systèmes de mesure.

III.5.5 Ballastage et nivellement :

- Réalisé en plusieurs phases (R1, R2, R3).
- Utilisation d'engins bourreurs pour compactage à 800 mm max.
- Nivellement complémentaire (NC) si nécessaire.
- Réglage du dévers après R2, selon la vitesse maximale et le rayon de courbe.

III.5.6 Finitions et stabilisation :

III.5.6.1 Soudage aluminothermique/Meulage :

Utilisation d'un mélange de poudre d'aluminium et d'oxyde de fer pour souder les rails des barres LRS (Fig III-17), suivi d'un meulage pour une surface lisse.



Figure III-17: Soudage aluminothermique

III.5.6.2 Stabilisation de la voie :

Bourrage et compactage additionnels après les relevages R2 et R3 pour assurer la stabilité finale (Fig III-18).



Figure III-18: le bourrage

III.5.6.3 Complément de ballast et nivellement :

Ajustement du profil des banquettes pour atteindre les spécifications requises. Ajout de ballast si nécessaire.

III.5.6.4 Brossage des têtes de traverses :

À l'aide d'un engin régaleuse, nettoyage des têtes de traverses pour assurer une bonne adhérence des fixations des rails.

III.5.6.5 Libération des LRS :

Retrait des dispositifs de maintien temporaire : Suppression des équipements utilisés pour maintenir les rails en place pendant les travaux (dispositifs de serrage, les attaches)

III.5.7 Réception et contrôle des travaux :

III.5.7.1 Réception des travaux :

Inspection finale : conformité, alignement, nivellement, soudures.

III.5.7.2 Surveillance topographique :

Levés réguliers tout au long du chantier pour contrôle de qualité.

III.6 CONCLUSION :

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

GEOMETRIE DE LA VOIE

IV. CHAPITRE IV : LA GEOMETRIE DE LE VOIE.

IV.1 INTRODUCTION :

Les contraintes influençant le tracé d'une voie ferrée sont nombreuses et il est souvent impossible de satisfaire toutes les exigences simultanément. Le principal défi du concepteur est donc de limiter au maximum les effets négatifs d'un nouveau projet tout en se rapprochant des objectifs fixés.,

Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- Définir les caractéristiques techniques essentielles de la géométrie de la voie, des gabarits ferroviaires et des appareils de voie.
- Présenter les étapes fondamentales pour l'étude du tracé général et de l'avant-projet.
- Examiner les principaux éléments à considérer dans l'élaboration du tracé, en tenant compte des besoins en transport, des contraintes géographiques, économiques, politiques et environnementales.

Le tracé ferroviaire en plan est constitué d'alignements droits et de courbes circulaires, reliés par des courbes de raccordement permettant une transition progressive et réduisant ainsi les chocs. Le profil en long, quant à lui, est composé de sections planes ainsi que de pentes ou de rampes, raccordées par des courbes de très grands rayons ne nécessitant généralement pas de raccordement supplémentaire.

Enfin, la vitesse des trains représente un paramètre déterminant dans l'étude du tracé, influençant directement les choix de conception et les contraintes techniques à respecter.

IV.2 TRACE EN PLAN :

Le tracé en plan d'une voie ferrée correspond à la projection orthogonale de l'ensemble des points sur un plan horizontal. Il est généralement constitué d'une succession d'alignements droits et d'arcs de cercles, reliés par des courbes de raccordement progressif. En chemin de fer, le tracé en plan est défini par deux vitesses caractéristiques :

- $\mathbf{V_r}$: vitesse des trains rapides (voyageurs)
- $\mathbf{V_L}$: vitesse des trains lents (marchandises).

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

L'axe du tracé en plan est constitué d'une succession d'alignements, de liaisons et d'arcs de cercle, comme il est schématisé ci-dessous (Fig IV 1).

Les alignements peuvent être droits ou courbes, selon les besoins du tracé. Les liaisons assurent la transition entre les différentes sections, notamment entre un alignement droit et un arc de cercle.

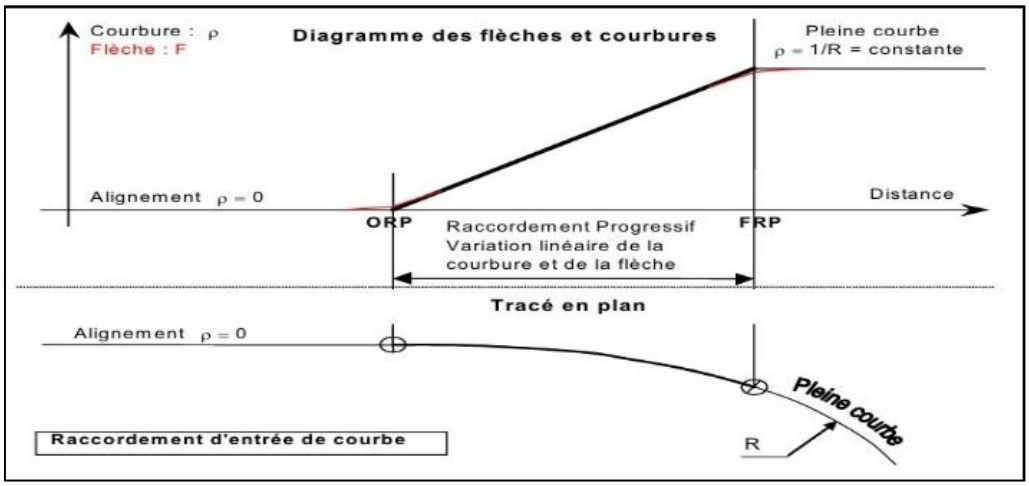


Figure IV-1 : Les éléments de tracé en plan

IV.2.1 Les éléments constitutifs d'un tracé en plan :

IV.2.1.1 L'alignement :

L'alignement droit est l'élément le plus simple et le plus favorable à l'exploitation. Il représente le meilleur tracé sur le plan technique, offrant un confort et une sécurité optimaux aux usagers. Grâce à son tracé rectiligne, il permet une circulation fluide et stable des trains, garantissant ainsi une exploitation efficace et sécurisée, ou V est la vitesse rapide 160 km/h.

Tableau IV-1 : Valeurs de longueur minimale de l'alignement (SNTF *).*

Type de Valeur	Formule	Résultat (m)
Valeur limite normale	V/2	80
Valeur limite exceptionnelle	V/2.5	64

IV.2.1.2 Le rayon :

Dans les endroits où la topographie ne permet pas de réaliser les alignements, on a recours au raccordement circulaire. Le rayon sera le plus grand possible et sa valeur minimale dépend de la vitesse de base.

IV.2.1.3 Le raccordement progressif :

C'est un élément géométrique qui raccorde l'alignement à un arc de cercle dont la courbure varie progressivement d'un rayon R = ∞ à la fin de l'alignement jusqu'à une valeur R constante au début de l'arc de cercle. On utilise pour ce type de raccordement la clothoïde qui assure, grâce à sa variation linéaire de courbure la stabilité et le confort plus son aspect esthétique satisfaisant.

IV.2.2 Paramètres de conception de la voie:

IV.2.2.1 Rayon minimale :

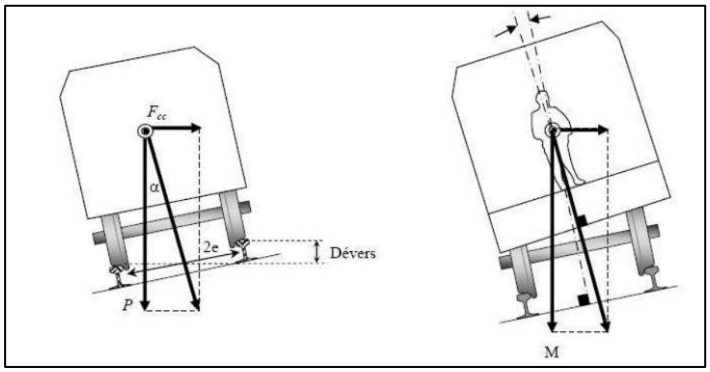
La valeur du rayon minimum admissible est un paramètre qui dépend de la vitesse du projet, il est limité pour assurer le confort des voyageurs et éviter que les efforts transversaux sur la voie ne soient pas trop importants. Le rayon de courbe minimum pouvant être circulé à la vitesse maximale d'exploitation, Le rayon minimum est calculé par la formule selon la formule suivante :

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

- 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)

IV.2.2.2 Dévers :

D'après les lois de la mécanique classique un point matériel qui se déplace dans une courbe subit une force centrifuge qui a tendance à renverser le matériel roulant à l'extérieur du virage. Cette force peut conduire au déraillement du train et à la fatigue de la voie et des roulants, pour annuler ou modérer cette force, on surélève le rail ou la file extérieur de la voie, cette différence de niveau dans une courbe est appelée dévers.



F_{cc} : force centrifuge

P : poids des véhicules

R : résultante

Figure IV-2:schéma de dévers

Le dévers maximum est limité afin de ne pas perturber le confort des voyageurs et d'éviter le déplacement de marchandises lors de l'arrêt impromptu du train fret dans une courbe.

Les limites maximales autorisées de dévers, conformément aux normes de la SNTF (Chapitre 06), sont présentées ci-dessous (Tab IV 2) :

Tableau IV-2:Valeur limite de dévers

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

A. Dévers théorique(dth) :

Le dévers théorique, ou dévers d'équilibre **(dth)**, est l'inclinaison transversale optimale d'une voie ferrée dans une courbe permettant d'annuler totalement l'effet de la force centrifuge exercée sur un train en mouvement. Il est déterminé en fonction de la vitesse constante du train et du rayon de la courbe, garantissant ainsi une circulation stable et confortable

Dans une courbe de rayon R, La force F vaut : $F = MV^2 / R$ et $tg\ \alpha = F / P = V^2 / (R \times g)$

On a:

$D = e \times \sin \alpha$ (α est petit donc $\sin \alpha \approx tg\ \alpha$)

Donc : $d = e \times tg\ \alpha = e \times (V^2 / (R \times g))$

Avec: $e = 1.5m$, $g = 9.81 m/s^2$, $V\ (m/s) = (1/3.6) \times V\ (km/h)$

On obtient : $\mathbf{d_{th}} = \dfrac{(\mathbf{11.8 \times V^2})}{\mathbf{R}}$

B. Dévers pratique d_p :

Le dévers pratique, aussi appelé dévers réel ou dévers de fonctionnement, est l'inclinaison réellement appliquée aux rails dans une courbe ferroviaire. Il est ajusté pour tenir compte des différentes vitesses et types de trains empruntant la voie. Ce compromis est essentiel pour garantir la sécurité des circulations, limiter l'usure des infrastructures et assurer le confort des passagers.

Sur un même tronçon, les trains de voyageurs, circulant à grande vitesse, nécessitent un dévers inférieur au dévers théorique pour éviter un déséquilibre latéral excessif. À l'inverse, les trains de marchandises, roulant généralement à une vitesse plus faible, nécessitent un dévers supérieur afin de réduire la charge sur le rail intérieur et prévenir une usure prématurée. La conception du dévers pratique doit ainsi répondre à plusieurs impératifs :

- Préserver l'intégrité de la voie : Un dévers mal adapté peut entraîner une surcharge excessive sur l'un des rails, provoquant une fatigue accélérée de l'infrastructure.
- Garantir la sécurité des circulations : Un dévers insuffisant peut causer un déport latéral dangereux pour les trains rapides, tandis qu'un dévers excessif peut engendrer des déséquilibres pour les trains lents.
- Optimiser le confort des passagers : Une inclinaison bien ajustée réduit les forces latérales ressenties dans les courbes, améliorant ainsi l'expérience des voyageurs.

La valeur du dévers pratique est donc déterminée en fonction des caractéristiques du trafic réel, afin d'assurer un équilibre optimal entre sécurité, performance et durabilité de la voie ferrée.

$$d_p = \frac{k}{R} = \frac{1000 \times C}{R}$$

D_p : Dévers pratique
R : Rayon de courbe (m)
K : Coefficient de la ligne
C : Coefficient de dévers, avec l'expression suivante :
$C = 0{,}006 \times V_v$ (doit être un multiple de 15)

Il doit satisfaire la condition suivante : $0{,}5\ dth < d_p < 0{,}7\ dth$

C. Variation de dévers :

La variation de dévers correspond à l'évolution progressive de l'inclinaison de la voie entre un alignement droit, où le dévers est nul, et une courbe, où un dévers est requis pour compenser la force centrifuge. Cette transition s'effectue sur une portion spécifique appelée rampe de dévers, afin de garantir le confort des passagers, la stabilité du train et de réduire l'usure des rails et du matériel roulant. La variation est accompagnée d'ajustements coordonnés de l'insuffisance et de l'excès de dévers, permettant une adaptation fluide et sécuritaire aux différentes conditions géométriques de la voie.

✓ **Variation de devers dans les courbes de transition en fonction de longueur :**

Pour passer d'une voie droite sans dévers à une courbe avec dévers constant, ou inversement, un **raccordement de dévers** est aménagé. Sur cette section, le rail extérieur est progressivement rehaussé ou abaissé par rapport au rail intérieur jusqu'à atteindre la différence de niveau souhaitée. Cette transition est définie par le **taux de dévers** Δd/Δl : (exprimé en mm/m), qui indique l'augmentation ou la diminution du dévers par unité de longueur, assurant ainsi confort et stabilité aux véhicules.

Tableau IV-3:Valeurs limites de la variation du devers (SNTF).

Valeur maximale normale (mm/m)	**180/160 = 1.125 mm/m**
Valeur limite exceptionnelle (mm/m)	216/160 = 1.35 mm/m

✓ **Variation du devers dans le temps :**

La variation du dévers en fonction du temps (ΔD/ΔT) est généralement limitée afin d'assurer une transition progressive entre les différentes sections de voie. Cette limitation permet d'éviter les changements brusques d'inclinaison latérale et de préserver la stabilité du train.

La variation du devers dans le temps est représentée par le formule suivante :

$$\frac{d_d}{d_t} = \frac{d \times V_{max}}{3.6 \times L}$$

Tableau IV-4:valeur limite de la variation du dévers

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

IV.2.2.3 Insuffisances de devers (I) :

Lorsque la vitesse d'un véhicule empruntant une courbe est plus élevée que la vitesse D'équilibre correspondant au dévers prescrit, ce véhicule est soumis à une force centrifuge non compensée. Le dévers de la voie est donc insuffisant et la résultante des forces se Déplace vers l'extérieur de la courbe. On appelle insuffisance de dévers (exprimée en mm) La différence entre le dévers d'équilibre et le dévers prescrit, et se calcule selon la formule :

$$I = dth - dp \leq Ilim(mm)$$

Tableau IV-5 insuffisances de devers selon SNTF

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

IV.2.2.3.1 La variation de l'insuffisance de dévers :

La variation de l'insuffisance de dévers, notée $dt\backslash d\Delta e$ correspond au rythme auquel l'insuffisance de dévers évolue au fil du temps. Elle indique la vitesse de changement de cette insuffisance lorsque le train progresse sur une courbe. Cette grandeur est généralement exprimée en **(mm/s).**

La variation d'insuffisance se calcule par les formules suivantes :

- $\Delta I / \Delta t = (I \times V) / (3.6 \times LRP)$ dans un RP entre alignement et courbe.
- $\Delta I / \Delta t = (|I1 - I2| \times V) / (3.6 \times LRP)$ dans un RP entre deux courbes de même sens.
- $\Delta I / \Delta t = (|I1 + I2| \times V) / (3.6 \times LRP)$ dans un RP entre deux courbes de sens contraire.

Avec :

- I = insuffisance dans la pleine courbe (en mm).
- I1 = Insuffisance dans la courbe amont (en mm).
- I2 = Insuffisance dans la courbe aval (en mm).
- V = Vitesse du mouvement (en km/h).
- LRP = Longueur du RP (en m).

Tableau IV-6:valeur limites de la variation de l'insuffisance de dévers

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

IV.2.2.3.2 Excès de devers E :

Lorsque la vitesse d'un véhicule en courbe est plus faible que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers prescrit, ce véhicule est soumis à une force centripète non compensée. Le dévers de la voie est donc excessif et la résultante des forces se déplace vers l'intérieur de la courbe. On appelle excès de dévers (exprimé en mm) la différence entre le dévers prescrit et le dévers d'équilibre.

$$E = d_p - d_{th} \leq E_{lim}(mm)$$

Tableau IV-7:valeurs limites de l'excès du devers selon SNTF

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

Remarque :

Concernant l'excès, il existe une exception qui ne suit pas le cas classique. Cette particularité a été spécifiquement abordée et détaillée dans la partie application au projet.

IV.2.2.4 Courbes de raccordement :

C'est une courbe à rayon variable assurant la transition entre un alignement et une pleine courbe ou entre deux courbes circulaires de rayons différents. La clothoïde, ou son approximation la parabole cubique, présente une variation uniforme de la courbure et donc de la flèche. En général, du fait de la proportionnalité dévers / courbure, la variation de dévers est elle aussi uniforme.

L'origine du raccordement progressif (ORP) est l'extrémité du RP côté alignement. La fin du raccordement progressif (FRP) est l'extrémité du RP côté pleine courbe. Dans le cas d'un RP entre deux courbes, l'ORP est l'extrémité du RP du côté du plus grand rayon et la FRP, l'extrémité du RP du côté du plus petit rayon.

- ORP : Origine du raccordement progressif,
- FRP : Fin du raccordement progressif.

IV.2.3 Application au projet :

Le rayon minimal autorisé dépend de la vitesse prévue pour le projet. Il est limité afin d'assurer le confort des voyageurs et de limiter les efforts transversaux exercés sur la voie. Ce rayon minimal sera déterminé en fonction de l'insuffisance de dévers admissible à grande vitesse et de l'excès de dévers à faible vitesse, tout en veillant à ne pas dépasser le dévers maximal autorisé.

$R_{min} = \frac{11.8 \times V_{max^2}}{d_{max} + I_{max}}$ Donc R_{min}=974=1000m.

IV.2.3.1 Raisonnement de la méthode adoptée

Dans le cadre de ce projet principalement dédié au transport de marchandises, une adaptation des paramètres géométriques du tracé s'est imposée. Plutôt que d'appliquer une méthode générique, le choix a été fait de raisonner en fonction des spécificités du trafic prévu, à savoir une prédominance des trains de marchandises.

1. Augmentation du rayon de courbure :

Pour le tracé en plan, nous avons opté pour des rayons de courbure importants afin de répondre simultanément aux exigences des trains de marchandises lourds et des trains voyageurs à grande vitesse. Les rayons de courbure ont été augmentés à 2300 m pour mieux répondre aux exigences des trains de marchandises, notamment en réduisant les sollicitations latérales exercées sur la voie. Ce rayon dominant permet également de limiter l'usure des rails et des roues, d'améliorer la stabilité des convois à vitesse constante, et d'assurer un meilleur confort dynamique. C'est sur cette base que les paramètres du tracé en plan ont été déterminés, dans une logique d'optimisation de la performance et de la durabilité de l'infrastructure ferroviaire.

2. Adoption d'un dévers théorique constant :

Le dévers a été défini selon la relation théorique en fonction de la vitesse des trains de marchandises, autrement dit :

Dévers adopté = Dévers marchandises.

Cela signifie que le dévers est précisément calculé pour équilibrer les forces latérales à la Vitesse de référence des trains de marchandises, ce qui permet à cette catégorie de circuler sans excès de dévers, ni insuffisance.

Cependant, comme la vitesse des trains voyageurs est plus élevée, ceux-ci circuleront avec une insuffisance de dévers, qui reste toutefois dans les limites admissibles prévues par la réglementation

3. Elimination de l'excès de dévers :

Étant donné que la voie est à usage mixte, le dévers pratique dans les courbes doit être déterminé en tenant compte des paramètres suivants :

- La vitesse maximale des trains voyageurs,
- La vitesse minimale des trains de marchandises,
- La valeur maximale admissible de l'insuffisance de dévers,
- La valeur maximale admissible de l'excès de dévers.

Dans un cas classique, ces valeurs sont fixées, ce qui permet de déterminer directement le dévers pratique en fonction du rayon de la courbe.

Cependant, dans notre cas, la circulation est majoritairement assurée par des trains lourds. Ainsi, nous avons opté pour une réduction maximale de l'excès de dévers, afin de garantir un contact optimal entre la roue et le rail sur toute la surface, et ce, pour limiter l'usure prématurée des rails et des roues.

Le dévers pratique est donc dimensionné en priorité pour les trains lourds, et c'est à partir de cette valeur que sera définie l'insuffisance de dévers tolérée pour les trains voyageurs à grande vitesse.

Justification technique :

- Adaptation au type de trafic : Puisque le projet est orienté vers le transport de marchandises, il est

Rationnel de dimensionner le tracé selon leurs exigences spécifiques plutôt que selon une approche mixte.

- Durabilité de l'infrastructure : En éliminant les excès de dévers et en augmentant les rayons de courbure, la voie est soumise à moins de contraintes mécaniques, ce qui diminue l'usure et les besoins en maintenance.
- Optimisation du fonctionnement : Cette approche favorise une exploitation plus régulière et plus sûre des trains de marchandises, tout en réduisant les coûts liés à l'entretien de la voie.

IV.2.3.2 Exemple des différentes étapes de calcule :

- **L'alignement minimal :**

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

- **Vérification de l'emploi de RP :**

1000 / R = 1000 / 2300 = 0,43

Pour 100 < V ≤ 160 km/h :

$\Delta c > 7000 / V_{max^2} \Rightarrow 0,43 > 7000 / 160^2 \Rightarrow 0,43 > 0,27$

Donc RP obligatoire

- **Dévers adopté pour un rayon R = 2300 m :**

Pour train rapide : Dth = (11,8 × 160²) / 2300 =131 mm à ignorer

Pour train lent : Dth = (11,8 × 70²) / 2300 =25mm

Donc Le dévers appliqué sur le tracé est équivalent au dévers théorique calculé pour la vitesse des trains de marchandises

L'insuffisance : I=dth(v) – dp=131– 25 =106mm< 150 mm

L'Excès : Comme nous l'avons indiqué précédemment concernant l'excès de dévers, celui-ci est éliminé,

donc E = 0

- **Longueur de clothoïde Lrp :**

Lrp =dp/dd/dL=$\frac{25}{1.125} = 22$ Lrp(adopté) = 80m

- **Variation de divers par rapport au temps :**

dd/dt = (Dp x Vmax)/(3,6 ×Lrp)= 25x160/3,6x80= 13.8 ≤50 mm/s

- **La variation de dévers en fonction de la longueur :**

dd/dl= (3,6× $\frac{dd}{dt}$)/Vmax = (3,6× 13.8)/160= 0.31mm/m = < 1.125 mm/m

- **La variation d'insuffisance de dévers en fonction du temps**

ΔI/ΔT=(Ix Vmax)/(3,6xLrp) = 106x160 / 3,6x80 = 58.88≤75 mm/s

- Remarque : Lorsqu'aucun raccordement progressif n'est prévu, l'insuffisance de dévers instantanée doit rester inférieure ou égale à 50 mm.

Tableau IV-8:récapitulatif de tous les paramètres géométriques de tracé de notre projet

R(m)	Δc	Obligation de RP	Dp mm	I (mm)	E(mm)	Lrp (m)	Dd/dt	Dd/dl	ΔI/ΔT ≤ 75
2300	0.43	Obligatoire	25	106	0	80	13.8	0.31	58.8
3000	0.33	Obligatoire	20	81	0	80	11.11	0.013	45
2300	0.43	Obligatoire	25	106	0	80	13.8	0.31	58.8
5000	0.2	Pas Obligatoire	12	48<50	/	/	/	/	/

- Le tableau ci-dessous présente un récapitulatif de tous les paramètres géométriques du tracé de notre projet (Tab IV-8) :

Les contraintes :

Avant toute mise en œuvre du tracé ferroviaire, une étude approfondie du site est essentielle afin d'identifier les contraintes liées aux Voiries et Réseaux Divers (VRD) susceptibles d'interférer. Ces réseaux doivent être soit évités, soit intégrés dans la conception à l'aide de solutions techniques adaptées (déviations, protections, franchissements), garantissant ainsi la sécurité, la conformité réglementaire et la continuité des infrastructures existantes.

Dans la section comprise entre le PK 19+675 et le PK 35+800, plusieurs éléments ont été recensés le long de l'emprise. Il s'agit notamment de :

- Lignes électriques
- Voies de circulation existantes
- Réseaux de fibre optique
- Oueds
- Conduites de gaz

IV.2.4 Les contraintes des réseaux de services :

Le tableau ci dessue ressemble toutes les lignes des réseaux de services (Lignes électriques, Fibre optique, Conduite de gaz) qui traversent le tracé :

Tableau IV-9:les lignes des réseaux de services

Contrainte	Localisation	Solution
Ligne d'électricité HT	PK20+460	Déplacé
Ligne d'électricité HT	PK21+400	Déplacé
Ligne d'électricité HT	23+650	Déplacé
Ligne d'électricité MT	30+375	Déplacé

IV.2.5 Les Ouvrages d'art :

Voici une reformulation légèrement améliorée de votre texte :

Afin de concevoir un tracé optimisé répondant aux exigences techniques et économiques, tout en garantissant la perméabilité transversale de la ligne ferroviaire projetée ainsi que le franchissement des différentes infrastructures existantes et des cours d'eau, il est nécessaire d'équiper cette nouvelle ligne des ouvrages suivants :

1. **Ponts rail** : pour le franchissement des oueds et la réalisation de passages inférieurs.
2. **Ponts routiers** : assurant les passages supérieurs.

3. **Ouvrages hydrauliques** : notamment des buses et des dalots (ces derniers seront détaillés dans le chapitre consacré à l'étude hydrologique et hydraulique).

Le tracé de la ligne BEHCHAR– GARA DJEBILET du Pk 19+675 au Pk 35+800 traverses des pistes, des routes, des oueds …etc. De de fait, des ouvrages d'art de franchissement et des ouvrages hydrauliques sont projetés compte tenu des croisements avec ces obstacles.

Le tracé retenu impose la réalisation de plusieurs ouvrages (passages supérieurs ou inférieurs) afin d'assurer le rétablissement des pistes supprimées, la continuité des voies intersectées, ainsi que l'aménagement de passages destinés à la faune.

Tableau IV-10:les ouvrages d'art projetés sur notre tronçon

Rétablissement routier	Obstacles	Localisation	Type d'ouvrage
1	Piste revêtue	23+360	Passage inferieure
2	Piste non revêtue	24+950	Passage supérieur
3	Piste revêtue	27+000	Passage supérieur
4	Piste revêtue	29+252	Passage supérieur
5	Piste revêtue(carrière)	30+500	Passage supérieur
6	Piste revêtue(carrière)	31+825	Passage supérieur

- **Piste à déclasser :**

Il y a 20 pistes à supprimer dans les PK suivants :

Tableau IV-11:Les pistes à supprimer

PK19+700	PK29+525
PK19+740	PK30+970
PK20+250	PK31+700
PK21+080	PK31+825
PK23+900	PK32+910

PK24+950	PK34+055
PK26+480	PK34+175
PK277+975	PK34+480
PK28+540	PK34+175
PK29+000	PK34+480

IV.3 PROFIL EN LONG :

IV.3.1 Introduction :

Le profil en long est un élément fondamental dans l'évaluation d'un projet ferroviaire, aussi bien sur le plan technique qu'économique. Il permet d'anticiper et conception d'optimiser les volumes de terrassement, en équilibrant les déblais et les remblais, tout en déterminant la nécessité d'ouvrages d'art tels que les ponts et les tunnels. Une rigoureuse du profil en long contribue ainsi à réduire les coûts de construction, à améliorer la performance du tracé et à garantir la sécurité et la fiabilité de l'infrastructure ferroviaire.

IV.3.2 Définition :

Le profil en long est une représentation graphique qui illustre les variations d'altitude tout au long de la voie projetée. Il met en évidence les zones de déblai, de remblai, les travaux de terrassement ainsi que les différents ouvrages d'art prévus sur le tracé.

Sa coordination avec le tracé en plan est essentielle d'un point de vue technique, notamment pour gérer les déclivités et positionner correctement les gares ou autres points d'arrêt, selon des critères précis.

Le profil en long permet de visualiser, pour chaque section du projet, les éléments suivants :

- L'altitude du terrain naturel.
- L'altitude du projet,
- La déclivité du tracé,
- Les distances partielles et cumulées,
- Les éléments géométriques verticaux (pentes, points singuliers) et leur lien avec la géométrie horizontale (rayons, raccordements).

IV.3.3 Règles à respecter pour le profil en long :

- Respecter la pente maximale imposée par la réglementation afin d'assurer la sécurité et la performance des trains.
- Éviter les fortes déclivités prolongées pour limiter les efforts de traction et de freinage.
- Adapter le tracé au terrain naturel afin de limiter les travaux de terrassement et réduire les coûts de construction.

- Équilibrer les volumes de remblais et de déblais pour éviter des mouvements de terre excessifs et coûteux.
- Limiter les hauteurs excessives de remblais afin de garantir la stabilité de l'infrastructure et éviter les tassements.
- Utiliser des courbes paraboliques pour relier les segments droits aux changements de déclivité (butte ou creux) afin d'assurer une transition fluide.
- Prévoir des dispositifs de drainage efficaces pour éviter l'accumulation d'eau et préserver la durabilité de la voie.

IV.3.4 Elément géométrique de profil en long :

- Pente : tronçon de voie où l'altitude est décroissante dans le sens de circulation (Descente).
- Rampe : tronçon de voie où l'altitude est croissante dans le sens de circulation (Montée).
- Palier : c'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale.
- Courbes de raccordement vertical : ce sont des arcs de cercles qui assurent la liaison Entre les éléments de la ligne rouge.

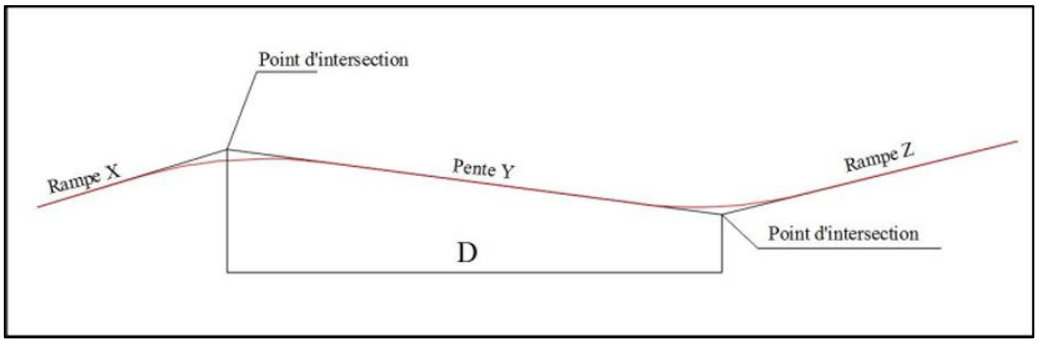


Figure IV-3Eléments de profil en long

IV.3.5 Eléments de composition du profil en long :

Un profil en long est constitué d'éléments de lignes droites raccordées par des arcs de cercle en cas de changement de déclivité.

IV.3.5.1 Déclivité maximale :

Le profil en long de la voie ferrée est conçu avec des déclivités très faibles afin de garantir la sécurité, d'assurer une circulation fluide à des vitesses appropriées et d'offrir un confort optimal aux passagers. Pour cela, la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) fixe une limite maximale pour les pentes des segments rectilignes.

Les déclivités maximales couramment adoptées sont les suivantes (Tab IV-11) :

Tableau IV-12:limite déclivité maximal

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

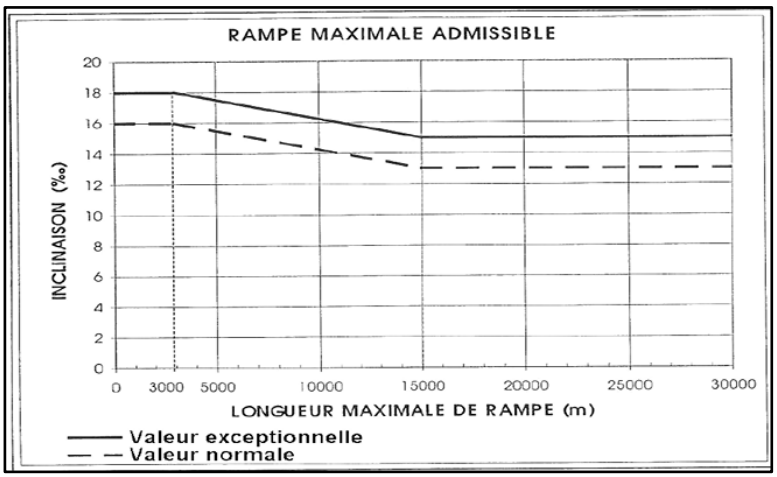


Figure IV-4:la valeur de déclivité en fonction de sa longueur

Comme notre cas est exceptionnel, avec une ligne minière supportant un tonnage de 32,5 tonnes par essieu, la déclivité, comprenant à la fois les pentes et les rampes, a été strictement limitée afin de garantir la sécurité et la performance du transport. Ainsi, les valeurs maximales adoptées pour ces déclivités sont présentées dans le tableau suivant (Tab IV-12):

Tableau IV-13:limite de pente et rampe dans notre projet

Pente Sens charge	Rampes Sens charge
10‰	8‰

IV.3.5.2 Choix des alignements droits :

Les valeurs minimales de longueur des éléments varient selon les conditions d'exploitation. Une valeur plus élevée est adoptée en situation normale pour assurer confort et stabilité, tandis qu'elle est réduite dans des cas exceptionnels pour s'adapter aux contraintes spécifiques. Comme indiqué dans le tableau suivant (Tab IV-13):

Tableau IV-14:Valeurs de la longueur minimale des éléments

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

IV.3.5.3 Choix des cercles :

Le choix des cercles dans la conception ferroviaire est essentiel pour assurer la transition progressive entre différentes déclivités et garantir le confort des passagers. Un rayon de courbure adapté permet de limiter les accélérations verticales, réduisant ainsi les secousses et les oscillations du véhicule. Un cercle de grand rayon est privilégié pour améliorer le confort, tandis qu'un rayon plus court peut être utilisé dans les zones contraintes, avec des limites strictes pour éviter les impacts négatifs sur la stabilité et la sécurité du train.

La SNTF définit des valeurs minimales pour le rayon vertical en fonction de la vitesse. Ces valeurs permettent de limiter les effets des accélérations verticales lors des transitions de déclivité. Les références adoptées sont indiquées dans le tableau suivant (Tab IV-14) :

Tableau IV-15:Les valeurs de rayon minimal selon SNTF

Valeur normale	Valeur exceptionnelle
0.35 V^2=8960	0.25 V^2=6400

Voici un tableau récapitulatif des paramètres du profil (Tab IV-15) :

Tableau IV-16:Paramètres géométriques de profil en long(selon SNTF)

		Formule		Application	
		Normal	Exceptionnelle	Normal	Exceptionnel
Déclivité	Sens chargé	-	-	8‰	-
	Sens vide	-	-	10‰	-
	Gares	-	-	0‰	0‰
Rayon minimal en raccordements verticaux(m)	-	0.35V^2	0.25V^2	8960	6400
La longueur minimale des pentes uniformes et des raccordements en profil en long(m)	-	V/2	V/2.5	80	64

IV.4 COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN :

Pour garantir une bonne coordination entre le profil en long et le tracé en plan, on doit

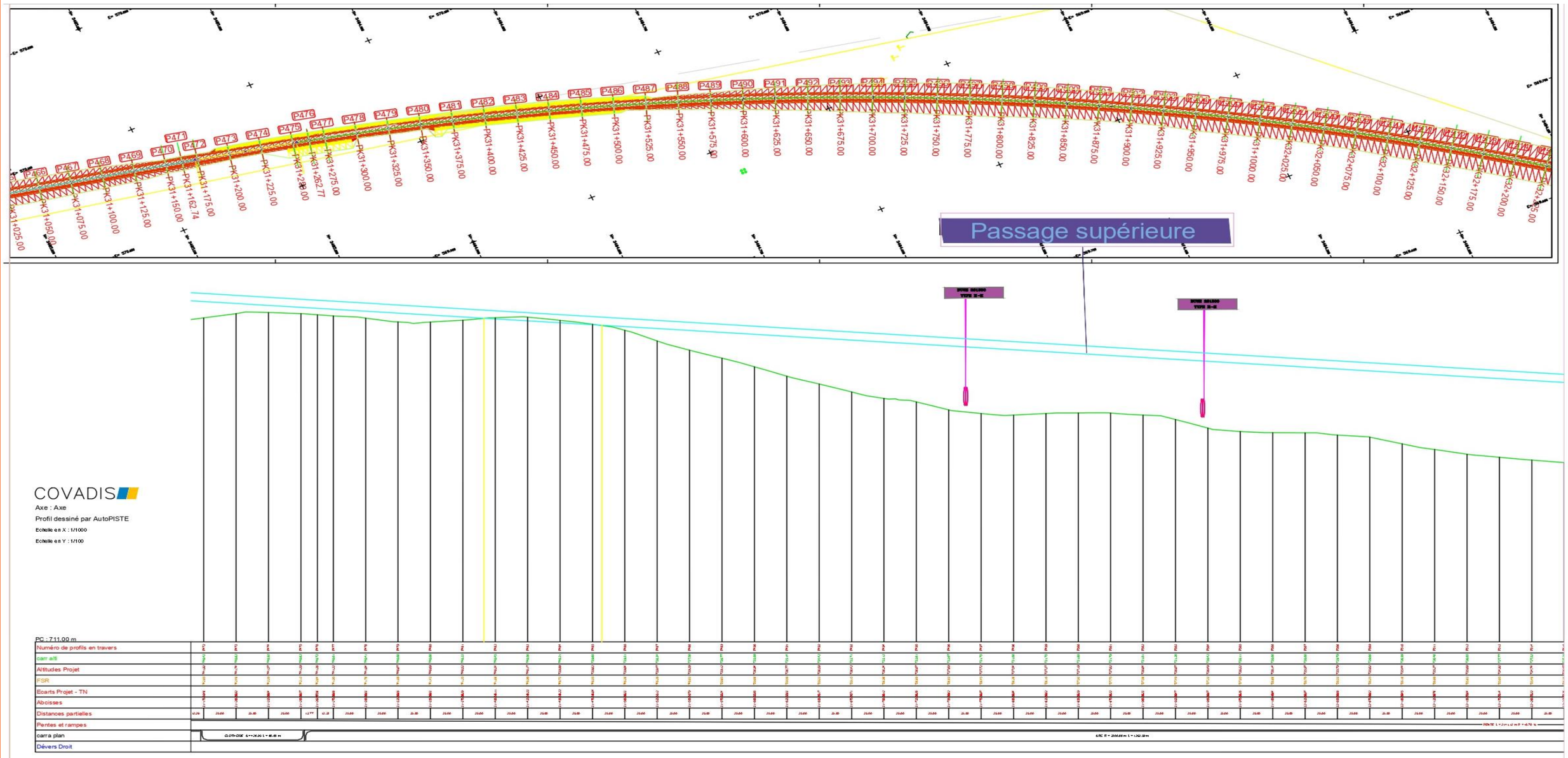
Respecter les conditions :

- Eviter les coïncidences entre les rayons du profil en long et les rayons du tracé en
- Plan (Positionner les points de changement de déclivité dans des éléments de tracé Constants (alignements ou pleine courbe).
- Eviter le placement d'une courbe en profil en long immédiatement après une courbe
  - en tracé en plan.
- Les points singuliers du tracé en plan ne doivent pas être précédés d'un point élevé.
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe ou bien
  - en déclivité

IV.5 CONCLUSION :

La conception du profil en long est un élément clé dans l'évaluation d'un projet de transport, tant sur le plan technique qu'économique. Elle intègre les déclivités, l'harmonisation avec le tracé en plan et l'optimisation des points stratégiques, tels que les arrêts et les zones de transition, afin d'assurer une exploitation efficace et durable.

- Le plan ci-joint présente, au format A3, une section de 1 km du tracé de notre tronçon, intégrant à la fois le plan et le profil en long.



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 ferroviaire à voie unique Béchar-Tindouf-Gara Djebilet du PK 19+675 au PK 39+800avec l'aménagement et la conception de la gare de BECHAR DJDID	BENREJDAL MAZOUZI	ZENNOUCHE Smail	1/100	1	2024 / 2025

Etude hydrologique et hydraulique

V. CHAPITRE V : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE .

V.1 INTRODUCTION :

La réalisation d'une nouvelle ligne ferroviaire engendre inévitablement des modifications du régime hydraulique naturel. En effet, le tracé traverse différents cours d'eau, oueds et zones de ruissellement, ce qui peut perturber l'écoulement des eaux superficielles. Il est donc primordial d'assurer la continuité hydraulique en prévoyant des ouvrages adaptés (dalots, buses, ponts-rails), capables d'évacuer les débits de crue sans risque pour l'infrastructure. Par ailleurs, un bon système de drainage est indispensable pour protéger la plateforme ferroviaire contre les phénomènes d'érosion, de stagnation d'eau ou d'instabilité.

Dans ce contexte, le présent chapitre a pour objectif l'évaluation des débits de crues le long du tracé, afin de dimensionner correctement les ouvrages hydrauliques et d'assurer la pérennité et la sécurité de la voie. Cette étude constitue ainsi une étape essentielle pour prévenir les risques d'inondation et garantir le bon fonctionnement de la ligne en toutes conditions climatiques.

V.2 OBJECTIF :

L'objectif principal de cette étude hydraulique est d'assurer la sécurité et la durabilité de la nouvelle ligne ferroviaire face aux aléas hydrologiques, en particulier les crues. Pour cela, il est essentiel de :

- Déterminer les débits de crues aux différents points du tracé où l'écoulement naturel pourrait être perturbé.
- Identifier les zones sensibles à l'inondation ou à l'accumulation d'eau.
- Dimensionner les ouvrages hydrauliques (dalots, buses, ponts hydrauliques) en fonction des débits calculés.
- Garantir un drainage efficace pour préserver la stabilité de la plateforme ferroviaire.
- Prévenir les risques d'érosion ou de dégradation des infrastructures liées à une mauvaise gestion des eaux.

V.3 ETUDE HYDROLOGIQUE :

L'objectif de l'étude hydrologique est d'estimer le débit de pointe correspondant à des périodes de retour de 10, 50 et 100 ans.

Pour atteindre cet objectif, la démarche suivante a été mise en œuvre :

- Collecte des données : récupération des informations issues des stations pluviométriques ainsi que des cartes d'état-major.
- Caractérisation des bassins hydrographiques situés dans la zone d'étude.
- Analyse des données hydrométéorologiques disponibles, issues des stations pluviométriques et hydrométriques situées dans le bassin versant concerné ou dans des bassins voisins.
- Délimitation du bassin versant, réalisée à partir de supports topographiques fournis par l'INCT .
- Estimation des débits de pointe Q(T) pour différentes périodes de retour, en utilisant plusieurs méthodes de calcul.

La section ferroviaire comprise entre les PK 19+675 et 35+800 traverse plusieurs cours d'eau, chacun étant associé à un bassin versant également appelé impluvium. Pour évaluer correctement les volumes d'écoulement, il est nécessaire de connaître les caractéristiques dimensionnelles de ces bassins.

La délimitation des bassins versants s'effectue à partir de cartes topographiques à l'échelle 1/25 000.

Un bassin versant désigne l'ensemble de la surface géographique qui capte et dirige les eaux de ruissellement vers un cours d'eau principal et ses affluents, en amont d'un point donné. Il est limité en périphérie par la ligne de partage des eaux, repérable sur la carte par les lignes de crête, tandis que l'axe du cours d'eau constitue généralement la limite aval du bassin.

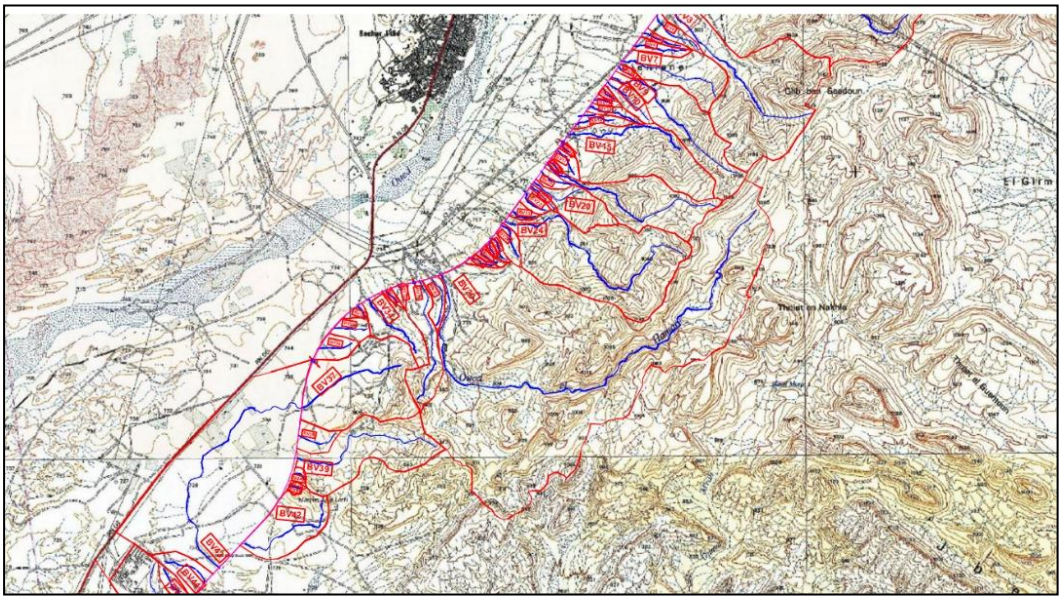


Figure V-1: La délimitation des bassins versants dans la carte

V.3.1 Situation géographique de la zone :

Le projet de la ligne ferroviaire est situé dans la région du Sud-Ouest de l'Algérie. Cette ligne à voie unique se développe le long de la route nationale N°06, reliant la gare existante de la ville de Béchar à la région de Gara Djebilet, en assurant la liaison avec la ville de Tindouf.

La section concernée par la présente étude s'étend entre le point kilométrique **PK19+675** et **PK35+800**, soit une longueur d'environ 16 km. Cette portion traverse une zone caractérisée par un relief désertique, faiblement accidenté, et comporte plusieurs petits bassins versants tributaires du réseau hydrographique local. L'analyse hydrologique menée sur cette section vise à évaluer les débits de pointe en vue de la conception des ouvrages de franchissement (dalots, buses, ponts, etc.).

V.3.1 Bassin hydrographie de la zone d'étude :

Le projet de la voie ferrée Béchar–Gara Djebilet traverse deux bassins versants du Sahara algérien, selon la carte basée sur le découpage hydrologique de l'ANRH : le bassin n°01 (Oued Saoura) et le bassin n°02 (Iguidi Draa).

- Le bassin de l'Oued Saoura débute à Igli, au confluent des oueds Guir, Béchar et Zouzfana, issus du Haut Atlas et de l'Atlas saharien. Les eaux, issues des précipitations, s'écoulent vers l'aval, atteignant la Sebkha el Mellah via l'oued Es Souireg.

- Le bassin d'Iguidi Draa, situé dans le sud-ouest algérien, est alimenté par les eaux de ruissellement des montagnes, notamment l'Atlas saharien. Il se distingue par une grande diversité géographique, allant des zones montagneuses aux plaines désertiques.

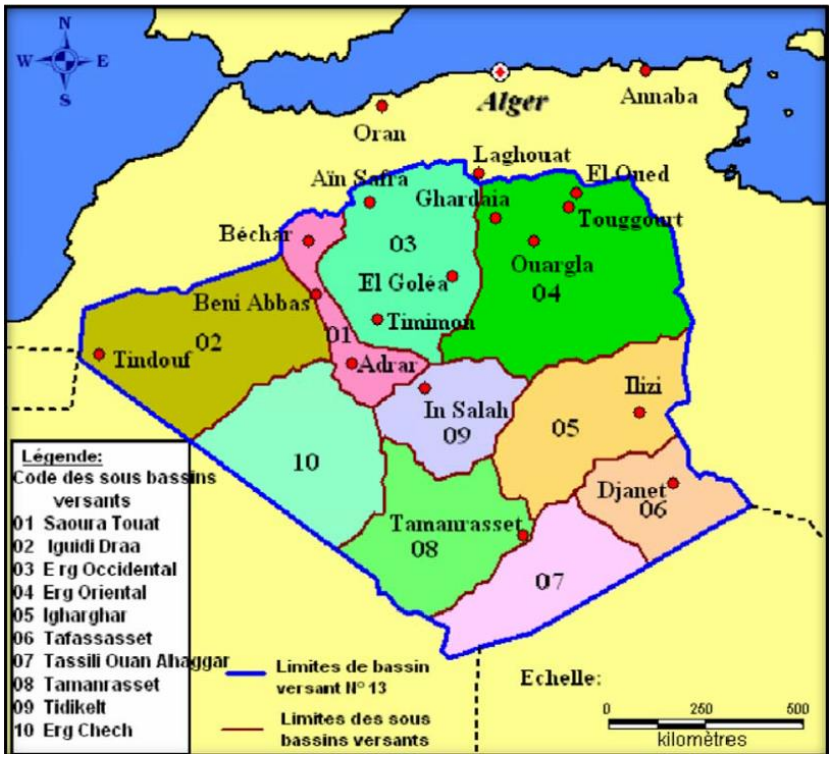


Figure V-2 : carte des sous bassins versant de Sahara algérien

V.3.2 Caractéristique morphologique des bassins versants :

Ces paramètres sont essentiels pour l'analyse morphologique d'un bassin versant, car ils permettent d'évaluer sa forme, sa structure et son comportement hydrologique. Ils fournissent des informations détaillées qui aident à comprendre l'écoulement des eaux, le risque d'inondation et la gestion des ressources en eau. Voici une présentation coordonnée de chaque paramètre et de son utilité :

1. La surface de bassin versant.
2. Périmètre (km) : Longueur totale du contour du bassin , il reflète la capacité à capter l'eau.
3. Altitude max (H_{max}) et min (H_{min}) : Indiquent les points les plus élevés et les plus bas ; elles influencent le relief et la dynamique de l'écoulement.
4. Altitude moyenne (H_{moy}) : Donne une idée générale du niveau moyen du terrain dans le bassin.

$$\text{Avec} \quad \boldsymbol{Hmoy} = \frac{\boldsymbol{Hmax+Hmin}}{\boldsymbol{2}}$$

5. Pente du talweg principal (I%) : Mesure la pente du cours d'eau principal ; plus elle est forte, plus l'eau s'écoule rapidement.

V.3.3 Caractéristique des bassins versants :

Le tableau récapitulatif ci-dessous présente l'ensemble des paramètres essentiels tels que la superficie, la longueur du cours d'eau principal, la pente moyenne, et d'autres données utiles aux calculs hydrauliques

Tableau V-1: caractéristiques des bassins versants

BV	PK	Longueur	Pente	Surface	Hmax	Hmin	Hmoy
BV1	19+700	5.52	0.07	5.56	1168	785	976.5
BV2	20+025	0.34	0.03	0.07	797	787	792
BV3	20+433	3.61	0.11	3.65	1176	783	979.5
BV4	20+638	1.02	0.03	0.23	816	786	801
BV5	21+000	0.7	0.03	0.09	806	785	795.5
BV6	21+234	0.94	0.03	0.18	809	782	795.5
BV7	21+600	1.94	0.09	1.02	946	781	863.5
BV8	21+725	0.35	0.03	0.05	790	780	785
BV9	21+950	3.04	0.13	1.54	1186	779	982.5
BV10	22+050	0.99	0.04	0.27	818	779	798.5
BV11	22+191	0.29	0.03	0.04	788	778	783
BV12	22+410	0.32	0.05	0.06	792	777	784.5
BV13	22+600	0.95	0.04	0.14	812	771	791.5
BV14	22+783	0.68	0.05	0.16	802	770	786
BV15	22+954	2.27	0.17	2.15	1146	769	957.5
BV16	23+175	0.19	0.05	0.03	777	768	772.5
BV17	23+411	0.54	0.04	0.15	796	772	784
BV18	23+538	0.27	0.04	0.02	784	773	778.5
BV19	23+775	3.54	0.04	1.5	784	773	778.5
BV20	23+850	0.6	0.11	0.13	1178	773	975.5
BV21	24+000	1	0.04	0.6	796	772	784
BV22	24+225	0.59	0.24	0.06	1012	772	892
BV23	24+300	0.56	0.03	0.13	790	773	781.5
BV24	24+458	0.44	0.03	0.09	790	773	781.5
BV25	24+850	4.63	0.04	3.59	786	770	778

BV	PK	Longueur	Pente	Surface	Hmax	Hmin	Hmoy
BV26	25+075	0.68	0.09	0.18	1170	758	964
BV27	25+166	0.45	0.05	0.07	796	762	779
BV28	25+420	0.24	0.05	0.04	788	765	776.5
BV29	25+520	0.38	0.07	0.07	786	769	777.5
BV30	25+741	0.43	0.06	0.06	792	771	781.5
BV31	25+956	9.58	0.04	15.37	790	766	778
BV32	26+350	0.95	0.02	0.21	1178	755	966.5
BV33	26+682	2.3	0.06	0.8	771	754	762.5
BV34	26+936	0.33	0.04	0.07	898	754	826
BV35	27+291	0.3	0.03	0.04	764	752	758
BV36	27+538	1.37	0.06	0.66	765	756	760.5
BV37	27+875	0.25	0.08	0.06	819	741	780
BV38	28+100	0.65	0.03	0.21	760	741	750.5
BV39	28+733	0.61	0.03	0.24	763	742	752.5
BV40	29+100	1.99	0.08	2.42	759	742	750.5
BV41	30+200	0.77	0.05	0.29	890	732	811
BV42	30+675	2.94	0.06	1.87	776	734	755
BV43	31+275	0.23	0.29	0.06	900	736	818
BV44	31+388	0.24	0.28	0.04	810	744	777
BV45	31+613	1.97	0.05	1.11	812	746	779
BV46	32+825	6.66	0.03	12.04	811	721	766
BV47	33+480	0.89	0.02	0.38	900	716	808
BV48	33+816	0.78	0.02	0.2	732	717	724.5
BV49	34+360	1.61	0.01	1.22	731	717	724
BV50	35+153	1.34	0.02	0.63	737	713	725

V.3.4 Caractéristiques climatiques et pluviométriques :

V.3.4.1 La température :

Le climat de la wilaya de Béchar est de type désertique continental, caractérisé par des étés très chauds et des hivers froids.

Tableau V-2:Les températures mensuelles de la période entre (1992– 2020)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	0	N	D
T_{min}	3	6	10	14	19	24	28	27	22	16	9	5
T_{moy}	10	12.3	16.4	20.6	25.2	30.2	34.2	33.2	28.2	22.1	15.2	11
T_{max}	17	19	23	27	32	37	41	40	34	28	21	17

V.3.4.2 Les Précipitation :

Les données relatives aux précipitations dans la région d'étude ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources en Eau (ANRH) ainsi que de l'Office National de la Météorologie (ONM).

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

Tableau V-3:Pluies journalières maximales fréquentielles

T	Fréquence	P jmax
5	0.8	38.3
10	0.9	50.1
20	0.95	61.4
50	0 .98	76
100	0.99	86.9

V.3.5 le Temps de concentration « T_c » :

Le temps de concentration du bassin versant (tc) correspond au temps nécessaire à l'eau pour s'écouler depuis le point le plus éloigné du bassin jusqu'à son exutoire. Ce temps de concentration peut être déterminé par plusieurs méthodes selon la taille et le type de bassin versant étudié :

A. Formule de Kirpich :

Pour une superficie comprise entre 0.004 et 0.81Km²

$$\mathbf{Tc} = \frac{(\mathbf{0.000325} \times \mathbf{L}^{0.77}}{\mathbf{I}^{0.385}}$$

- Tc : Temps de concentration en heure,
- I : pente du bassin versant en m/m,
- L : Longueur du cours d'eau principal en (m).

B. Formule de VENTURA :

Pour une superficie inférieure à 5 km²

$$\mathbf{Tc} = \frac{\mathbf{0.1272} \times \sqrt{\mathbf{A}}}{\mathbf{I}}$$

• Tc : Temps de concentration (heures)
• A : Superficie du bassin versant (km²)
• I : Pente moyenne du thalweg principal (m/m)

C. Formule de PASSINI :

Pour une superficie comprise entre 5 et 25 Km²

$$\mathbf{Tc} = \mathbf{0.108} \times \frac{\sqrt{\mathbf{A}} \times \mathbf{L}}{\sqrt{\mathbf{I}}}$$

- Tc : Temps de concentration (heures).
- A : Superficie du bassin versant (km²).
- L : Longueur du thalweg (km).
- I : Pente moyenne du thalweg principal (m/m)

Le tableau ci-dessous présente les résultats des calculs des temps de concentration (Tc) pour les différents bassins versants, calculés selon deux méthodes distinctes en fonction de la superficie de chaque bassin.

Tableau V-4: Le Temps de concentration calculé en 2 méthodes

BV	PK	Longueur	Pente	Surface	Tc(venture)	Tc(Passini)	Tc retenue
BV1	19+700	5.52	0.07	5.56	1.1318584	1.3	1.3
BV2	20+025	0.34	0.03	0.07	0.1939957	0.34061326	0.19
BV3	20+433	3.61	0.11	3.65	0.7315665	0.50971767	0.73
BV4	20+638	1.02	0.03	0.23	0.35164708	0.49875438	0.35
BV5	21+000	0.7	0.03	0.09	0.21997045	0.40061034	0.22
BV6	21+234	0.94	0.03	0.18	0.3110852	0.47231541	0.31
BV7	21+600	1.94	0.09	1.02	0.42754571	0.41083908	0.43
BV8	21+725	0.35	0.03	0.05	0.16395629	0.32359743	0.16
BV9	21+950	3.04	0.13	1.54	0.43711167	0.39459665	0.44
BV10	22+050	0.99	0.04	0.27	0.32995568	0.44143068	0.33
BV11	22+191	0.29	0.03	0.04	0.14664697	0.30216331	0.15
BV12	22+410	0.32	0.05	0.06	0.13912153	0.25456062	0.14
BV13	22+600	0.95	0.04	0.14	0.23759524	0.39295061	0.24
BV14	22+783	0.68	0.05	0.16	0.22718451	0.33989583	0.23
BV15	22+954	2.27	0.17	2.15	0.45164633	0.34746597	0.45
BV16	23+175	0.19	0.05	0.03	0.09837378	0.20791548	0.10
BV17	23+411	0.54	0.04	0.15	0.24593444	0.36177914	0.25
BV18	23+538	0.27	0.04	0.02	0.08980256	0.23037127	0.09
BV19	23+775	3.54	0.04	1.5	0.77771299	0.72646012	0.78
BV20	23+850	0.6	0.11	0.13	0.13806356	0.21679309	0.14
BV21	24+000	1	0.04	0.6	0.49186888	0.50511225	0.49
BV22	24+225	0.59	0.24	0.06	0.0635	0.12866318	0.06
BV23	24+300	0.56	0.03	0.13	0.26437158	0.41038104	0.26
BV24	24+458	0.44	0.03	0.09	0.21997045	0.37077854	0.22
BV25	24+850	4.63	0.04	3.59	1.20315325	0.8786352	1.20

BV	PK	Longueur	Pente	Surface(km²)	Tc(Venture)	Tc(Passini)	Tc retenue
BV26	25+075	0.68	0.09	0.18	0.17960512	0.25836578	0.18
BV27	25+166	0.45	0.05	0.07	0.15026843	0.27645606	0.15
BV28	25+420	0.24	0.05	0.04	0.11359225	0.22678773	0.11
BV29	25+520	0.38	0.07	0.07	0.127	0.22715586	0.13
BV30	25+741	0.43	0.06	0.06	0.11757915	0.24411081	0.12
BV31	25+956	9.58	0.04	15.37	2.48949156	3.7	3.70
BV32	26+350	0.95	0.02	0.21	0.41152703	0.59456796	0.41
BV33	26+682	2.3	0.06	0.8	0.46373843	0.49711099	0.46
BV34	26+936	0.33	0.04	0.07	0.13717568	0.29351571	0.14
BV35	27+291	0.3	0.03	0.04	0.127	0.30387544	0.13
BV36	27+538	1.37	0.06	0.66	0.5956828	0.44159872	0.60
BV37	27+875	0.25	0.08	0.06	0.127	0.19313585	0.13
BV38	28+100	0.65	0.03	0.21	0.33601042	0.45570889	0.34
BV39	28+733	0.61	0.03	0.24	0.35921024	0.46105801	0.36
BV40	29+100	1.99	0.08	2.42	0.6985	0.50538898	0.70
BV41	30+200	0.77	0.05	0.29	0.3058565	0.38316792	0.31
BV42	30+675	2.94	0.06	1.87	0.70900435	0.59659812	0.71
BV43	31+275	0.23	0.29	0.06	0.05776707	0.10003997	0.06
BV44	31+388	0.24	0.28	0.04	0.04800149	0.09583531	0.05
BV45	31+613	1.97	0.05	1.11	0.59838432	0.56045302	0.60
BV46	32+825	6.66	0.03	12.04	2.54422981	1.31880983	2.54
BV47	33+480	0.89	0.02	0.38	0.55358017	0.64924202	0.65
BV48	33+816	0.78	0.02	0.2	0.40160926	0.57068762	0.40
BV49	34+360	1.61	0.01	1.22	1.40276085	1.23099693	1.40
BV50	35+153	1.34	0.02	0.63	0.71278573	0.75616849	0.71

V.3.6 Calcul débit des bassins versant :

L'estimation des débits de projet reste un problème difficile et ne ressort pas d'une science exacte. Un grand nombre de méthodes sont valables et ne donnent qu'une estimation relative de la grandeur de la crue.

Le choix des formules empiriques est fait en fonction de la superficie de chaque bassin versant :

A. La méthode rationnelle :

Applicable aux bassins versants dont la superficie est inférieure à 1 km², la méthode rationnelle s'exprime par l'équation suivante :

$$Q_{max} = 0.278 \times C_r \times I(t_c, T) \times S$$

- Q_{max} : débit de pointe de crue (m³/s).
- S: aire du bassin versant de la section étudiée (km²).
  Tel que :

• $\boldsymbol{I(t_c, T)}$: **l'intensité de pluie qui se calcule par la formule suivante :**

$$I(T_C, T) = \frac{P(T_C, T)}{Tc}$$

Et P(tc,T) : Pluie correspondant au temps de concentration (m) est déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$P(T_C, T) = Pjmax(\frac{Tc^b}{24})$$

- Pjmax : Pluie journalière de fréquence donnée (mm).
- b : Exposant climatique pour la station de Bechar b=0.18

• $\boldsymbol{C_r}$ **: coefficient de ruissellement** : Le coefficient de ruissellement C signifie le pourcentage des eaux écoulées sur la terre saturée de pluies par rapport à la quantité totale des eaux courantes, il dépend de :

- La nature du sol.
- L'état de végétalisation sur la terre écoulée.
- Dépendant de la pente du bassin versant. Il est estimé par la méthode préconisée de KENESSEY qui est la somme de trois (03) coefficients partiels :

Tableau V-5: Coeffecient C1 dépend de la pente du bassin versant

Pente	C1		
0 – 3,5 %	0.01	0.03	0.05
3,5 – 11 %	0.06	0.08	0.1
11 – 35 %	0.12	0.16	0.2
> 35 %	0.22	0.26	0.3

Tableau V-6: Coeffecient C2 dépend de de la nature du sol

Nature du sol	C2		
Imperméable	0.22	0.26	0.3
Peu perméable	0.1	0.15	0.2
Perméable	0.06	0.08	0.1
Très perméable	0.03	0.04	0.05

Tableau V-7: Coefficient de couverture végétale du bassin versant

Couverture végétale	C3		
Rocheux	0.22	0.26	0.3
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

Selon notre zone d'étude et sur la base des résultats des essais présentés dans le chapitre de géotechnique, nous obtenons une valeur du coefficient de ruissellement :

$C_r = 0.05 + 0.3 + 0.3 = 0.65.$

B. La méthode de Crupedix :

Cette méthode est applicable aux bassins versants dont la superficie est supérieure à 50 km²

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

- Q10 : débit décennal en m3/s
- R : Coefficient régional traduisant l'aptitude au ruissellement que l'on prendra ici égal à 1
- P10 : pluie journalière de période de retour décennale, en mm.
- C : coefficient de ruissellement du bassin.

➢ **Évaluation du débit de période de retour selon la loi de Gumbel :**

L'évaluation du débit correspondant à une période de retour T, comprise entre 10 et 100 ans, s'effectue à l'aide de la formule suivante, les valeurs observées suivant une distribution conforme à la loi de Gumbel :

$$Q_t = Q_{10} + \Delta Q(\frac{y}{2.3} - 1)$$

- QT : Débit de période de retour T (en m³/s).
- Q_{10} : Débit décennal (T = 10 ans), déterminé par la formule rationnelle.
- ΔQ : Différence entre les débits centennal et décennal :

$$\Delta Q = Q_{100} - Q_{10}$$

- y : Variable réduite de Gumbel associée à la période de retour T.

Tableau V-8: Tableau des variables réduites de Gumbel

T (années)	F	u
2	0,50	0,367
5	0,80	1,500
10	0,90	2,250
20	0,95	2,970
25	0,96	3,199
50	0,98	3,902
100	0,99	4,600

C. Formule de Transition :

Pour les bassins versants d'une superficie comprise entre 1 km² et 50 km² Le débit fourni par la formule de transition s'écrit **:**

$$\mathbf{Q_t = \alpha \times Q(RT) + \beta \times Q(Ct)}$$

Avec :

- QT : Débit de projet de période de retour T ;
- Q(RT) : Débit fourni par la méthode Rationnelle,
- Q(CT) : Débit fourni par la méthode Crupédix, période de retour T ;
- α, β : Coefficients de pondération

α : Varie linéairement de 1 à 0 en fonction de la superficie S et β = 1 - α Tel que :

- α = (10-S) /9. Si 1 km2< S < 10 k m2
- α = (50-S) /40. Si 10 km2< S < 50 km2

V.4 CALCULE HYDRAULIQUE :

La ligne ferroviaire franchit plusieurs talwegs qui seront rétablis à l'aide d'ouvrages hydrauliques. Ces ouvrages sont conçus et dimensionnés de manière à perturber le moins possible les écoulements naturels, tout en garantissant la sécurité de l'infrastructure et des voyageurs.
Une attention particulière est portée au dimensionnement des buses et des dalots afin d'assurer leur capacité à évacuer les débits de crue sans engendrer d'érosion, de surverse ni de dégradation de l'assise ferroviaire.

V.4.1 Dimensionnement des ouvrages transversaux :

Le débit de saturation (ou débit capable) d'un ouvrage hydraulique est calculé en supposant un écoulement uniforme, selon la formule de Manning-Strickler :

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

Avec **:**

- Ks : Coefficient de rugosité des parois du canal.
- Ks = 70 selon SETRA Pour le béton.

Tableau V-9: Valeur de KS selon SETRA

Nature de la surface	Valeur de Ks
Terre	30
Buses métalliques	40
Maçonneries	50
Bétons (dalots)	70
Bétons (buses préfabriquées)	80

- Sm : Section mouillée (m²).
- Rh : Rayon hydraulique (m), défini par : Rh = S_m / P_m.
- Pm : Périmètre mouillé (m).
- I : Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).

V.4.1.1 Dimensionnement des buses :

La formule de Manning-Strickler en régime de saturation est utilisée pour le dimensionnement hydraulique des ouvertures circulaires (buses), sachant que

Qs= 0.75Qmax

Avec :

Si D < 1m : **Sm = (π D² / 4) × 0,8**

Si D > 1m : Sm = (π D² / 4) × 0,5

Rayon hydraulique :

Rh = D / 4

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

- **La vérification des conditions d'auto-curage :**

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

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

Q= 0.1Qps V > 0.6 m/s.

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

Q= 0.01Qp V > 0.3 m/s.

- **Application numérique :**

On prend un exemple du BV N°21 du PK23+850 avec un Qmax(100) = 5.84m3/s :

Avec Ks= 70 et I=0.01m/m

$\boldsymbol{D} = 4^{\frac{5}{8}}\left(\frac{5.84}{70*\pi\sqrt{I}}\right)$=2.228m

On prend 2 buses de diamètre commercial de 1500 mm

Qps = Ks × Sm × Rh^(2/3) × I^(1/2)

Qps=12.91>5.84m3/s

1. La condition *: Qs> Q100 est* vérifiée

Vps=$\frac{Qps}{Sm} = \frac{12.91}{7.065} = 1.827m/s$

Pour $\frac{Q}{Qps}$*=0.1* on a $\frac{V}{Vps}$=0.638 donc V=0.638× 1.827m=1.165<4 m/s

Pour $\frac{Q}{Qps}$*=0.01* on a $\frac{V}{Vps}$=0.32 donc V=0.32× 1.827m=0.585<4 m/s

- Les conditions d'auto-curage sont vérifiées

V.4.1.2 Dimensionnement des dalots :

Le dalot est un ouvrage hydraulique semi-enterré, généralement en béton ou en maçonnerie, implanté sous les remblais ferroviaires afin d'assurer le libre écoulement des eaux. Il s'agit d'un petit aqueduc ou canal couvert conçu pour traverser la plateforme ferroviaire sans compromettre la stabilité de la voie.

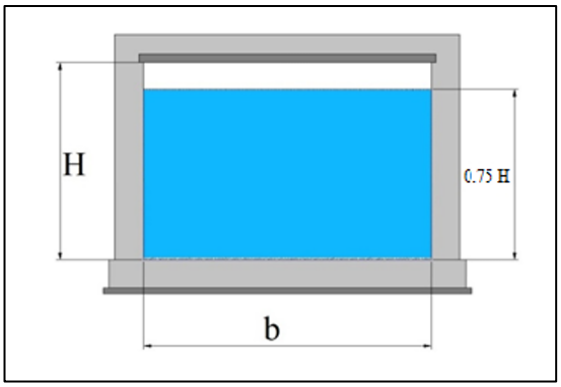


Figure V-3: Schéma d'un dalot

Notre dalot représente les caractéristiques suivantes :

- B : largeur nette du cadre (m).
- H : hauteur nette (m).
- Hr : 0.75H : hauteur de remplissage (m).
- Rh = Rayon hydraulique. Rh : Rh = Sm / Pm.
- Surface mouillés : Sm(m²) = 0.75× H×B .
- Périmètre mouillé Pm : Pm = 2 × (0,75 × H + B).

On utilisant la formule de Manning –Strickler :

D'où : $S_m = 0{,}75 \times H \times B$, $R_h = \frac{(0{,}75 \times H \times B)}{(1{,}5B+H)}$

$Q_{max} = K_s \times S_m \times R_h\text{^}(2/3) \times I\text{^}(0{,}5)$

$Q_{max} = 70 \times (0{,}75 \times H \times B) \times \frac{(0{,}75 \times H \times B)}{(1{,}5B+H)}\text{^}(2/3) \times I\text{^}0.5$

Après calcul itératif, on tire : $Hi_{+1} = \frac{Qmax}{Ks \times \sqrt{i} \times B}^{3/5} \times \frac{(1.5H+B)^{\frac{2}{5}}}{0.75B}$

Le critère d'arrêt : $|Hi_{+1} - Hi| < 10^{-3}$

- **Application numérique :**

Dans notre Tronçon étudié On a un seul dalot qui correspond à l'écoulement au PK23+775 Avec un débit de Q100=16.34m³/s

Pour ce dalot, on suppose la hauteur totale du dalot et la base B, on pose préalablement que B=3m et par la méthode des itérations on cherche la hauteur de remplissage h qui satisfait l'égalité entre le débit calculé par la formule de MANNING-STRICKLER et le débit de transit :

On prend : Ks = 70 ; B = 3 m ; I =0.01(la pente des ouvrages doit être limitée (Pente minimale I = 1 %) pour éviter des vitesses trop élevées.)

Après le calcul itératif de l'équation précédente on obtient : H = 1.689 m on prend H = 2.00 m

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

Alors : Sm = 0,75 ×3× 2 × 3 =13.5 m² ; Pm = 27 m ; Rh = 0.5 m.

Calcul débit de transition avec la formule de MANNING STRICKLER :

Qs = 70 × 13.5 × (0.5) ^ (2/3) × 0.01^0.5 = 59.53 m³/s > Q100=16,34m³/s vérifié

Vérification d'auto-curage :

1. Vps = $\frac{Qs}{Sm}$ =3.46 m/s < 4m /s
2. Pour $\frac{Q}{Qps}$ = 0.1 on a: $\frac{V}{Vps}$ = 0.638 => V= 0.638 × 3.46= 2.207 m/s > 0.6 m/s
3. Pour $\frac{Q}{Qps}$ = 0.01 on a: $\frac{V}{Vps}$ = 0.32 => V= 0.32 × 3.46 = 1.107 m/s > 0.3 m/s

Les conditions d'auto-curage sont vérifiées.

- Voici le tableau récapitulatif des résultats des calculs hydrauliques réalisés pour les bassins versants traversés, des ouvrages de drainage transversal projetés (buses, dalots,), ainsi que des vérifications d'auto-curage effectuées afin d'assurer leur capacité à évacuer les débits de crue calculés en toute sécurité :

Tableau V-10: Tableau des résultats des calculs hydraliques et des ouvrages de drainage transversal projetés

V.4.2 Ouvrages d'assainissement longitudinaux :

V.4.2.1 Dimensionnement des fossés :

Le drainage longitudinal a pour fonction d'assurer la collecte et l'évacuation des eaux de ruissellement atteignant la plateforme ferroviaire, qu'elles proviennent des talus de remblai ou de déblai, ou des zones adjacentes au tracé. Ce système de drainage est constitué de fossés et de caniveaux qui assurent le convoiement des eaux vers les ouvrages hydrauliques transversaux (dalots, buses, ponceaux) ou leur rejet direct dans les exutoires existants.

La délimitation des surfaces à drainer a été effectuée à partir de l'analyse des profils en travers types, combinée à l'étude des caractéristiques topographiques du terrain naturel traversé par le projet. Cette démarche permet de définir précisément les zones de collecte influant sur le dimensionnement des ouvrages longitudinaux.

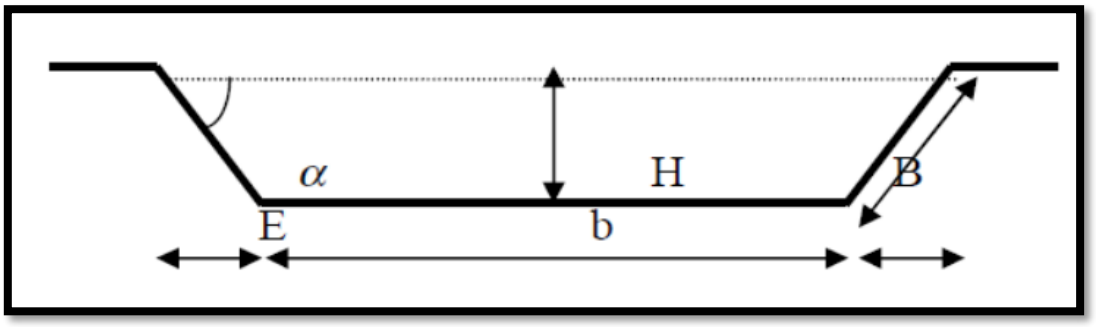


Figure V-4 Fossé de forme trapézoïdale.

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

$$\boldsymbol{Q}\text{s} = \boldsymbol{Ks} \times \boldsymbol{Sm} \times \boldsymbol{Rh}^{2/3} \times \text{I}^{1/2}$$

Avec :

- La surface mouillée :Sm = (b + z × h) × h
- Le périmètre mouillé :Pm = b + 2h. $\sqrt{1 + z^2}$
- Le rayon hydraulique : $Rh = Sm/\text{Pm}$
- I pente longitudinale de fossé (m/m).
- égale à 0.002 au minimum.
- z :la pente des berges.

✓ Pour la conception des fossés longitudinaux, les hypothèses suivantes ont été retenues :

- Les fossés en béton, qu'ils soient préfabriqués ou réalisés in situ, sont caractérisés par un coefficient de rugosité de Strickler Ks = 70.
- Les débits à évacuer sont dimensionnés selon le scénario hydraulique le plus défavorable, correspondant à un tronçon en remblai ou en déblai de grande longueur et de forte hauteur.
- Le débit total à prendre en compte (Qa) est la somme des contributions suivantes :

Qa = Qpf + Qb + Qt, où :
- Qpf : débit provenant de la plate-forme,
- Qb : débit provenant des bermes,
- Qt : débit provenant des talus.

- Chaque débit partiel est évalué à l'aide de la formule rationnelle :
- $Q_{10} = 0{,}278 \times C \times I \times A$

Avec :

- Q_{10} : débit décennal (en m^3/s),
- C : coefficient de ruissellement (sans unité),
- I : intensité de pluie (en mm/h),
- A : surface du bassin versant considéré (en km^2), incluant la plate-forme, les bermes et les talus.

✓ Remarque : le dimensionnement des fossés est réalisé pour une période de retour de 10 ans.

La plateforme est aménagée en forme de toit, avec une largeur de 6,8 m du côté droit et de 1,2 m du côté gauche, prévue pour un futur dédoublement.

V.4.2.1.1 Application sur notre projet :

Tableau V-11: Calcul des débits à évacuer dans le cas déblai

		le cas le défavorable : Longueur=4116 m H max =6.17 m Berme=2m Largeur de la plateforme=6.8
Plateforme	**Cr**	0.7
	P(m/m)	0.04
	A(Km^2)	0.030029
	Tc(h)	0.55
	P10(m)	25.39
	I(mm/h)	46.16
	Qpf(m3/s)	0.27
Talus	**Cr**	0.4
	P(m/m)	0.67
	A(Km^2)	0.0164688
	Tc(h)	0.024
	P10	14.45
	I(mm/h)	602.04
	QT(m3/s)	1.1
Berme	**Cr**	0.4
	P(m/m)	0.04
	A(Km^2)	0.00883

	Tc(h)	0.299
	P10	16.03
	I(mm/h)	76.09
	QB(m3/s)	0.07
Qa(m3/s) total		**Qpf+QB+QT=1.44**

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 .

Voici le tableau récapitulatif des dimensions adoptées pour les fossés dans la zone d'étude :

Tableau V-12: dimensionnement du fossé proposé

b	B	h	z	Sm (m^2)	Pm (m)	Rh (m)	Ks	I (m/m)	Qps (m3/s)
0.5	2	0.5	3/2	0.625	2.08	0.3	70	0.02	2.77

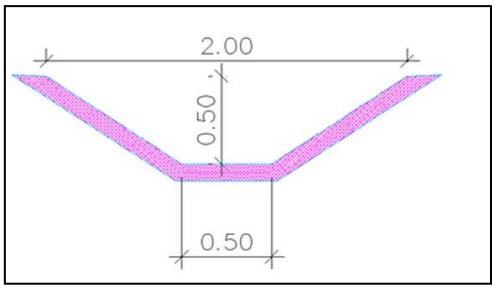


Figure V-5:notre fossé adoptés

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

- **Qs > Qa** ⟹ 2.77 > 2.07 (cas de déblai)

✓ En conclusion, les types des fossés adoptés pour notre projet de forme trapézoïdal (b=0.5 m, h=0.5 m, pente=3/2).

Conclusion :

La pérennité des ouvrages linéaires, tels qu'une ligne ferroviaire, n'est assurée que par une étude hydrologique et hydraulique rigoureuse. En effet, l'importance des travaux de drainage longitudinal et transversal à réaliser tout au long du tracé témoigne du rôle fondamental de ce volet dans la réussite du projet.

ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

VI. CHAPITRE VI : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE.

VI.1 INTRODUCTION :

L'étude géotechnique et géologique est essentielle pour évaluer les caractéristiques du sol, de la roche et des formations géologiques qui seront rencontrées durant la construction et l'exploitation. Elle constitue une étape clé dans la planification du projet, car elle permet d'identifier les propriétés mécaniques et hydrauliques du terrain, influençant ainsi tous les choix de conception et de construction.

Cette démarche implique des investigations sur le terrain, des essais en laboratoire et une analyse approfondie des données recueillies afin de caractériser précisément les matériaux géotechniques. Ces études permettent d'évaluer la capacité portante du sol, sa perméabilité, sa résistance à l'érosion ainsi que d'autres paramètres essentiels à la conception des fondations, des remblais, des talus et des autres structures associées au projet ferroviaire.

Dans le cadre de la nouvelle ligne ferroviaire entre Bechar et Gara Djebilet, cette analyse est primordiale pour garantir la stabilité, la durabilité et la sécurité des infrastructures. Une connaissance approfondie des formations géologiques rencontrées permet d'anticiper les défis liés aux conditions du sol et de proposer des solutions adaptées.

Ainsi, cette étude représente un élément fondamental du processus de conception et de réalisation du projet, assurant sa pérennité et son bon fonctionnement sur le long terme.

VI.2 ÉTUDE GÉOLOGIQUE :

VI.2.1 Aperçu géologique régional :

La série paléozoïque du bassin est localement recouverte par des formations tertiaires appartenant à la Hamada du Draâ. Ces dernières sont constituées de grès et de calcaires sableux, surmontant parfois des couches plus anciennes affectées par des structures plissées ou faillées. La présence ponctuelle de sills doléritiques dans les couches mésozoïques témoigne d'une activité magmatique ancienne.

Les sondages réalisés dans cette zone confirment globalement la présence de sables graveleux, de calcaires consolidés, ainsi qu'une variabilité latérale importante des lithologies, typique des milieux fluviatiles anciens.

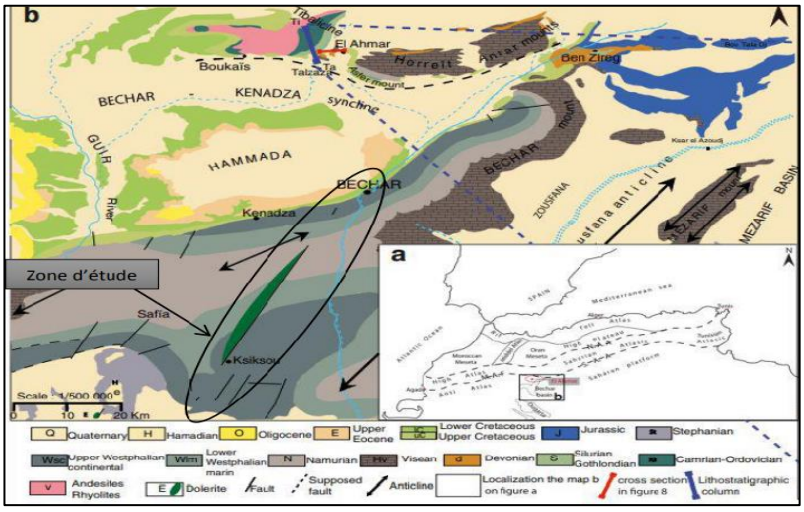


Figure VI-1:Aperçu géologique régional.

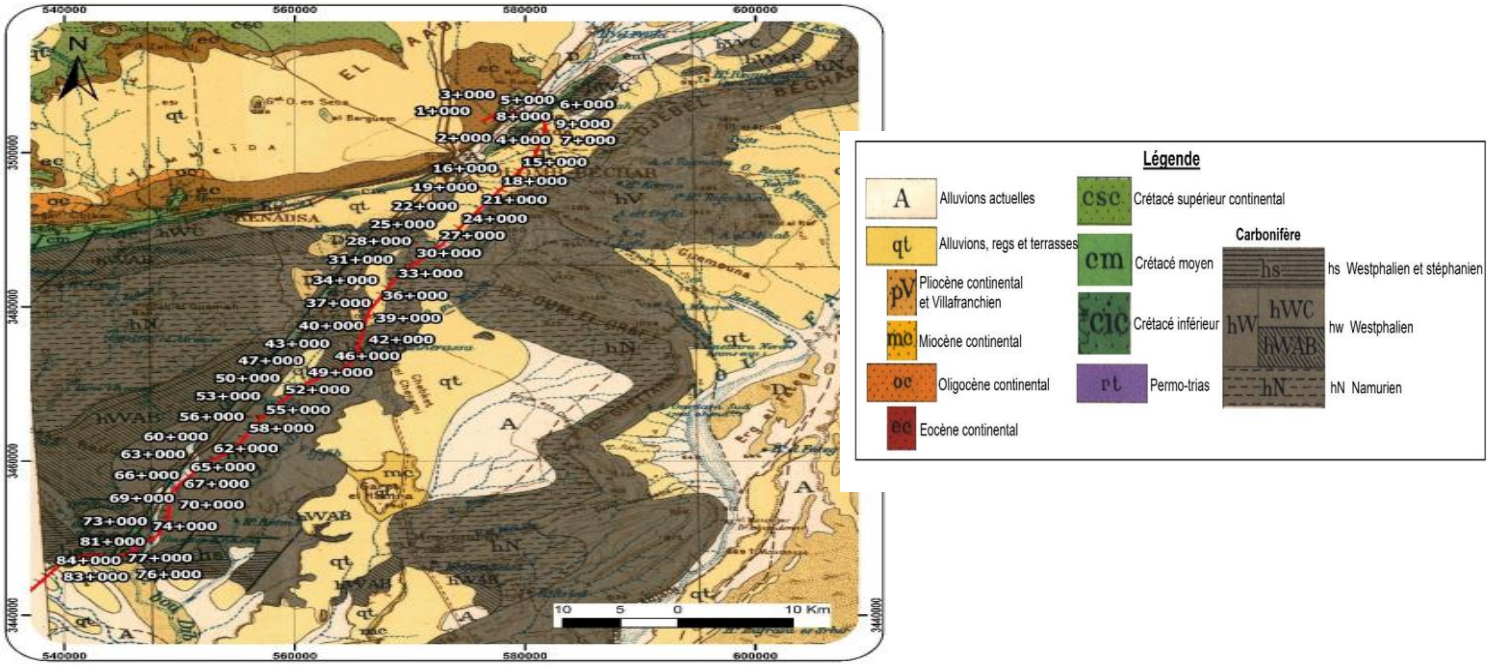


Figure VI-2 : Tracé projeté Du Pk 0 au Pk 84 environ sur carte géologique d'Algérie 1/500 000

VI.2.2 Aperçu géologique local

Selon la carte géologique d'Algérie 1/500 000 et la carte géologique du Nord-Ouest de l'Afrique 1/5 000 000 , le tracé traverse :

- Du Pk 19+675 au Pk 25+250 (qt) : Terrasses alluviales des oueds, caractérisées par des niveaux métriques de conglomérats, des argiles rougeâtres sableuses, alluvions, calcaires lacustre et des limons sableux ;
- Du Pk 25+250 au Pk 32+350 (hN) : Alternance de calcaire, de marne schisteuse et quelques niveaux de grès et des assises calcaréo-dolomitiques ;
- Du Pk 32+350 au Pk 35+800 (qt) : Terrasses alluviales des oueds, caractérisées par des niveaux métriques de conglomérats, des argiles rougeâtres sableuses, alluvions, calcaires lacustre et des limosableux sableux.

VI.2.3 Cadre géologique:

VI.2.3.1 Le relief :

La région de Béchar, située aux portes du Sahara, se caractérise par un relief varié composé de trois types de morphologies distinctes :

- L'ensemble montagneux accidenté :

Les Djebels, dont :

Le Djebel Antar (1 953 m).

Le Djebel Grouz (1 835 m).

Le Djebel Béchar (1 206 m).

- L'ensemble tabulaire :

Un plateau désertique appelé « Hamada ».

- L'ensemble en cuvette : des dépressions.

➢ Voici une répartition indique qu'une grande partie de la zone d'étude est située a une altitude de 750 a 850 mètres :

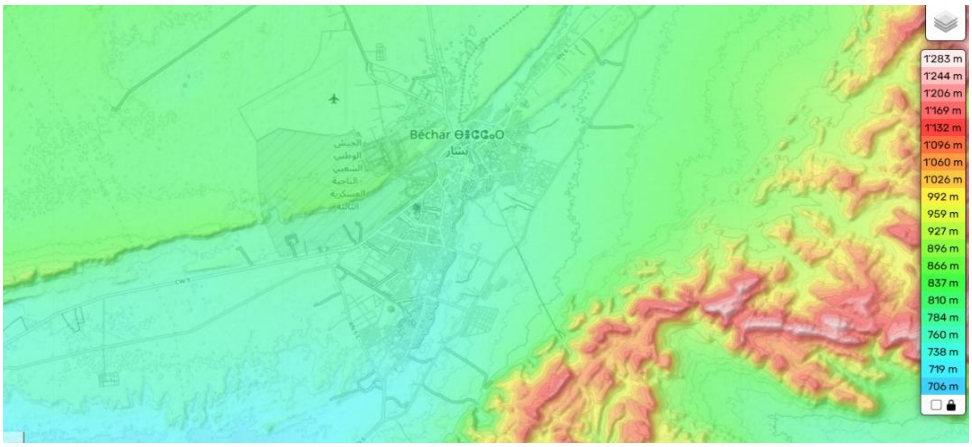


Figure VI-3: carte hypsométrique de la région de Bechar (source : OpenstreetMap)

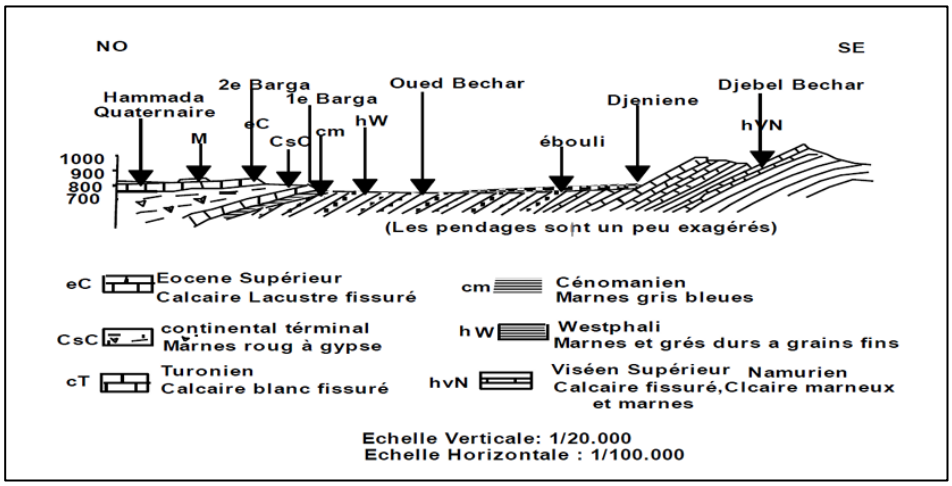
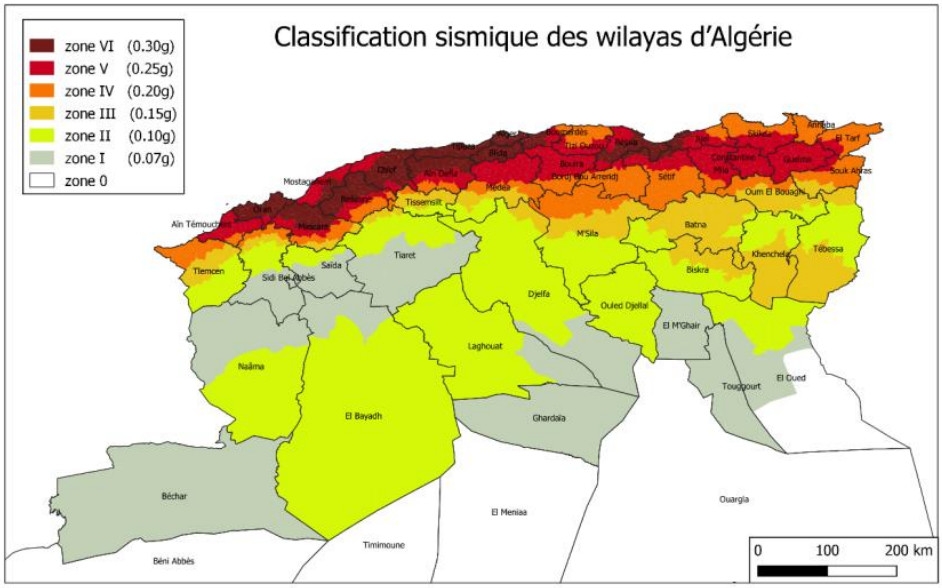


Figure VI-4:coupe géologique de la commune de Béchar

VI.2.3.2 Sismicité :

D'après la carte de zonage sismique mise à jour en 2024 par les Règles Parasismiques Algériennes (RPA 2024), la wilaya de Béchar est classée dans une zone de faible activité sismique. Ce classement reflète un risque sismique faible, nécessitant néanmoins le respect des normes de construction parasismique afin de garantir la sécurité des infrastructures et des populations.



Sismicité	Zone
Très faible	0
Faible	I
Faible à moyenne	II
Moyenne	III
Moyenne à élevée	IV
Elevée	V & VI

Figure VI-5:carte de zonage sismique de l'Algérie

VI.3 CONTRAINTES NATURELLES ET RISQUES ENVIRONNEMENTAUX :

L'analyse du tronçon situé entre le PK 19+000 et le PK 35+800 montre qu'il n'est exposé à aucun risque naturel majeur. Aucun risque hydrologique n'a été identifié, notamment en ce qui concerne les inondations. Contrairement à d'autres sections du projet, comme la traversée de l'oued Djefdjef entre le PK 6+900 et le PK 7+200, classée en zone inondable, ce tronçon ne traverse aucune zone sujette aux crues, selon les études hydrauliques disponibles.

En ce qui concerne l'ensablement, bien qu'il n'y ait pas de phénomène généralisé, quelques accumulations localisées de sable ont été observées, notamment dans les plateaux (Hamada), les dayas, les lits d'oueds et les zones à végétation clairsemée. Ces dépôts restent limités et ne présentent pas de menace significative pour l'infrastructure ferroviaire.

Aucun autre aléa naturel important, tel que des mouvements de terrain, des éboulements ou des instabilités de pentes, n'a été relevé. Les conditions géologiques, topographiques et climatiques du secteur confirment donc la stabilité globale du tracé sur ce tronçon.

VI.4 ÉTUDE GEOTECHNIQUE :

Les études géotechniques jouent un rôle essentiel dans la conception des infrastructures ferroviaires. Elles incluent des investigations telles que des forages, des essais de pénétration, des essais de laboratoire et des mesures in situ. Ces investigations permettent de déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques du sol notamment la densité, la résistance, la perméabilité et la compressibilité qui sont indispensables pour concevoir une structure de voie ferrée stable, durable et adaptée aux contraintes du terrain.

VI.4.1 Programme d'investigation géotechnique :

La phase de reconnaissance géotechnique permet d'obtenir une première idée des conditions du sol sur le site d'étude. Ces informations préliminaires servent ensuite de base à l'élaboration du programme d'investigation géotechnique, qui vise à approfondir l'analyse par des méthodes plus précises et ciblées.

Grâce à cette phase d'investigation approfondie, on peut recueillir des données complètes sur les propriétés physiques et mécaniques des terrains en place. Ces données sont essentielles pour guider les choix techniques, qu'il s'agisse des procédés de construction à adopter, des matériaux les mieux adaptés, ou encore des paramètres de dimensionnement à prendre en compte. Cela permet de garantir la stabilité de l'ouvrage, sa pérennité, ainsi que sa performance globale dans le temps.

Tableau VI-1:Programme d'investigation de notre zone d'étude

Localisation		Essais In Situ	
Type	**PK**	**Essai In Situ**	**Prof. (m)**
Plateforme	PK 21+000	F-05-LM/TB	12,00
Plateforme	PK 24+ 518	PU-07LM/TB PDL-07-LM/Tb	4,00 refus
Déblai	PK 26+ 000	F-06-LM/TB	12,00
Plateforme	PK 28+ 500	PU-08-LM/TB PDL-08-LM/TB	4,00 refus
Plateforme	PK 32+ 000	PU-09-LM/TB PDL-09-LM/TB	4,00 refus

VI.4.2 Approche méthodologique d'investigation et de caractérisation géotechnique des sols :

L'étude géotechnique suit une démarche progressive :

- Reconnaissance du terrain et de son environnement. Identification des zones sensibles et des particularités du site.
- Élaboration du programme d'investigation. Définition des emplacements et profondeurs des sondages en fonction des ouvrages à réaliser.
- Réalisation des investigations sur le terrain et en laboratoire. Analyse des propriétés physiques, mécaniques et chimiques des sols.
- Analyse des résultats pour évaluer les risques géotechniques : poinçonnement, tassement, glissement, instabilité des talus.
- Classification des sols selon le GTR pour leur réutilisation et selon l'UIC pour leur classe de portance.

VI.4.3 Essais in situ :

VI.4.3.1 Les puits de reconnaissance :

Un puits de reconnaissance est un creusement vertical réalisé manuellement ou mécaniquement dans le sol dans le but d'observer directement les différentes couches géologiques en place. Il permet de prélever

des échantillons de sol ou de roche à différentes profondeurs, de repérer la présence éventuelle d'eau souterraine, et d'effectuer des mesures ou essais in situ.

Ce type d'investigation est très utile dans les études géotechniques, car il donne une vision précise de la structure du sol, de sa composition, et de ses propriétés. Il constitue ainsi un outil essentiel pour évaluer la portance du terrain, adapter les choix de fondations, et garantir la sécurité et la durabilité des ouvrages à construire.

Tableau VI-2: résultats des puis de reconnaissance

N°	Profondeur	Lithologie
PU07	00,00–00,10	Couche mince de remblais en sable
	00,10–00,70	Encroûtement conglomératique (galets enrobés dans une matrice sableuse)
PU08	00,70–00,80	Dalle conglomératique
	00,00–00,05	Couche mince de remblais en sable
	00,05–00,30	Dalle gréseux calcaire
PU09	00,00–00,10	Couche mince de remblais en sable
	00,10–00,60	Dalle en blocs d'enrochement enrobé dans une matrice sableuse



Figure VI-6:puit de reconnaissance 9 au pk 24 +500

VI.4.3.2 Sondages carottés :

Le sondage carotté est une méthode géotechnique consistant à extraire des échantillons intacts de sol à l'aide d'un carottier, prélevés tous les 15 mètres de profondeur. Ces échantillons sont ensuite analysés en observant des critères comme la couleur, la texture, la compacité, les inclusions et l'humidité, fournissant ainsi des informations sur les caractéristiques du sol pour évaluer sa stabilité et sa portance.

Tableau VI-3: Résultats des sondages carottés sur la lithologie

N°	Profondeur	Lithologie
F-05-LM-TB	00.00 – 2.00m	Terre de recouvrement
	2.00m – 6.00m	Sable fin limoneux beige jaunâtre, caillouteux avec présence de blocs de calcaire
	6.00m – 10.00m	Bloc et galet à matrice sablo limoneux beige jaunâtre
	10.00m – 12.00m	Sable fin limoneux beige jaunâtre, caillouteux avec présence de blocs de calcaire
F-06-LM-TB	00.00m – 1.00m	Dépôt sableux caillouteux
	1.00m – 5.00m	Grès consolidé à la base gris à verdâtre
	5.00m – 6.00m	Argile limoneuse jaunâtre très consolidée intercalée par des passages gréseux
	6.00m – 8.50m	Argile graveleuse avec passage gréseux marron verdâtre
	8.50m – 10.50m	Argile limoneuse très consolidée versicolore
	10.50m – 12.00m	Grès consolidé

VI.4.3.3 Essai de Standard Pénétration Test SPT :

L'essai SPT, ou essai de pénétration standard, est une méthode couramment utilisée pour déterminer la résistance à la pénétration du sol, ainsi que sa compacité et sa capacité portante. Réalisé à l'aide d'un mandrin et d'un marteau tombant d'une hauteur standard (75 à 80 cm), il consiste à mesurer le nombre de coups (N) nécessaires pour enfoncer le dispositif sur une distance de 30 cm.

Les principales étapes incluent :

1. Le forage préalable du sol à la profondeur souhaitée.

2. Le positionnement de l'équipement sur le forage.

3. La pénétration du sol par chute répétée du marteau.

4. La récupération et l'observation de l'échantillon.

5. L'enregistrement du nombre de coups SPT, indicateur de la résistance du sol.

Tableau VI-4: Essai SPT

N° de Sondages	Profondeurs (m)	N1	N2	N3	N2 + N3	Classification du sol (XP P94-011)
F-05-LM-TB	1.50 - 1.95	50 refus				Très dense
	3.00 - 3.45					
	4.50 - 4.95					
F-06-LM-TB	1.50 - 1.95	50 refus				Très dense
	3.00 - 3.45					
	4.50 - 4.95					

Un résultat de SPT supérieur à 50 indique un sol dense et résistant. Cela signifie que le sol offre une forte capacité portante et une faible compressibilité, ce qui le rend adapté pour supporter des structures lourdes.

VI.4.3.4 Pénétromètre dynamique :

C'est un test géotechnique fait sur le terrain pour mesurer la résistance du sol. Il consiste à enfoncer un cône dans le sol à l'aide de coups répétés avec une masse, et on compte le nombre de coups pour enfoncer le cône. Cela permet de connaître la compacité et la nature du sol.

Tableau VI-5:Résultats des essais de pénétration dynamique

Sondage N°	Coordonnées pk	Observation
PDL07	24+518	Refus
PDL08	28+500	
PDL09	32+00	

Les essais réalisés aux points PDL07, PDL08 et PDL09 ont donné un refus, ce qui indique que le sol est très dur, très compact ou rocheux à ces endroits.

VI.4.4 Essai au Laboratoire :

En raison de la nature du terrain, constitué de terrasses alluviales et de formations semi-rocheuses à rocheuses, certains essais n'ont pas pu être réalisés in situ. Des échantillons intacts et remaniés ont donc été prélevés dans les puits de reconnaissance et les sondages carottés à différentes profondeurs pour être analysés en laboratoire.

VI.4.4.1 Essais physiques :

Parmi les essais physiques réalisés, on peut citer : la granulométrie (tamisage et sédimentométrie), les limites d'Atterberg, la densité (poids volumique humide et sec) ainsi que l'essai au bleu de méthylène (VBS).

VI.4.4.2 Essais mécaniques :

Les essais mécaniques effectués sont notamment l'indice CBR et le Proctor modifié.

D'après les résultats obtenus dans les essais d'identification, les sols ont été classifiés selon les classifications de GTR, et du UIC :

Tableau VI-6: Classification GTR et UIC selon les essais au laboratoires

PUITS D'AXES (N°)	PROFONDEUR	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG			TENUE EN EAU	VALEUR AU BLEU	VBS	PROCTOR MODIFIÉ		INDICE CBR	CLASSIFICATION GTR	CLASSIFICATION UIC
		%<80	%<20	%<5	%<2	%<0.08	WL	WP	IP				Wopt (%)	γd (g/cm³)			
22	0.00-1.00m	85	44	31	20	**9**	20.87	/	/	/	/		5.80	0.99	99.46	C1B4	QS2
23	0.00-0.80m	81	40	29	18	**7**	17.67	5.69	11.98	/	/		5.22	0.96	96.60	C1B5	QS2
24	0.00-0.65m	93	71	39	29	**12**	21.15	9.89	11.26	/	/		6.36	0.98	93.35	C1B5	QS2
25	0.00-1.00m	100	83	45	31	**15**	17.89	7.27	10.62	/	/		6.22	0.96	85.06	C1B5	QS2
26	0.00-0.90m	79	51	35	22	**13**	27.19	14.4	12.79				5.32	0.91	86.09	B5	QS2
27	0.00-0.80m	95	76	52	40	**17**	/	/	/	0.45	0.37	2.6	6.20	0.96	77.59	C1B4	QS2
28	0.15-1.15m	90	65	43	26	**10**	30.53	15.39	15.14	/	/	1.48	6.40	0.96	77.59	A2	QS1
29	0.00-0.50m	87	66	46	25	**10**	26.33	20.22	6.11	/	/	0.47	2.80	0.96	90.56	C1B5	QS2
30	0.00-0.30m	63	40	32	14	**6**	20.01	9.41	10.60	/	/	0.22	5.02	0.96	80.29	C1B5	QS 2
31	0.00-0.30m	100	81	60	46	**22**	29.67	14.29	15.38	/	/	/	5.20	0.96	78.20	C1B4	QS2
32	0.00-0.30m	96	77	57	41	**17**	28.86	11.67	17.19	/	/	/	4.80	0.96	75.60	C1B4	QS2
33	0.00-0.50m	93	71	54	36	**14**	21.87	10.42	11.45	/	/	/	5.22	0.96	83.10	C1B4	QS2
34	0.00-0.50m	95	73	57	38	**16**	23.12	9.96	13.16	/	/	/	4.90	0.96	82.54	C1B4	QS2
35	0.00-0.50m	94	73	56	37	**16**	22.85	10.03	12.82	/	/	/	5.08	0.96	82.18	C1B4	QS2
36	0.00-0.50m	95	74	58	38	**17**	25.01	9.85	15.16	/	/	/	5.00	0.96	81.23	C1B4	QS2

Exemple de classification :

Classification complète du sol du sol puit 22:

Classe des sols selon GTR(**ANNEXE G)** :

Dmax = 50 mm → donc la classe de sol est A ou B ou D1 et D2

Passant à 80 µm = 9 % → donc 9 ≤12% → sous-classe Bi (sols sableux et graveleux avec fines)

→ Sous-classe B4 (grave argileuse)

Wn = 2.48 et Wopt = 5.80

→ Vérification :
Wn=2.48 < 0.6×Wopt=0.6×5.8= 3.48→ donc le sol est sec → sous-classe B4s

Classe finale GTR : **C1B4**
(C1 : sol sec ; B : très silteux)

Classification selon UIC 719 R (**ANNEXE F) :** Le sol est de classe : **QS**2 (sols moyens)

VI.4.5 Synthèse des résultats de laboratoire

Les résultats des essais granulométriques et sédimentométriques effectués sur les échantillons analysés montrent un taux de passants à 80 µm compris entre 18 % et 29 %, traduisant une teneur faible à moyenne en particules fines. Par ailleurs, le pourcentage de passants à 2 µm varie de 40 % à 68 %, mettant en évidence la présence notable d'argiles dans les sols étudiés. Globalement, ces caractéristiques permettent de classer ces sols parmi les sols grenus, majoritairement constitués de particules grossières avec une proportion relativement limitée de fines.

L'étude de la plasticité indique un indice de plasticité (IP) compris entre 11,06 % et 16,13 %, correspondant à des sols à plasticité faible à modérée. Ces sols présentent ainsi une bonne maniabilité et une sensibilité réduite à l'eau dans des conditions normales d'exploitation.

Enfin, les valeurs de bleu de méthylène (VBS), variant de 0,10 à 0,50, confirment que les sols sont de type **sablo-limoneux,** contenant peu d'argiles actives. Une légère sensibilité à l'eau peut néanmoins se manifester, ce qui nécessite une attention particulière lors de travaux en conditions humides.

VI.4.6 Analyse chimique :

- **Agressivité des sols :**

Les classes d'agressivité XA sont utilisées pour évaluer le risque d'**attaque chimique sur le béton**, principalement causée par la présence de **sulfates** dans le sol ou les eaux souterraines. Selon la norme relative à la Classification des environnements agressifs (NF P 18-011, juin 2009). Trois classes sont définies :

- XA1 : Agressivité faible
- XA2 : Agressivité modérée
- XA3 : Agressivité élevée

Tableau VI-7 : la classe d'agressivité selon la classification des environnements agressifs:

PK	N° Sondages	Profondeur (m) De	À	Sulfate (mg/Kg)	Carbonate (%)	Classe d'agressivité
PK22+000	PR01	0.00	1.6	830	68	XA1
PK22+500	PR02	0.00	0.55	540	72	XA1
PK23+000	PR03	0.00	2.0	820	75	XA1
PK23+500	PR04	0.00	1.0	820	79	XA1
PK24+000	PR05	0.00	1.6	650	80	XA1
PK24+500	SC13	5.2	5.55	580	**89**	XA1
PK25+000	SC13	7.3	7.6	400	**89**	XA1
PK25+500	SC13	9.6	10	320	**93**	XA1
PK26+000	PR01	0.00	1.2	25600	35.2	XA3

PK27+000	PR03	0.00	0.8	5900	132	XA3
PK28+000	SCD01	4.50	4.70	600	60.53	XA1
PK30+000	SC02	8.00	8.50	120	12	XA1
PK36+000	SC04	9.00	9.30	4380	67.2	XA3

Résultat et interprétation :

Les résultats des analyses chimiques montrent que la majorité des sondages effectués entre le PK 22+000 et le PK 25+500 présentent une faible agressivité vis-à-vis du béton (classe XA1), avec des teneurs en sulfates inférieures à 1 000 mg/kg. Ces conditions sont compatibles avec l'utilisation de béton courant, sans exigences particulières**.(ANNEXE H)**

En revanche, les sondages localisés aux PK 26+000, PK 27+000 et PK 36+000 révèlent des concentrations en sulfates très élevées (jusqu'à 25 600 mg/kg), correspondant à une agressivité chimique élevée (classe XA3). Dans ces zones, il sera nécessaire de mettre en œuvre des mesures spécifiques de protection du béton.

VI.4.7 Utilisation des matériaux pour le remblai :

VI.4.7.1 Matériaux de déblai :

Dans le cadre de notre projet, 4 zones de déblai ont été identifiées : PK24+060 au PK24+300 et PK24+500 au PK24+700 ainsi qu'entre le PK25+500au PK26+325 et PK26+650au PK27 +625 L'analyse des matériaux selon la classification GTR a permis de les classer en B5s, ce qui les rend non utilisables en remblais (ANNEXE I). Ces sols présentent une grande difficulté de compactage, principalement en raison de leur faible teneur en eau. Toutefois, conformément aux recommandations du GTR, ces matériaux peuvent être améliorés par un simple traitement par humidification, visant à augmenter leur teneur en eau et ainsi améliorer leur comportement au compactage.

VI.4.7.2 Matériaux de gites d'emprunts :

Dans le cadre des études géotechniques du projet, l'approvisionnement en matériaux de remblai a été évalué en termes de qualité et de disponibilité. Les déblais générés le long du tracé ne suffisent ni en volume ni en qualité pour répondre aux exigences des remblais techniques (forme, fondation, sous-ballast), en raison de caractéristiques mécaniques ou granulométriques insuffisantes.

Des gîtes d'emprunt ont donc été identifiés entre les PK 19+000 et PK 23+000. Les matériaux extraits, de nature gréseuse calcaire et conglomératique, classés GTR R4 et UIC QS3, présentent des propriétés géotechniques satisfaisantes : bonne compacité, stabilité, et faible sensibilité à l'eau. Ils sont adaptés aux différentes couches de remblai, y compris les couches techniques.

Le recours à ces gîtes permet de garantir la qualité des remblais, d'optimiser les coûts et de limiter les distances de transport.

Les caractéristiques des gîtes d'emprunt identifiés sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI-8Matériaux de gites d'emprunts

Type	Localisation	Essai In Situ	Profondeur (m)	Nature du sol	Classe GTR	Classe UIC	Utilisation
Gîte 06	PK 19+000	PU-06-LM/TB-GE	4,00	Dalle gréseux calcaire	R4	QS3	- Matériau en zone inondable - Couche supérieure du remblai
Gîte 07	PK 19+000	PU-07-LM/TB-GE	4,00	Dalle gréseux calcaire	R4	QS3	- Sous ballast - Couche de forme - Couche de fondation - Matériau en zone inondable - Couche supérieure du remblai
Gîte 08	PK 20+000	PU-08-LM/TB-GE	4,00	Gréseux calcaire dur	R4	QS3	- Sous ballast - Couche de forme - Couche de fondation - Matériau en zone inondable
Gîte 09	PK 20+000	PU-09-LM/TB-GE	4,00	Gréseux calcaire dur	R4	QS3	- Sous ballast - Couche de forme - Couche de fondation - Matériau en zone inondable
Gîte 10	PK 23+000	PU-10-LM/TB-GE	4,00	Dalle conglomératique	R4	QS3	- Matériau en zone inondable - Couche supérieure du remblai

Interprétation des résultats :

Des essais in situ (PU-LM/TB-GE) ont été réalisés sur les gîtes d'emprunt situés entre les PK 19+000 et PK 23+000. Les matériaux prélevés (dalles gréseuses calcaires, gréseux dur, dalle

Conglomératique) ont montré une bonne portance, avec une classification GTR R4 et UIC QS3.Ces résultats permettent d'utiliser ces gîtes pour les travaux de remblai, notamment en :Sous-ballast, couche de forme et couche de fondation.

VI.5 CONCLUSION :

L'étude géotechnique et géologique de la ligne ferroviaire Béchar – Tindouf – Gara Djebilet met en évidence une grande diversité des formations rencontrées, nécessitant une approche constructive adaptable. La capacité portante des sols, variable selon les zones, offre dans certaines sections un bon potentiel pour supporter des charges importantes. Bien que les gîtes d'emprunt soient localisés en dehors de la zone immédiate du tracé, leur accessibilité et la qualité des matériaux disponibles représentent un avantage considérable pour l'approvisionnement en remblais. L'ensemble du programme d'investigation, alliant reconnaissances de terrain, prélèvements d'échantillons et essais en laboratoire, permet d'assurer la stabilité, la sécurité et la pérennité de l'infrastructure. Ces résultats fournissent les bases d'une conception optimisée et d'une réalisation fiable et durable du projet ferroviaire.

ASSISE FERROVIAIRE

VII. CHAPITRE VII: ASSISE FERROVIAIRE .

VII.1 INTRODUCTION :

Les couches d'assise jouent un rôle fondamental dans le bon fonctionnement de la voie ferrée, en garantissant sa rigidité, son nivellement et son drainage. Elles sont constituées de plusieurs éléments essentiels : le ballast, la sous-couche et la plateforme.

Dans ce chapitre, nous allons approfondir la définition de ces composants en présentant leur rôle et leurs caractéristiques. Chacun de ces éléments contribue à la stabilité et à la durabilité de l'infrastructure ferroviaire, en assurant une répartition efficace des charges et une bonne évacuation des eaux.

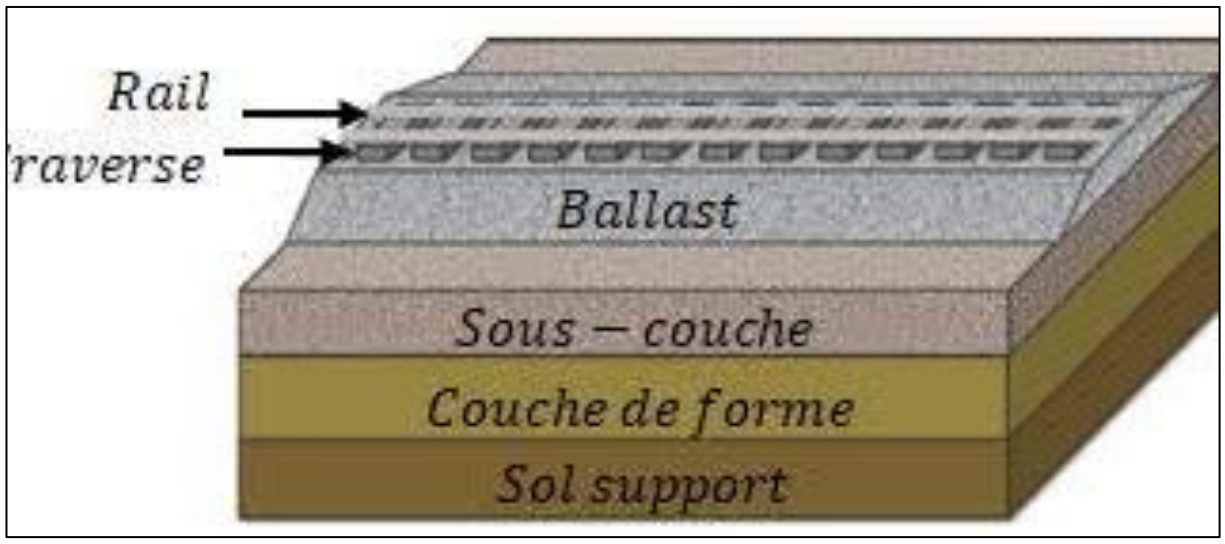


Figure VII-1:Profil en travers de l'assise ferroviaire

VII.2 CARACTERISTIQUE ET ROLES DES DIVERSES COUCHES D'ASSISE :

Les couches d'assise jouent un rôle essentiel dans le bon comportement de la voie ferrée en assurant sa rigidité, le maintien du nivellement et un drainage efficace. Elles se composent principalement du ballast et de la sous-couche.

L'épaisseur et la nature de ces couches varient en fonction de plusieurs facteurs :

- Les caractéristiques du sol de la plateforme, telles que sa nature, sa portance, sa sensibilité à l'eau et au gel .
- Les propriétés globales de la plateforme, qui dépendent non seulement du sol, mais aussi des conditions hydrogéologiques du site .
- Les conditions climatiques de la région traversée.
- Les contraintes du trafic ferroviaire, notamment les tonnages, les charges et les vitesses des trains
- L'armement de la voie, incluant le profil des rails ainsi que la nature et l'espacement des traverses.

Ces éléments influencent directement la conception et la durabilité de l'infrastructure ferroviaire.

VII.2.1 La couche de ballast :

Le ballast est une couche de pierres concassées disposée sous les traverses d'une voie ferrée. Il joue un rôle essentiel dans la stabilité et la durabilité de l'infrastructure ferroviaire.

- Maintien de l'écartement des rails et répartition des charges.
- Évacuation de l'eau pour éviter l'affaissement de la voie.
- Absorption des vibrations et réduction des chocs.
- Protection des traverses contre l'usure et les intempéries en limitant leur contact direct avec l'humidité et en réduisant les contraintes mécaniques qu'elles subissent

La qualité du ballast est évaluée à l'aide des essais suivants :

- Essai Micro-Deval : mesure la résistance à l'usure par frottement.
- Essai Los Angeles : détermine la résistance à la fragmentation.
- Essai de résistance à la compression : évalue la capacité du ballast à supporter des charges élevées.

VII.2.1.1.1 Caractéristiques du ballast

Tableau VII-1: Exigences techniques du ballast pour l'axe haut (32,5 t)

N°	Critère	Spécifications
1	Type de roche	Granit ou basalte
2	Qualité de base	Pierre concassée propre, anguleuse, dense, cubique, sans impuretés
3	Forme des particules	Cubique, sans particules floconneuses, max. 2 faces arrondies
4	Mode de fabrication	Broyage uniquement à la machine
5	Abrasion des agrégats	≤ 25%
6	Impact global	≤ 18%
7	Absorption d'eau	≤ 0,5%

8	Taille et gradation	Tamis 65 mm : 30%-50% retenu Tamis 40 mm : 70%-90% retenu Tamis 20 mm : ≥ 90% retenu
9	Largeur de l'accotement	500 mm en alignement, 700 mm en dévers

VII.2.2 Pente de talus :

Les pentes de talus principalement utilisées selon le référentiel technique **de SNTF chapitre 07.2.2 « OUVRAGES EN TERRE »**, et exprimées en fraction base (B) sur hauteur (H), sont :

- En déblai : 1/2, 2/3, 1/1, 3/2, 2/1, 2,5/1, 3/1.

- En remblai : 3/2, 2/1, 2/3.

Elles doivent être déterminées de façon à assurer la stabilité générale de l'ouvrage, en fonction :

- des caractéristiques géotechniques des terrains recoupés en déblais, ou du sol support et des matériaux mis en œuvre pour les remblais.
- de la hauteur de l'ouvrage.
- de la topographie du site et des risques naturels.

VII.2.3 Sous couche :

La sous-couche est un élément clé de la structure ferroviaire, assurant la transition entre le ballast et la plateforme. Son rôle principal est de renforcer la stabilité de la voie en répartissant les charges de manière homogène. Elle joue également un rôle dans le drainage des eaux, grâce à une pente transversale de **4 %**, orientant l'écoulement vers les dispositifs d'assainissement longitudinaux.

VII.2.3.1 Composition de la sous-couche

VII.2.3.1.1 Le sous-ballast

Le sous-ballast est essentiel pour améliorer la répartition des charges et réduire la raideur de l'assise. Il est constitué de gravier propre bien calibré (0/31,5 mm), avec au moins 30 % de matériau concassé présentant une DRG ≥ 12, et est compacté à 100 % OPN. En plus de son rôle structurel, il limite la contamination entre la plateforme et le ballast et contribue à améliorer les performances vibratoires de la voie.

VII.2.3.1.2 La couche de fondation

Positionnée sous le sous-ballast, Son rôle principal est de fournir un support stable au sous-ballast et de limiter les risques de contamination entre la couche de forme et le sous-ballast. Pour cela, la granulométrie des matériaux doit être suffisante afin d'éviter la remontée de fines. Cette couche n'est pas systématiquement requise : elle peut être omise lorsque le sol en place possède des caractéristiques mécaniques suffisantes pour supporter les charges de la voie ferrée.

VII.2.3.1.2.1 Caractéristiques des matériaux

- Matériaux bien gradés et compactables
- Granulométrie adaptée pour éviter toute contamination
- Compactage à 100 % de l'Optimum Proctor Normal (OPN)
- DRG > 10 pour garantir une résistance mécanique adéquate

VII.2.3.1.2.2 Fonctions principales de la couche de fondation

- Stabilisation de la plateforme avant la pose du sous-ballast.
- Répartition uniforme des charges transmises par le trafic ferroviaire.
- Prévention des déformations à long terme.
- Amélioration du drainage, réduisant ainsi les risques de saturation en eau.

VII.2.3.1.3 Rôles et avantages de la sous-couche

En plus de stabiliser la structure ferroviaire, la sous-couche remplit plusieurs fonctions essentielles :

- Renforcement de la portance : amélioration de la rigidité et répartition équilibrée des charges.
- Amélioration du comportement vibratoire : réduction des vibrations transmises à la plateforme.
- Protection contre la contamination : empêche l'infiltration des fines dans le ballast.
- Prévention de l'érosion et du gel : assure la pérennité de la structure.
- Drainage efficace : facilite l'évacuation des eaux grâce à une pente transversale adaptée.

VII.2.4 La plateforme ferroviaire :

La plateforme ferroviaire constitue l'assise en terre qui supporte la sous-couche. Elle est composée soit de terres rapportées dans le cas d'un remblai, soit du sol en place dans le cas d'un déblai.

Quel que soit son type (déblai ou remblai), la plateforme doit répondre à plusieurs exigences :

- Garantir une portance suffisante pour supporter les charges ferroviaires.
- Assurer une stabilité optimale afin de limiter les tassements et déformations à long terme.
- Prendre en compte la qualité de chaque sol constituant la plateforme pour adapter les traitements éventuels.
- Intégrer des dispositifs de drainage pour éviter l'accumulation d'eau et préserver la structure.

VII.3 LA COUCHE DE FORME :

La couche de forme est située juste au-dessus de la partie supérieure de la terrasse (PST). Son rôle principal est d'homogénéiser les caractéristiques mécaniques du sol support afin d'assurer une assise stable et durable pour la superstructure ferroviaire.

Elle permet notamment :

- D'ajuster les propriétés variables des matériaux constituant la PST, qu'ils soient en remblai ou en terrain naturel.
- D'améliorer la portance de la plateforme en réduisant les variations de rigidité.
- D'optimiser le drainage pour éviter l'accumulation d'eau et limiter les risques de dégradations.

Ainsi, la couche de forme joue un rôle fondamental dans la stabilisation de la voie et la répartition des charges du trafic ferroviaire.

VII.4 DIMENSIONNEMENT DES COUCHES D'ASSISE :

VII.4.1 L'épaisseur Plate-forme :

Dans notre zone d'étude, la classe de qualité du sol support est majoritairement QS2. Conformément aux prescriptions de l'UIC 719R, nous recommandons l'adoption d'une plateforme de type P3, dimensionnée spécifiquement pour ce type de sol, afin d'assurer une stabilité et une performance optimales.

Tableau VII-2: Classification de qualités des sols

Classe de Qualité des Sols	Description
QS0	Sols impropres : sols organiques, sols avec plus de 15% de fines expansives, humides, de haute plasticité et non compactables, sols contaminés avec des déchets, matière organique ou résidus, sols avec matériaux solubles (sel gemme ou plâtre).
QS1	Sols médiocres : sols avec plus de 40% de fines (non classifiables comme QS0), roches évolutives.
QS2	Sols moyens : sols avec des propriétés mécaniques moyennes, nécessitant une attention particulière en termes de drainage et de compactage.
QS3	Bons sols : sols présentant de bonnes propriétés mécaniques, adaptés aux travaux de terrassement sans traitement particulier.

Tableau VII-3: classification de la portance des plates-formes

Classe de qualité du sol	Classe de portance de la plate-forme	Chouche de forme mettre en œuvre pour avoir cette portance	
		Qualité	**Épaisseur min e_1 (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	-

Donc L'épaisseur minimale de la couche de forme à prévoir est de **0,35 m**, conformément aux recommandations de l'UIC 719R pour une plateforme de type P3.

VII.4.2 L'épaisseur du ballast :

Nous avons adopté une épaisseur de **30 cm**, conformément aux recommandations de la fiche UIC 719R. Cette valeur est déterminée en fonction de la vitesse des trains, avec les épaisseurs suivantes :

- 35 cm pour une vitesse supérieure à 200 km/h.
- 30 cm pour une vitesse entre 120 et 200 km/h.
- 25 cm pour une vitesse de 80 à 120 km/h .
- 20 cm pour une vitesse de 60 à 80 km/h.

VII.4.3 L'épaisseur de sous couche :

Une plateforme ferroviaire est constituée généralement par un ensemble de sous couches à savoir : Une couche de ballast, Une sous-couche qui comprend les couches de sous ballast, couche de fondation, couche anti-contaminant et géotextile. Conformément à la fiche UIC 719 (**ANNEXE D)**, l'épaisseur requise de la couche d'assise se calcule selon la formule suivante :

$e[m] = E + a + b + c + d + f + g$

Alors on prend :

- E = 0,45 m, correspondant à une capacité portante de sol support de classe P3.
- a = 0 m, car le groupe de trafic fictif selon la norme UIC 714 R est de Groupe 1.
- b = 0,05 m, déterminé par la formule :
- $b = (2{,}50 - L) / 2 = (2{,}50 - 2.415) / 2 = 0.0425\ m \approx 0.05\ m$

pour des traverses en béton de longueur L = 2.415 m.

- c = 0 m, car il s'agit d'un dimensionnement normal (nouvelle ligne).
- d = 0,15 m, correspondant à une charge maximale d'essieu de 32,5 tonnes en pleine voie.
- f = 0 m, car pour une plateforme de portance P3 sur une ligne à grande vitesse, cette valeur est nulle.
- g = 0 m, car u on a ne couche de forme QS3.

L'épaisseur totale de la couche d'assise se détermine comme suit :

$e[m] = 0{,}45 + 0 + 0{,}05 + 0 + 0{,}15 + 0 + 0 = 0{,}65\ m.$

- Le dimensionnement pour une charge de 32,5 tonnes par essieu nécessite une augmentation de l'épaisseur de la sous-couche de 5 centimètres par rapport à la valeur calculée.
- Les caractéristiques techniques de notre projet Exceptionnellement d=0.15 exigés par **les normes indiennes** , le d a une relation avec la charge à l'essieu (32,5T) .

➢ L'épaisseur retenue est fixée à **0,70 m.**

Tableau VII-4: épaisseurs de couche d'assise de la plateforme

Couches	Épaisseur (cm)
Ballast	30
Sous-ballast	**20**
Couche de fondation	**20**
Couche de forme de type QS3	35

➢ **Remarque :**

Pour répondre aux exigences de stabilité et de résistance mécanique imposées par le trafic ferroviaire lourd (charge par essieu de 32,5 t), il a été nécessaire de renforcer la partie supérieure du remblai sur le tronçon étudié. Ainsi, une épaisseur supplémentaire de 100 cm a été ajoutée au niveau de la zone supérieure du remblai, en utilisant un matériau de classe QS3, reconnu pour sa bonne portance, sa granulométrie maîtrisée et sa durabilité. Ce choix technique permet de garantir un comportement homogène sous chargement dynamique, tout en assurant une assise stable et conforme aux recommandations de la SNTF et aux standards UIC.

➢ Voici les plans récapitulatif de profil en travers de notre projet format A3

VIII. CONCLUSION :

Ce chapitre a permis de mettre en évidence l'importance du dimensionnement de l'assise ferroviaire dans la stabilité et la durabilité de l'infrastructure. Une conception adéquate permet d'assurer la résistance aux charges et de limiter les déformations sous l'effet du trafic ferroviaire.

L'analyse des différentes couches de la plateforme, en tenant compte des normes en vigueur, a permis d'adopter des épaisseurs optimales pour garantir un bon comportement mécanique. De plus, le choix des matériaux et la prise en compte des conditions géotechniques locales ont été des éléments clés dans la détermination des dimensions adaptées à notre projet.

TERRASSEMENT

IX. CHAPITRE VIII: TERRASSEMENT .

IX.1 INTRODUCTION :

Lors de la réalisation d'un projet ferroviaire, il est essentiel d'adapter la topographie du terrain naturel aux exigences du tracé projeté. Cette adaptation implique la mise en œuvre de travaux de terrassement, qui englobent l'ensemble des opérations de déblaiement et de remblaiement visant à obtenir une plate-forme conforme aux caractéristiques géométriques requises.

- **Remblai** : Il s'agit d'une opération consistant à apporter et mettre en place des matériaux sélectionnés et compactés afin de rehausser le niveau du terrain naturel pour atteindre l'altitude souhaitée du projet.

IX-1Les déblai de notre tronçon

PK début	PK fin	Hauteur max (m)	Pente proposé
20+275	23+800	12.7	1/2
24+700	25+200	12.4	1/2
26+625	28+000	13.9	1/2
28+100	31+100	7.1	1/2
31+500	35+800	7	1/2

- **Déblai** : Cette opération consiste à excaver et à évacuer les matériaux en excès présents sur le site lorsque le niveau du terrain naturel est supérieur à celui défini par le projet

IX-2 Les remblai de notre tronçon

PK début	PK fin	Hauteur max(m)	Pente prposé
24+575	24+700	1	1/1
25+500	26+200	9.3	1/1
26+750	27+625	5	1/1

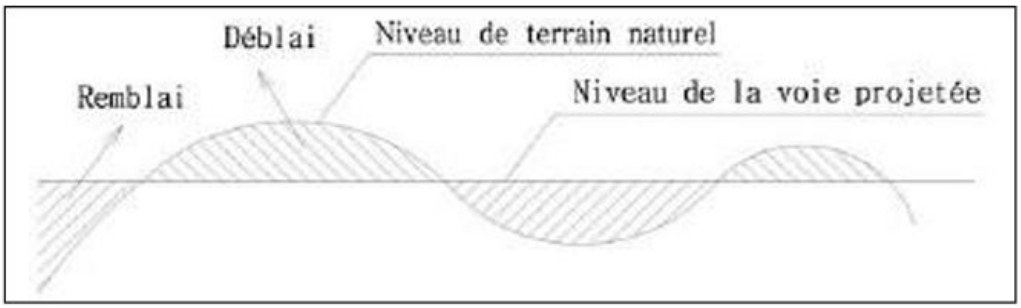


Figure IX-1Les zones des déblais et des remblais

Lorsque les travaux de terrassement atteignent une hauteur excessive, ils peuvent engendrer un risque de rupture se traduisant par un glissement de talus. En effet, un talus correspond à une pente formée lors des opérations de déblai ou de remblai, comme c'est le cas dans les projets de construction ferroviaire. Toutefois, lorsque cette pente devient trop raide à cause d'un volume de terrassement important, elle peut perdre sa stabilité et entraîner un glissement, causant ainsi des dommages matériels et compromettant la sécurité de l'infrastructure.

IX.2 CALCUL DE LA STABILITE DE TALUS :

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

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

Pour les calculs de stabilité, les facteurs de sécurité globaux à considérer sont les suivants :

- Fs ≥ 1.3 à court terme.
- Fs ≥ 1.5 à long terme.
- Fs ≥ 1.0 en situation accidentelle (par exemple, lors d'un séisme)

Après l'affectation de profil en long et profil en travers du tronçon étudié, on a localisé les différentes zones de remblais et déblais caractérisées par des hauteurs pouvant être importantes qui sont sujets de cette action et pour cela la vérification de stabilité des talus en déblais et remblais on a utilisé le logiciel **« geo 5 »**, et on a choisi la méthode de Bishop simplifie.

IX.2.1.1 Vérification de la stabilité des Talus :

- **Cas déblai** :

Le calcul de stabilité du déblai ayant la plus grande hauteur, et les déblais inférieurs à 6.0m sont considérés stables au vu de la faible hauteur .

Caractéristiques du déblai :

- PK :26+300
- Hauteur totale : 10.7 m

- Pente proposée : 3H/2V avec une berme de 2 m.

La charge transmise à la plateforme ferroviaire a été déterminée à partir de l'abaque présenté ci-dessous, extrait de Jain & Keshav (1999). Cet abaque représente la distribution verticale des contraintes en fonction de la profondeur pour différentes charges par essieu (allant de 20 à 30 tonnes).

Dans le cadre du présent projet, une charge par essieu de 30 tonnes a été retenue, correspondant à l'hypothèse de sollicitation maximale du trafic ferroviaire prévu. En se référant à la courbe correspondante sur l'abaque, et pour une profondeur de plateforme de 70 cm (mesurée sous le niveau du rail), la contrainte verticale transmise au sol est d'environ 0,70 kg/cm². Cette valeur a été adoptée comme charge de dimensionnement pour l'étude de portance et la justification des matériaux constitutifs de la plateforme.

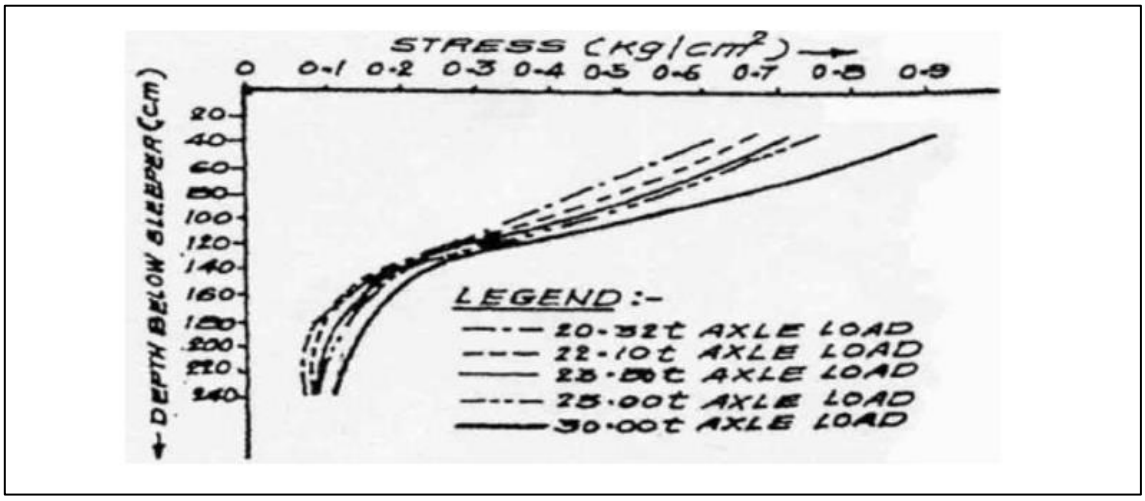


Figure IX-2:Distribution de la charge de train en fonction de la profondeur et du poids de train (Jain & Keshav, 1999).

Les paramètres géotechniques du sol :

Tableau IX-3: Caractéristiques des Couches Géologiques

Couches	γ [kN/m3]	φ(°)	C(kPa)
Conglomérat gréseux très dur	20	40	30

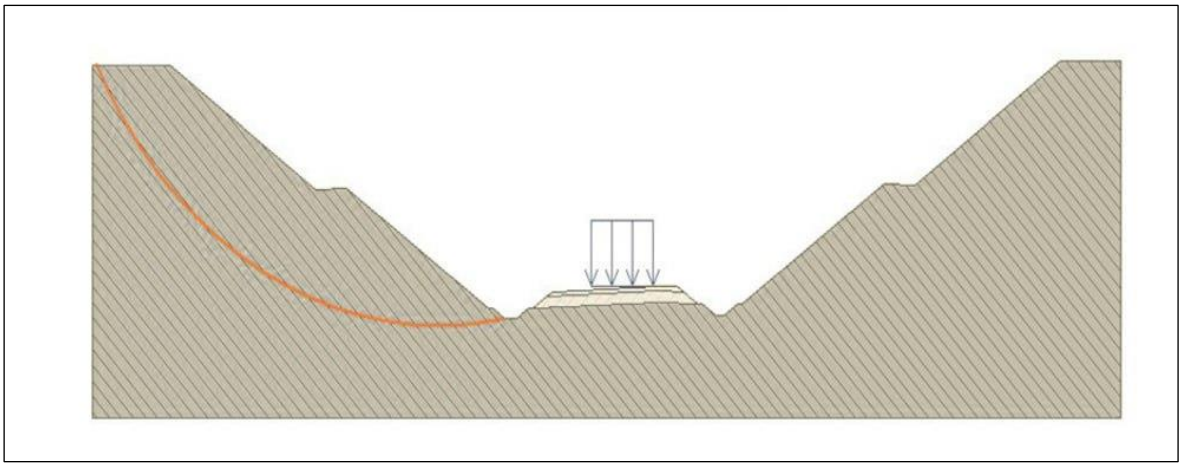


Figure IX-3:Vérification de la stabilité des déblais avec une pente de 3H/2V

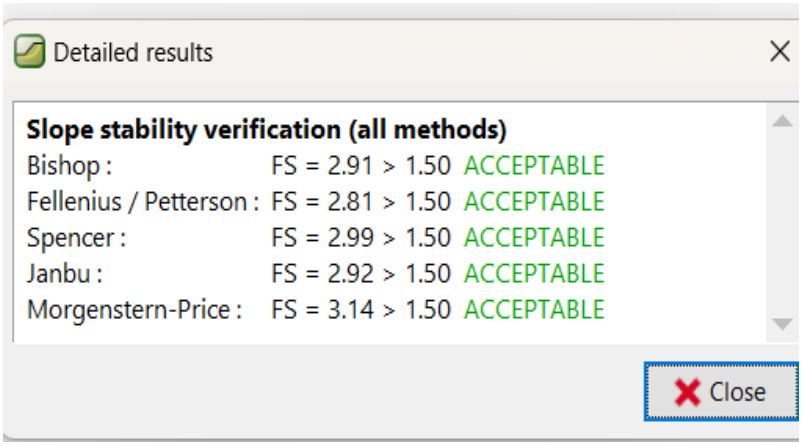


Figure IX-4:les résultats de calcul de stabilité de déblai geo5

- L'analyse de la stabilité de pente a été réalisée en considérant une surface de glissement circulaire. Les résultats obtenus à partir de différentes méthodes classiques (Bishop, Fellenius, Spencer, Janbu, Morgenstern-Price) montrent toutes un facteur de sécurité supérieur à 2,91, ce qui est nettement supérieur à la valeur minimale requise de 1,50. Cette marge de sécurité importante confirme la stabilité du talus dans sa configuration actuelle.

Compte tenu de cette stabilité largement suffisante, il a été décidé d'optimiser le profil en travers en redressant la pente de 3H/2V à 1H/1V. Ce redressement permet de réduire l'emprise du terrassement, limiter les déblais, et améliorer l'efficacité économique du projet, tout en maintenant un niveau de sécurité acceptable pour l'ouvrage.

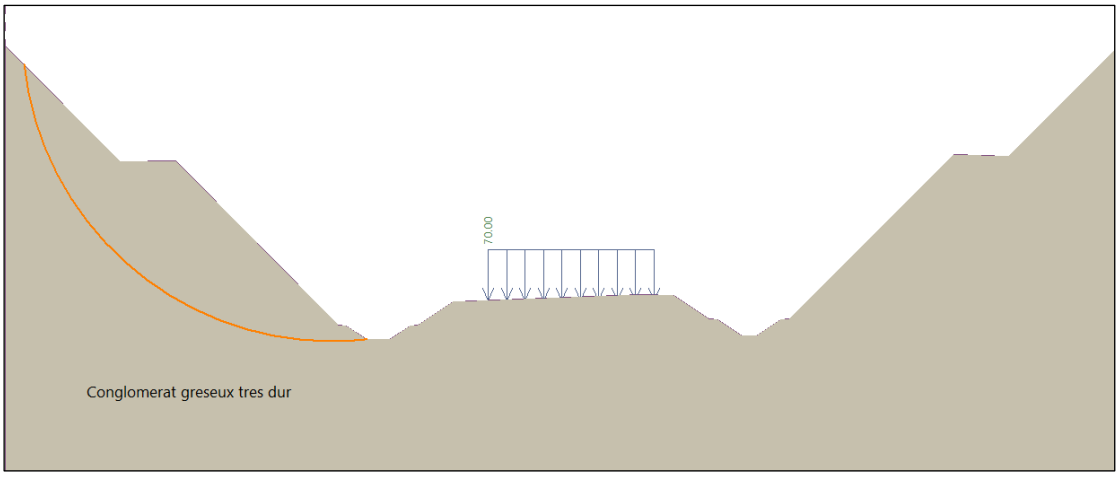


Figure IX-5:Vérification de la stabilité des déblais avec une pente de 1H/1V

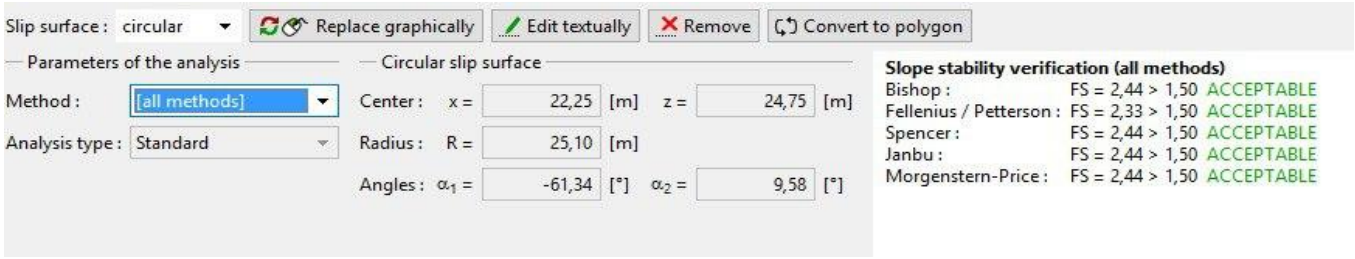


Tableau IX-4: les résultats de calcul de stabilité de déblai

Fs	Fs exigé	Fs calculé	Observations
Long terme	1.5	2.44	Vérifiée

- **Cas remblai :**

Les remblais inférieurs à 8.0m sont considérés stables au vu de la faible hauteur.

Caractéristiques du remblai :

- PK :27+700
- Hauteur totale : 13m
- Pente proposée : 2H/1V avec une berme de 2 m

Les paramètres géotechniques du sol :

Tableau IX-5: Caractéristiques des Couches Géologiques

Couches	γ [kN/m3]	φ(°)	C(kPa)

Remblai	20	38	15
Sable	16	44	0.5
Marne	19	43	9

Vérification de la Stabilité des remblais :

Résultats de calcule des stabilités des talus par GEO 5.0 2020 dans les cas de notre projet

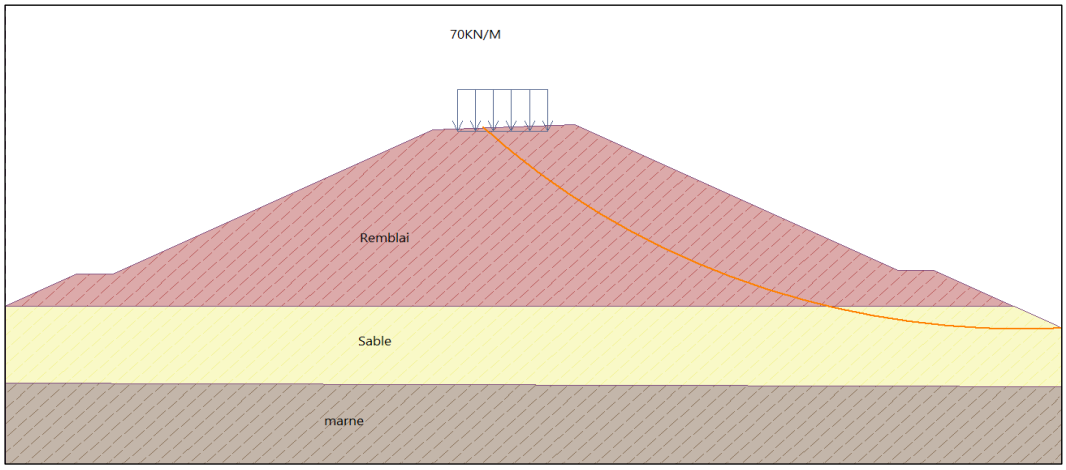


Figure IX-6: Vérification de la stabilité des remblais avec une pente de 2H/1V

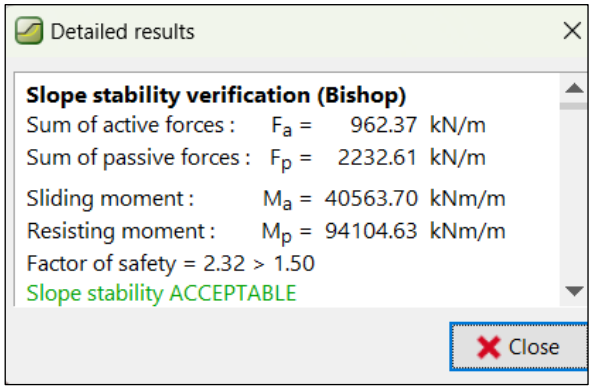


Figure IX-7:résultats de calcul de stabilité de remblai geo5

Tableau IX-6: les résultats de calcul de stabilité de remblai

Fs	Fs exigé	Fs calculé	Observations
Long terme	1.5	2.32	Vérifiée

IX.2.2 Calcule des cubatures :

Pour reformuler cette partie de manière technique mais sans changer le sens :

Les volumes de terrassement sont déterminés après la définition de la ligne de projet et des différentes altitudes du terrain naturel, basées sur le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers. Le calcul des cubatures des terrassements a été réalisé à l'aide du logiciel **COVADIS**. Les tableaux ci-dessous résument les résultats obtenus.

Tableau IX-7: Récapitulatif des volumes des couches d'assise et couche de forme

Matériau	Volume (m^3)
Ballast	40572.8
Couche de fondation	24047.4
Couche de forme	46970.1
Sous-ballast	28016.4

Tableau IX-8: Récapitulatif des volumes de terrassement

Matériau	Volume (m^3)
Déblai	164249.3
Remblai	843783.7

CONCEPTION ET AMENAGEMENT DE LA GARE

X. CHAPITRE IX : CONCEPTION ET AMENAGEMENT DE LA GARE .

X.1 INTRODUCTION :

Une gare ferroviaire constitue un point nodal du réseau de transport, où les trains marquent un arrêt pour l'embarquement et le débarquement des voyageurs ainsi que pour les opérations de chargement et de déchargement des marchandises. Elle intègre un ensemble d'installations fonctionnelles destinées à optimiser la gestion des flux humains et logistiques. Au-delà de son rôle de transit, la gare revêt une importance stratégique à plusieurs niveaux : sur le plan architectural, elle peut représenter un élément emblématique du paysage urbain ; sur le plan économique, elle favorise le dynamisme commercial et touristique ; et sur le plan social, elle constitue un espace d'échange et de mobilité. De ce fait, son aménagement doit répondre à des exigences techniques et fonctionnelles élevées pour assurer à la fois l'efficacité du service ferroviaire et la qualité de l'expérience urbaine.

X.2 TYPE DE GARE :

On distingue plusieurs types de gares, selon leur fonction :

- **Les gares voyageurs** : ce sont les gares les plus répandues, destinées à l'accueil des passagers. Elles sont dotées d'infrastructures telles que des quais, des salles d'attente, des guichets, des commerces, etc. En fonction de leur rôle et de leur importance, on distingue :
  - ✓ Les grandes gares de transit, implantées sur les axes ferroviaires majeurs ;
  - ✓ Les gares régionales, assurant la desserte d'une région spécifique ;
  - ✓ Les petites gares de banlieue ou rurales, dédiées à un trafic local.
- **Les gares de marchandises** : spécialisées dans le transport de fret, elles disposent d'équipements tels que des voies de chargement et de déchargement, des entrepôts, des grues, etc.
- **Les gares mixtes** : elles assurent à la fois les fonctions de transport voyageurs et de fret. Ce type de gare est fréquent dans les villes moyennes.
- **Les gares de triage** : ce sont des installations ferroviaires destinées au tri, à la composition et à la réorganisation des trains de marchandises.
- **Les gares de croisement** : situées sur des lignes à voie unique, ces installations permettent le croisement de deux trains circulant en sens opposé grâce à un dédoublement temporaire de la voie.

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

La conception d'une gare repose sur l'élaboration d'un plan de masse intégrant l'ensemble des installations essentielles, en tenant compte de trois paramètres fondamentaux :

- **La catégorie de la voie** : elle conditionne l'agencement et l'utilisation des voies ferrées, influençant directement la fluidité des circulations et l'efficacité des opérations ferroviaires.
- **Le trafic** : qu'il s'agisse de voyageurs ou de marchandises, le volume de trafic permet d'anticiper la fréquentation et d'adapter les services pour répondre de manière optimale aux besoins de mobilité du territoire.
- **L'emplacement de la gare** : sa localisation est déterminante pour l'accessibilité, l'intégration dans le tissu urbain, et son rôle potentiel en tant que pôle d'échanges à l'échelle régionale.

Une prise en compte rigoureuse de ces éléments dès la phase de planification permet de concevoir une infrastructure fonctionnelle, accessible et pérenne, capable de répondre aux attentes des usagers tout en favorisant le développement économique local.

X.4 AMÉNAGEMENT DE LA GARE :

X.4.1 Installation d'une gare voyageurs :

Les installations d'une gare voyageurs varient selon sa taille, son importance et sa localisation, mais comprennent généralement :

- Le bâtiment de voyageurs : Structure principale de la gare, dédiée aux passagers. Il comprend une salle d'attente, des guichets de vente de billets, un poste de sécurité, des kiosques et divers équipements pour répondre aux besoins des voyageurs.
- Les bâtiments à usages divers (B.U.D) :Espaces réservés au personnel ferroviaire. Ils servent de bureaux administratifs, d'installations de maintenance et de service, ainsi que d'entrepôts.
- Les quais :Bandes parallèles aux voies ferrées permettant l'accès aux trains pour les voyageurs.
- Les abris de quai :Structures installées sur les quais pour protéger les passagers des intempéries, souvent équipées de bancs.
- Les passages souterrains et les passerelles :Constructions permettant aux voyageurs de traverser les voies en toute sécurité pour rejoindre différents quais.

X.4.2 Schéma de principe de la gare :

La gare de Béchar Jdid est située dans la nouvelle zone urbaine en développement, s'étend du PK 20+000 au PK 20+650, sur une longueur utile de 650 mètres, dimensionnée pour accueillir des trains de voyageurs de composition moyenne. Cette gare est conçue pour accompagner l'urbanisation rapide de la région et répondre aux besoins croissants en mobilité par un accès ferroviaire moderne et fonctionnel.

Elle comprend un bâtiment voyageur intégrant l'ensemble des équipements nécessaires, tels que les parkings et les installations de service. La gare est équipée de trois voies, dont une voie principale, une voie de service et une voie de stationnement prolongée par un tiroir de 250 mètres avec heurtoir, ainsi que de quatre appareils de voie permettant des manœuvres sécurisées et l'aménagement de deux garages francs.

X.4.3 Plan de voie de la gare :

La gare est structurée de la manière suivante :

- Une voie principale pour la circulation continue.
- Une voie de service pour la maintenance et les opérations logistiques.
- Une voie de stationnement équipée d'un tiroir de 250 mètres.

Les quais latéraux A et B mesurent chacun 300 mètres de long. Le quai extérieur a une largeur de 6 mètres et le quai intermédiaire une largeur de 8 mètres.

X.4.4 Entraxe entre les voies :

Entraxe entre les voies est de 5 m.

X.4.5 Les appareils de voie :

Un appareil de voie est un élément de la voie ferrée qui permet d'assurer le support et le guidage du matériel roulant ferroviaire sur un itinéraire donné. Si d'autres itinéraires en divergent où le traversent Il permet entre autres d'assurer les bifurcations et les croisements d'itinéraires. 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 trois catégories d'appareils de voie :

- Les branchements.

- Les traversées.

- Les traversées jonctions.

✓ Pour notre conception on a :

- 2 ADV UIC 60 500 1/12 (1 déviation gauche, 1 déviation droite) :

  Cet appareil est un appareil de voie réalisé avec le rail UIC60 (60kg/ml), la voie déviée a une courbure de 500m et la tangente de l'angle de déviation est de 1/12.l'appareil permit une vitesse de déviation maximal de 70 km/h le reste des dimensions est mentionné sur la figure suivante :

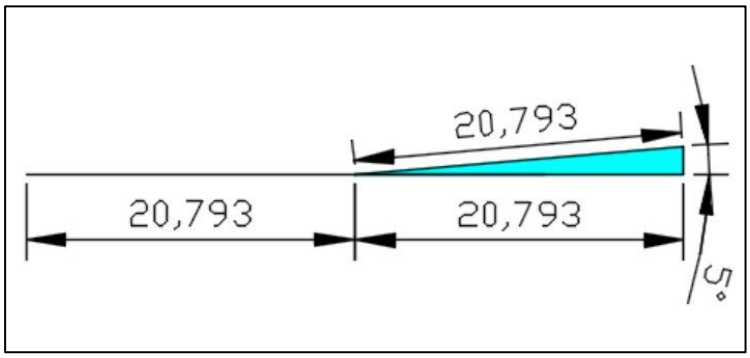


Figure X-1:Description géométrique de l'appareil de voix UIC60-500-1/12

- 2 ADV UIC 60 300 1/9 :

  Cet appareil est un appareil de voie réalisé avec le rail UIC60 (60kg/ml), la voie déviée a une courbure de 300m et la tangente de l'angle de déviation est de 1/9.l'appareil permit une vitesse de déviation maximal de 50 km/h le reste des dimensions est mentionné sur la figure suivante :

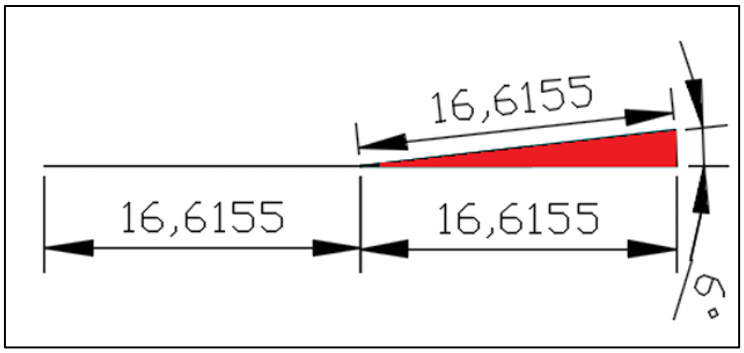


Figure X-2: Description géométrique de l'appareil de voix UIC60-300-1/9

X.4.5.1 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 impérativement être installés sur une pente constante.

- À proximité des ouvrages d'art, les distances minimales d'implantation dépendent de la longueur de l'ouvrage concerné.

Tableau X-1: les longueurs minimales de l'appareil de voie

Les longueurs minimales de l'appareil de voie	
Lmin	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 :

- **Implantation en tracé en plan :**
  L'implantation des appareils de voie doit respecter les longueurs minimales suivantes :

✓ **En pointe :**
La longueur minimale d'alignement doit être égale à Vd/2, où Vd représente la vitesse de franchissement en voie déviée.

✓ **En talon de branche déviée :**

- Si la sortie de l'appareil est en alignement, la longueur minimale d'alignement doit être égale à Vd/2.
- Si la sortie de l'appareil est en courbe :

  - Pour Vd < 100 km/h : il faut soit prévoir un alignement de longueur minimale Vd/2, soit prolonger la courbe de l'appareil par un raccordement progressif.
  - Pour 100 km/h ≤ Vd < 160 km/h : il est obligatoire de prolonger la courbe de la voie déviée par un raccordement progressif.
  - Pour Vd ≥ 160 km/h : la règle du raccordement progressif devient impérative. La longueur des raccordements doit être calculée de manière à obtenir une variation maximale de l'insuffisance de dévers de 75 mm/s (valeur normale) et 90 mm/s (valeur exceptionnelle).

✓ **En talon de la voie directe** :

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

X.4.5.2 Garage franc :

Le **garage franc** correspond à la zone de la voie dans laquelle les trains sont autorisés à circuler en gare. Sa valeur théorique est définie comme étant **3,57 fois** la distance entre les axes des voies directe et déviée.

Pour renforcer la sécurité, cette valeur théorique est généralement majorée d'un mètre supplémentaire. La formule de calcul du garage franc est donc :

GF=3,57×N+1 mètre Où **N** représente la distance, variable selon l'ouverture de l'appareil de voie.

Longueur du garage franc :

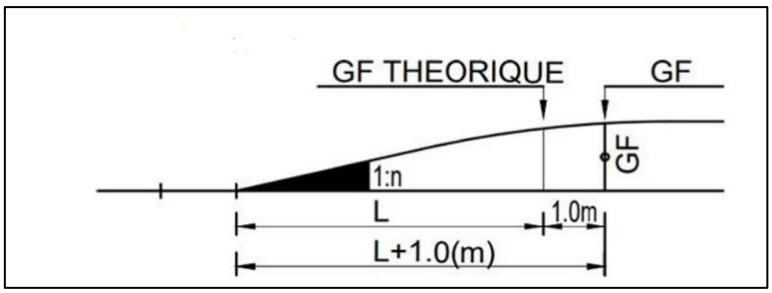


Figure X-3: La longueur du garage franc

Les longueurs calculées pour différents types d'appareils de voie sont les suivantes :

- Pour un appareil de type **UIC 60 E1-500-1/12** :

$$GF=3,57\times12+1=43,84\ m$$

- Pour les appareils de voie type **UIC 60 E1-300-1/9** :

$$GF= 3.57*9 + 1 = 33.13\ m$$

X.4.5.3 Heurtoir :

Les heurtoirs ferroviaires, également appelés butoirs, sont des dispositifs installés à l'extrémité des voies pour immobiliser les trains et empêcher qu'ils ne dépassent les limites des rails.Ils sont conçus pour absorber l'énergie d'impact d'un train arrivant en fin de voie, contribuant ainsi à prévenir les accidents et à protéger les infrastructures ferroviaires.

Les heurtoirs assurent la sécurité des circulations en garantissant l'arrêt sécurisé des trains, protégeant ainsi les passagers, le personnel et les ouvrages environnants.Leur entretien régulier est essentiel pour maintenir la sécurité et le bon fonctionnement des opérations ferroviaires.

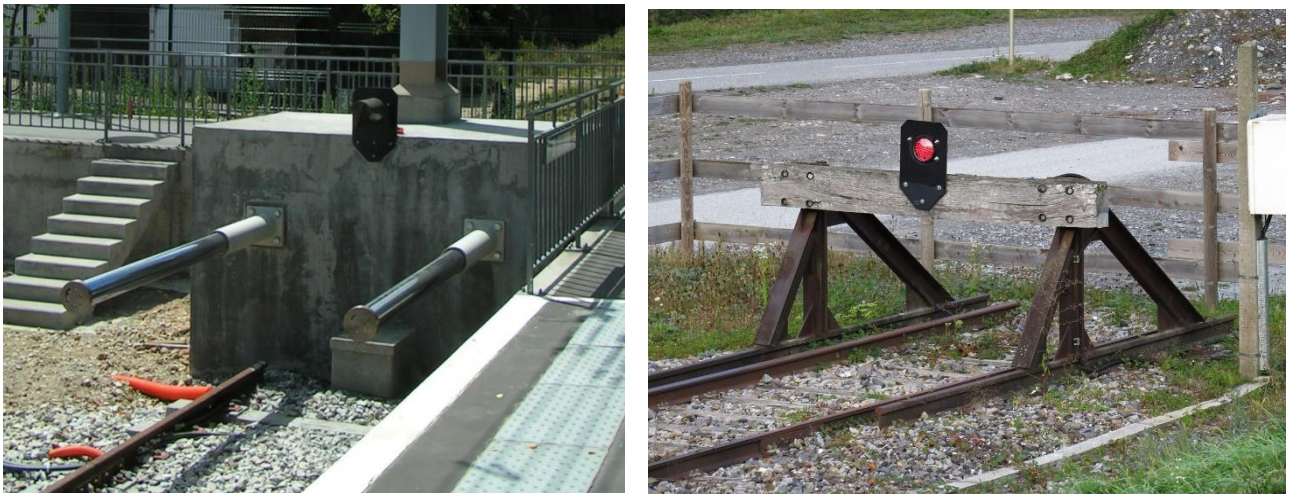


Figure X-4: Figures représentatives d'un heurtoir

X.4.5.4 Longueur utile de la gare proposée :

La longueur utile est la distance entre deux garages francs, permettant à un train de voyageurs de s'arrêter sur une voie de service ou de stationnement sans entraver la circulation sur les voies principales ou sur les autres voies de service adjacentes.

Cette mesure est essentielle pour garantir des opérations ferroviaires efficaces et sécurisées.

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

- **Longueurs de la marge de glissement :**

50 ≤ LG ≤ 200, selon la vitesse de la ligne, on l'utilise comme marge à l'aval des signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie.

- LG = 200m pour V ≥ 60 km/h.
- LG = 100m pour 40km/h ≤ V ≤ 60 km/h.
- LG = 50 m pour V < 40 km/h.

Pour la gare de bechar jdid la longueur de la marge de glissement correspondante à une vitesse V ≥ 60 Km/h est de 200 m .

- ✓ Selon la SNTF, la longueur utile des voies est définie dans la norme relative à l'aménagement des gares et au tracé des voies. Ainsi, la longueur utile minimale requise pour l'accueil des trains de voyageurs est fixée à 426 mètres.

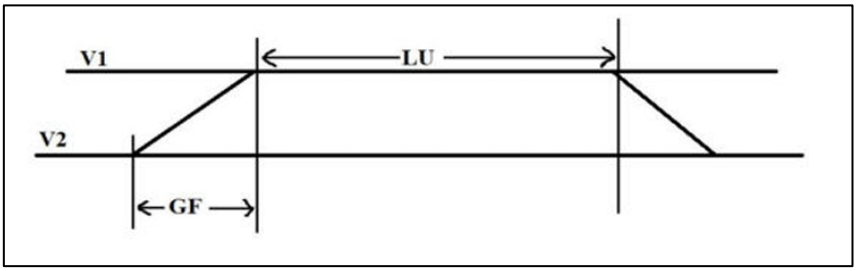


Figure X-5:Schéma illustrative de la longueur utile

- Pour notre gare :

Tableau X-2:Longueurs des voies utiles de la gare

N° Voie	Longueur utile (m)
Voie 1	650
Voie 2	575
Voie tiroir	250

X.5 CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES GARES :

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

X.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 déclivité sera maintenue à **0 ‰** afin de prévenir tout mouvement indésirable des trains, garantissant ainsi une sécurité optimale.

X.5.2 Quai :

X.5.2.1 Longueur des quais (normes SNTF) :

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

X.5.2.2 Largeur des quais :

Selon les normes SNTF :

- Quai intermédiaire : largeur > 8 m (en raison de l'accès aux deux voies)
- Quai extérieur : largeur ≥ 6 m

X.5.2.3 Hauteur des quais :

La hauteur nominale des bordures des quais par rapport au plan de roulement est fixée à 550 mm. Cette hauteur peut varier selon le type de matériel roulant prévu, afin de garantir une accessibilité et une sécurité optimales pour les passagers.

X.5.2.4 Entre–axe des quais Selon la SNTF :

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

✓ Dans notre projet on a opté pour l'entraxe de 13.5 m entre les quais A, B.

• APPLICATION SUR NOTRE PROJET :

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

A : quai extérieure. B : quai intermédiaire.

Tableau X-3:Tableau récapitulatif sur les quais

Quai	Pk début	Pk fin	Longueur	Largeur	Hauteur	Distance à l'axe	Entre-axe des quais
A	20+000	20+650	250 m	6 m	55 cm	1.65 m	13.5 m
B				8 m			

X.5.3 Passerelle supérieure :

Selon la SNTF :

• La largeur est : B ≥ 2.4 on prend B= 2.5m

• La hauteur est : H > 6.2 m on prend H =6.5 m

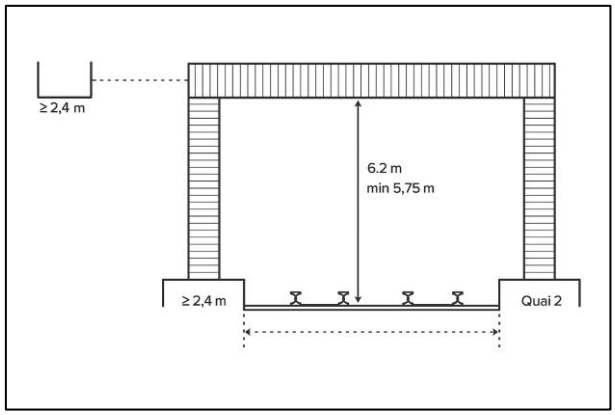


Figure X-6: Passerelle supérieure

X.6 ASSAINISSEMENT DANS LES GARES :

X.6.1 Assainissement transversale :

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

• **Pente des quais** : Pour assurer un bon drainage des eaux pluviales, il est essentiel que les quais soient légèrement inclinés. Une pente de 2% en "toit" signifie que les quais sont plus hauts au centre et s'inclinent vers les bords, facilitant ainsi l'écoulement de l'eau vers les côtés. Cette inclinaison permet d'éviter la stagnation de l'eau sur les surfaces où les passagers marchent.

• **Inclinaison des plateformes** : En plus de la pente en "toit" des quais, les plateformes elles-mêmes doivent avoir une inclinaison transversale de 4% en " V " et en "toit". Cette inclinaison assure que l'eau s'écoule rapidement vers les bords de la plateforme pour les voies en " toit " et s'écoule vers le milieu pour les voies en " V " , où elle peut être collectée par les systèmes de drainage appropriés.

X.6.2 Assainissement longitudinal :

L'assainissement longitudinal vise à gérer efficacement les eaux de ruissellement le long des voies et des quais, afin de préserver la stabilité de l'infrastructure ferroviaire. Pour ce faire, des drains sont disposés parallèlement aux voies, selon une pente de 4 ‰, permettant de capter les eaux qui s'infiltrent à travers le ballast et la plateforme. Cette légère inclinaison favorise l'écoulement gravitaire de l'eau vers des points de collecte. Une fois récupérées, ces eaux sont ensuite évacuées à l'aide de buses traversantes, c'est-à-dire des conduits ou tuyaux placés sous la plateforme, assurant un écoulement continu et efficace, tout en évitant toute accumulation susceptible d'endommager les structures ferroviaires ou de compromettre la sécurité de l'exploitation.

➢ Voici les plans récapitulatif de trace de la gare ainsi que le profil en travers format A3

SIGNALISATION FERROVIAIRE

XI. CHAPITRE X : SIGNALISATION FERROVIAIRE

XI.1 INTRODUCTION :

La signalisation ferroviaire constitue un ensemble vital de systèmes et d'équipements destinés à guider les conducteurs de trains et à assurer la sécurité du trafic. En transmettant des informations essentielles sur l'état de la voie, la présence d'autres circulations, les limitations de vitesse et les points critiques, elle prévient les accidents et optimise la fluidité du réseau ferroviaire.

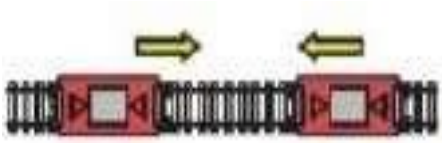
Dans le contexte spécifique du projet Béchar–Tindouf–Gara Djebilet, traversant des zones désertiques et à forte sollicitation minière, la signalisation joue un rôle essentiel dans la régulation sûre et continue d'un trafic lourd, sur longue distance et sous conditions climatiques extrêmes.

XI.2 LES PRINCIPAUX RISQUES FERROVIAIRES :

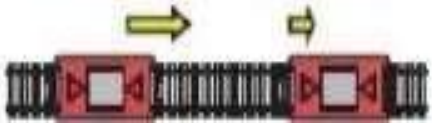
Le transport ferroviaire, malgré ses nombreux avantages en matière de capacité et de sécurité, reste exposé à plusieurs risques, qui varient selon les contextes d'exploitation. Les principaux risques identifiés sont les suivants :

1. **Les collisions** :
   - **Collision frontale (nez à nez)** : survient lorsque deux trains circulant en sens opposé se retrouvent sur la même voie. Ce type d'accident est souvent dû à des erreurs de signalisation, de conduite ou de régulation du trafic

     .

   - **Collision par rattrapage** : se produit lorsqu'un train en mouvement percute l'arrière d'un autre train plus lent ou arrêté sur la même voie. Ce risque peut découler d'un espacement insuffisant entre les circulations, d'une défaillance des systèmes d'annonce, ou d'une mauvaise communication.

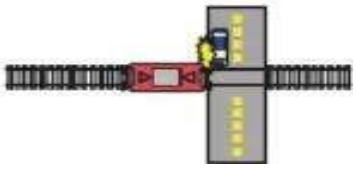
2. **Le déraillement** : Se manifeste par la sortie des roues d'un train de la voie ferrée. Les principales causes incluent des défauts d'infrastructure (voie déformée, rail brisé), des défaillances mécaniques, une vitesse inadaptée ou des conditions d'adhérence dégradées.

3. **Un conflit d'itinéraire** : survient lorsque deux trains demandent des parcours incompatibles. Cela se produit lorsque leurs itinéraires se croisent ou utilisent une même section de voie. Ce conflit présente un risque de collision ou de déraillement.

4. **Un choc extérieur :** survient souvent à un passage à niveau entre un train et un véhicule routier, lorsqu'une protection insuffisante vis-à-vis de l'environnement extérieur existe.



La mise en œuvre de dispositifs de signalisation performants, la modernisation des systèmes de détection et de contrôle ainsi que des actions de sensibilisation et de surveillance renforcée sont essentielles pour réduire ces risques et assurer la sécurité des circulations ferroviaires, des usagers et des riverains.

XI.3 LES BUTS DES INSTALATIONS DE LA SIGNALISATION :

La mise en place d'installations de signalisation sur la ligne à voie unique permettra :

- D'assurer un haut niveau de sécurité des circulations.
- D'optimiser et d'améliorer les conditions d'exploitation en termes de débit grâce à la commande centralisée des installations (PCC) et aux systèmes d'aide à l'exploitation associés.
- D'assurer la sécurité dans les gares grâce aux différents enclenchements.
- D'assurer l'espacement des circulations sur les intervalles entre les gares de croisement,
- D'éviter les rattrapages des circulations sur les intervalles.

XI.4 TYPES DE SIGNALISATION :

1. Signalisation lumineuse :

Utilise des feux colorés (rouge, jaune, vert) pour transmettre des ordres au conducteur. C'est la forme la plus répandue sur les lignes modernes. Elle comprend :

- Sémaphores : feu rouge fixe imposant l'arrêt.
- Avertissements : feu jaune indiquant un signal d'arrêt ou une restriction à venir.
- Feux verts : signalant que la voie est libre.

Ces signaux sont généralement implantés le long des voies, sur des mâts, potences ou portiques.

2. Signalisation mécanique

Basée sur des dispositifs physiques mobiles, tels que :

- Sémaphores mécaniques : bras pivotants indiquant l'arrêt ou la marche.
- Disques : panneaux circulaires signalant des restrictions.

Elle est principalement présente sur les anciennes lignes ou dans les zones rurales.

3. Signalisation acoustique

Utilise des signaux sonores pour alerter les conducteurs ou le personnel ferroviaire :

- Pétards : dispositifs explosifs placés sur les rails pour signaler un danger.
- Klaxons : avertissements sonores émis par les trains.
- Bips radio : signaux sonores transmis par radio

Ces signaux sont essentiels en cas de mauvaise visibilité ou de situations d'urgenc

4. Signalisation combinée

Associe plusieurs types de signalisations (visuelle et sonore, par exemple) pour renforcer la transmission des informations, notamment en cas de mauvaise visibilité ou d'environnement bruyant.

5. Signalisation électronique

Utilise des systèmes numériques pour transmettre les informations directement aux cabines de conduite :

- Systèmes embarqués : affichent les informations de signalisation dans la cabine du conducteur.
- Contrôle de vitesse : systèmes qui surveillent et régulent la vitesse du train

Ce type de signalisation est intégré dans des systèmes comme l'ERTMS/ETCS

6. Signalisation radio :

Permet la communication directe entre le centre de régulation du trafic et les conducteurs par radio, utilisant des systèmes tels que le GSM-R (Global System for Mobile Communications – Railways). Elle est cruciale pour la gestion dynamique du trafic et les interventions d'urgence.

7. Signalisation de sécurité

Englobe tous les dispositifs destinés à assurer la protection des circulations et des personnes, incluant :

- **Signaux d'arrêt d'urgence** : dispositifs permettant d'arrêter un train en cas de danger imminent.
- **Dispositifs d'annonce automatique des incidents** : systèmes qui détectent et signalent automatiquement les anomalies.
- **Systèmes automatiques de contrôle de vitesse** : régulent la vitesse du train pour prévenir les accidents.

XI.5 IMPLANTATION DES SIGNAUX EN ALGERIE :

En Algérie, les signaux ferroviaires se partagent en deux catégories : les feux et les panneaux. Ces derniers sont implantés généralement à gauche de la voie, car les trains circulent à gauche, sauf dans le cas où le positionnement n'est pas possible.

XI.6 SYSTEME DE SIGNALISATION FERROVIAIRE :

XI.6.1 Les fonctions de signaux :

1. **Signalisation d'arrêt** : Signalisation d'annonce d'arrêt : Prévient le conducteur avant l'arrêt pour lui permettre de ralentir à temps.
2. **Signalisation de limitation de vitesse** : Indique les zones où la vitesse est limitée pour des raisons de sécurité.
3. **Signaux de ralentissement et de rappel de ralentissement :**
   - ❖ Signal de ralentissement : Informe le conducteur de la nécessité de ralentir avant une zone critique.
   - ❖ Signal de rappel de ralentissement : Rappelle au conducteur la nécessité de maintenir une vitesse réduite dans une zone spécifique.
4. **Signaux divers** : Inclut d'autres types de signaux utilisés pour diverses situations (par exemple, avertissements, indications de direction, etc.).

5. **Signalisation de cabine** : Signalisation directement destinée au conducteur dans la cabine du train, pour l'informer des instructions immédiates ou des changements de situation.

Cette organisation des signaux permet de garantir la sécurité, la fluidité, et une conduite adaptée aux diverses conditions de circulation ferroviaire.

XI.7 LES DIFFERENTS TYPES DE BLOCS :

Les systèmes de gestion des signaux, appelés "blocks", varient en fonction de la catégorie de la ligne. Voici les principaux types :

1. **Block Manuel (B.M)** :

   Ce système est utilisé sur les lignes peu fréquentées et nécessite l'ouverture manuelle du signal de block par un agent pour permettre l'entrée d'un train sur la voie.

2. **Block automatique à permissivité restreinte (B.A.P.R)** :

   Employé sur les lignes moyennement fréquentées, ce système utilise des signaux automatiques pour gérer l'entrée des trains dans la voie suivante, en assurant un espacement suffisant entre les trains.

3. **Block automatique lumineux (B.A.L)** :

   Ce système est utilisé sur les lignes principales et se base sur des signaux automatiques qui régulent le passage des trains en fonction de leur position et des conditions de circulation, assurant un contrôle optimal du trafic ferroviaire.

XI.8 SYSTEME DE CANTONNEMENT :

XI.8.1 Définition :

La ligne de chemin de fer est divisée en plusieurs secteurs que l'on appelle La ligne de chemin de fer est divisée en plusieurs secteurs que l'on appelle La ligne de chemin de fer est divisée en plusieurs secteurs que l'on appelle des cantons. Chaque canton, est des cantons. Chaque canton, est protégé par un signal. Le cantonnement est Le cantonnement est le moyen généralement employé pour assurer l'espacement des trains le moyen généralement employé pour assurer l'espacement des trains circulant dans le même sens sur une même voie. Le type de cantonnement utilisé est le block automatique lumineux (BAL).

XI.8.2 Principes :

Par principe, un seul train est autorisé par canton. Lorsque le train entre dans un canton, ses essieux provoquent un court-circuit entre les fils du rail, fermant ainsi le signal à l'entrée du canton qui affiche un feu rouge. Le signal protégeant ce canton affiche également un feu rouge, tandis que le signal du canton précédent affiche un feu orange. Lorsqu'il pénètre dans le canton suivant, le signal montre un feu rouge, tandis que celui du canton précédent devient jaune, et celui du premier canton passe au vert, indiquant la voie libre. Ce système de signalisation fonctionne sans intervention humaine, chaque train se protégeant lui-même à travers ce mécanisme automatique.

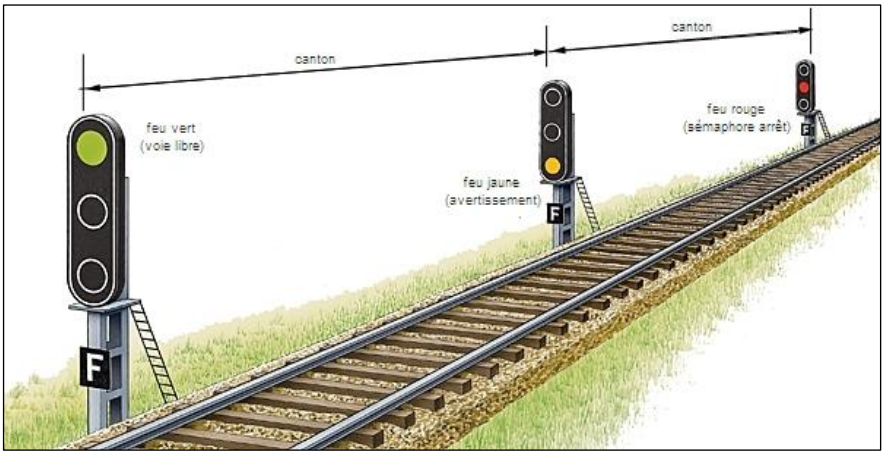


Figure XI-1: Le système de cantonnement

- ✓ On peut dire que la longueur d'un canton doit permettre l'arrêt complet des trains, avec une longueur minimale de 1500 mètres. **Mais** pour un train de 2400 mètres, la longueur du canton doit être adaptée afin d'assurer un arrêt sécurisé sans que le train ne dépasse la zone protégée.

XI.9 LE SYSTEME ERTMS

Les systèmes de signalisation ferroviaire, bien que révolutionnaires et adaptés aux besoins de leur époque, ont été conçus il y a plus de 80 ans. À cette époque, le trafic ferroviaire était bien moins dense qu'il ne l'est aujourd'hui. Avec l'augmentation continue du nombre de trains et la demande croissante de transport, ces systèmes traditionnels sont devenus insuffisants pour assurer une gestion fluide et sécurisée du trafic ferroviaire. Face à ce défi, La **(SNTF)** se trouve dans l'obligation de moderniser ses infrastructures et de mettre en place des solutions adaptées à l'évolution du réseau.

Dans ce contexte, l'ERTMS (Système Européen de Gestion du Trafic Ferroviaire) se présente comme une solution incontournable. Ce système a été conçu pour optimiser la gestion du trafic ferroviaire, en particulier sur les lignes à fort trafic. Composé de trois niveaux, il repose sur des systèmes interopérables permettant la protection des trains, le pilotage automatique et la radiocommunication sol-train. Il repose sur deux éléments principaux : l'European Train Control System (ETCS), qui surveille et contrôle la vitesse des trains, et le Global System for Mobile Communications – Railway (GSM-R), qui assure une communication sécurisée et continue entre les trains et les centres de contrôle

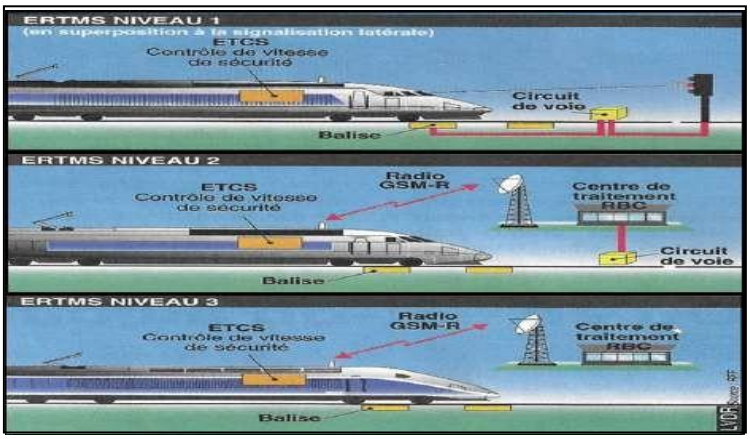


Figure XI-2:système ERTMS

XI.10FONCTIONNEMENT DES NIVEAUX DU SYSTEME ERTMS

Niveau 1 :

La vitesse des trains est contrôlée en continu, et leur position est suivie à l'aide des euro-balises. L'espacement entre les trains est assuré par la signalisation latérale traditionnelle.

Niveau 2 :

La vitesse est également contrôlée en continu, mais la position des trains est suivie en temps réel grâce au système JSM-R. La signalisation latérale devient optionnelle.

Niveau 3 :

Le contrôle de la vitesse reste continu, et la position des trains est suivie en temps réel par JSM-R. Il n'y a plus de signalisation latérale ; chaque train assure lui-même l'intégralité de son contrôle.

XI.10.1 Les équipements ERTMS à bord des locomotives :

L'interface ERTMS à la disposition du conducteur doit lui permettre de réaliser toutes les actions nécessaires pour la bonne conduite du train. Ce sont les informations relatives à la conduite du train, vitesse, courbes de freinage, Informations auxiliaires, les informations sur l'itinéraire suivi, la possibilité de réaliser le data entry. Le schéma ci -après donne un exemple de configuration de l'interface homme Machine ERTMS.

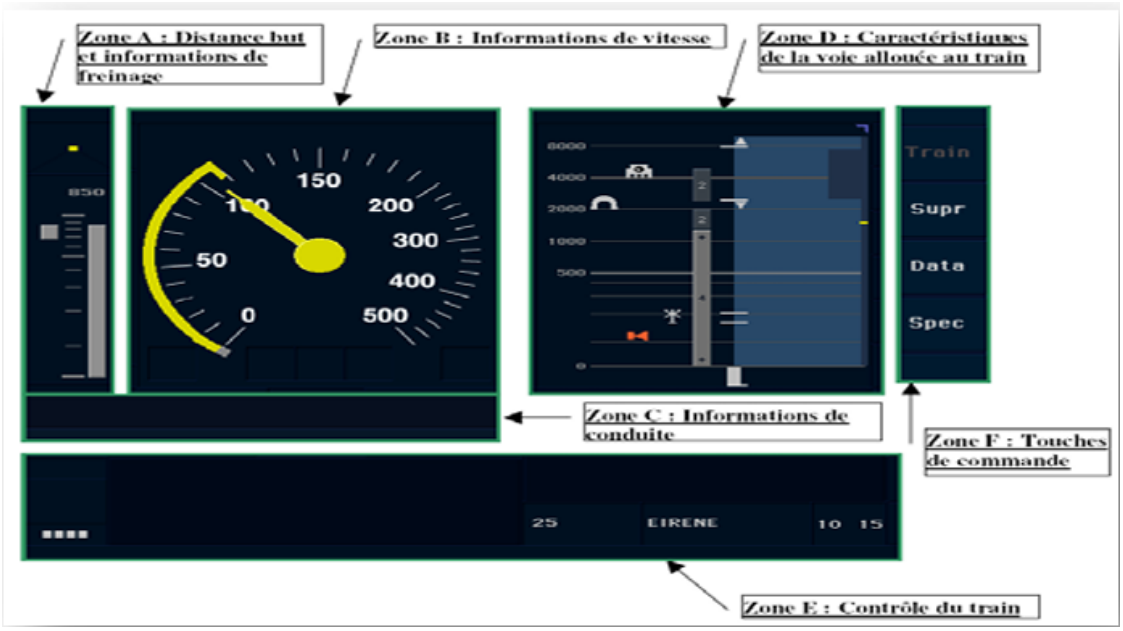


Figure XI-3Interface homme Machine ERTMS

- **L'odométrie :**

Elle doit permettre au système ERTMS bord de connaître en sécurité les informations de déplacement, de vitesse, de mouvement et de sens de marche de l'engin.

- **Contrôle de vitesse** : Les Spécifications ERTMS autorisent deux types de contrôle de vitesse. Un freinage d'urgence ou un freinage de service suivant les circonstances. Dans tous les cas le freinage sera initié automatiquement en cas de nécessité par le système ERTMS bord et permettra d'arrêter le train avant le point de danger.

XI.11APPLICATION SUR NOTRE PROJET :

La ligne ferroviaire Béchar – Tindouf est conçue pour accueillir des trains de voyageurs à une vitesse maximale de **160 km/h** et des trains de marchandises jusqu'à **70 km/h**. Afin d'assurer la sécurité et la fluidité du trafic, une approche de signalisation combinée a été retenue, alliant un système de **signalisation latérale par Block Automatique Lumineux (BAL)** et une **signalisation embarquée** reposant sur l'**ERTMS/ETCS Niveau 1**.

La gestion et la détection des trains seront réalisées au moyen de **compteurs d'essieux** répartis le long de la voie, permettant une surveillance fiable de l'occupation des cantons.
Le contrôle et la supervision de l'ensemble de la ligne seront assurés par des **Postes de Commande Centralisée (PCC)**, chacun associé à un code spécifique pour chaque gare.
Chaque zone d'enclenchement sera également équipée de son propre poste local pour un pilotage autonome en cas de nécessité.

Le **mode de cantonnement** adopté est le **block automatique lumineux sur voie unique**, garantissant un espacement sûr entre les trains grâce à des signaux latéraux automatisés.

Le déploiement de la signalisation inclut l'installation de **signaux LED haute performance** placés à **gauche** dans le sens de circulation. Ces signaux, montés sur des **mâts en béton résistants**, sont conçus pour supporter les conditions climatiques extrêmes.
Chaque unité lumineuse est équipée d'écrans noirs rigides pour prévenir les perturbations dues au vent et de lentilles spéciales permettant une visibilité efficace sur **1000 mètres**, même à l'arrêt, avec une adaptation spécifique pour les zones en courbe.

L'infrastructure de signalisation sera complétée par :

- Un réseau de **câbles enterrés** reliant les postes techniques aux équipements de voie.
- La construction de **fossés techniques** et de **canalisations** pour protéger et faciliter le tirage des câbles.

Cette solution globale permet :

- Une **sécurité maximale** pour les circulations.
- Une **capacité de trafic augmentée**.
- Une **harmonisation** avec les standards européens, favorisant une meilleure interopérabilité et préparant la ligne à des évolutions futures.

XI.12CONCLUSION :

Dans le cadre du projet Béchar-Tindouf, l'utilisation de la signalisation combinée renforce la sécurité et facilite la circulation des trains de voyageurs et de marchandises. En assurant une coordination entre les systèmes de signalisation, la gestion du trafic devient plus précise, ce qui optimise la capacité du réseau et répond aux exigences européennes d'interopérabilité.

ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XII. CHAPITRE XI : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT.

XII.1 INTRODUCTION :

Le projet ferroviaire reliant Béchar à Tindouf, en direction du gisement de fer de Gara Djebilet, constitue une infrastructure stratégique pour le développement économique du sud-ouest algérien. Destiné principalement au transport du minerai, ce corridor minier vise à renforcer l'exploitation et l'exportation des ressources naturelles, tout en stimulant la création d'emplois et l'aménagement du territoire dans une région à fort potentiel. Toutefois, la mise en œuvre d'un tel projet à grande échelle implique nécessairement des interactions avec l'environnement naturel et humain. C'est dans ce cadre qu'intervient l'étude d'impact environnemental et social, un outil essentiel permettant d'évaluer de manière rigoureuse les effets du projet sur les écosystèmes locaux, les ressources en eau, la biodiversité ainsi que sur les communautés riveraines. Cette démarche vise à anticiper les risques, à proposer des mesures d'atténuation appropriées et à garantir une exécution du projet conforme aux normes environnementales en vigueur, favorisant ainsi un développement durable et responsable.

XII.2 OBJECTIF D'ETUDE :

L'objectif principal d'une étude d'impact sur l'environnement est d'évaluer les effets qu'un projet peut avoir sur l'environnement, afin d'en réduire les impacts négatifs et de favoriser une intégration harmonieuse dans le milieu naturel, humain et socio-économique.

Plus précisément, l'étude vise à :

1. Identifier les composantes de l'environnement susceptibles d'être affectées (sol, eau, air, faune, flore, population, patrimoine, etc.).
2. Évaluer la nature, l'ampleur et la durée des impacts (positifs ou négatifs) liés au projet.
3. Informer les décideurs et le public sur les conséquences environnementales du projet.
4. Proposer des mesures d'atténuation, de compensation ou d'accompagnement pour limiter les effets négatifs.
5. Améliorer la conception du projet en tenant compte de l'environnement dès les premières phases.

XII.3 REFERENCES LEGALES ET REGLEMENTAIRE :

Afin d'assurer une mise en œuvre responsable et durable, le projet doit impérativement respecter l'ensemble des lois et règlements applicables en Algérie relatifs à la protection de l'environnement. Le cadre juridique algérien accorde une place prépondérante à la préservation des ressources naturelles et à la promotion du développement durable.

Ci-dessous sont présentées les principales dispositions légales à considérer dans le cadre de ce projet :

Tableau XII-1:références légales et réglementaires

Domaine	Références légales et réglementaires
Protection de l'environnement et développement territorial	- Loi n° 03-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. - Loi n° 01-20 du 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire.
Réglementation des études d'impact environnemental	- Décret exécutif n° 90-78 du 27 février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement. - Décret exécutif n° 07-145 du 19 mai 2007 précisant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et notices d'impact.
Protection de la faune et de la flore	- Ordonnance n° 06-05 du 15 juillet 2006 relative à la protection et à la préservation de certaines espèces animales menacées de disparition. - Décret exécutif n° 12-235 du 24 mai 2012 fixant la liste des espèces animales non domestiques protégées.
Préservation du patrimoine culturel et archéologique	- Loi n° 98-04 du 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel.

L'Algérie intègre systématiquement les exigences environnementales dans la planification et la réalisation de ses projets, conformément aux principes du développement durable.

XII.4 ANALYSE DE L'ETAT INITIAL DE LA ZONE DU PROJET :

XII.4.1 Description du Site :

La région traversée par le tracé ferroviaire entre Béchar et Tindouf présente une géographie variée, incluant des zones désertiques et des plateaux rocheux. Le tracé passe par des zones faiblement peuplées et des moyennes agglomérations.

XII.4.2 Situation géographique et administrative de la wilaya de Béchar

Comme mentionné dans le chapitre de présentation du projet, la wilaya de Béchar est située au sud-ouest de l'Algérie, frontalière avec le Maroc. Elle est délimitée par El Bayadh au nord, Adrar à l'est, Tindouf au sud, et le Maroc à l'ouest. Elle comprend plusieurs daïras et communes réparties sur un vaste territoire saharien.

XII.5 RESSOURCES BIOLOGIQUES ET HUMAINES DE LA ZONE D'ETUDE :

XII.5.1 L'environnement biologique :

- **Faune :**

La zone d'étude présente une diversité faunique notable, comprenant à la fois une faune domestique et une faune sauvage.

- ✓ **Faune domestique :** Elle est principalement constituée de cheptels caprins et camelins , avec une dominance marquée du cheptel camelin, particulièrement bien adapté aux conditions arides de la région.
- ✓ **Faune sauvage :** Plusieurs espèces caractéristiques du milieu saharien ont été identifiées, notamment :

Le fouette-queue, un lézard herbivore bien adapté aux zones désertiques.

L'agame de Bibron , un petit reptile diurne que l'on retrouve souvent sur les rochers et les sols sablonneux.

Le scorpion, dont plusieurs espèces sont présentes dans la région, souvent actives la nuit et représentant un élément typique de la faune saharienne.

L'écureuil de Barbarie vivant en colonies dans les zones rocheuses et arides..

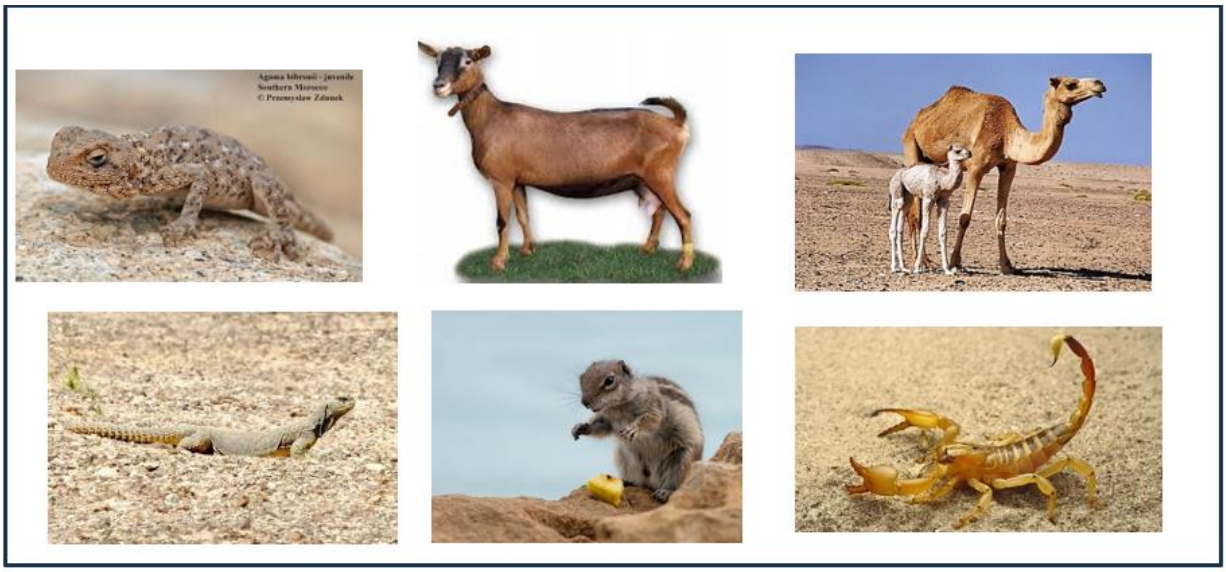


Figure XII-1 Diversité de la faune saharienne

- **Flore :**

Dans le désert saharien, et plus particulièrement dans la région de Béchar, se trouvent des plantes fascinantes parfaitement adaptées aux conditions extrêmes de chaleur et de sécheresse. Ces espèces végétales jouent un rôle clé dans l'équilibre écologique de la région. Voici les principales d'entre elles :

- **Phoenix dactylifera (Palmier dattier)النخلة :**

Le palmier dattier est emblématique des oasis sahariennes, notamment dans la région de Béchar. Il est cultivé pour ses fruits, les dattes, et contribue à la création d'un microclimat favorable à d'autres cultures.

- **Acacia raddiana (Acacia du désert) الطلح**

L'Acacia raddiana est un arbre typique des steppes sahariennes, présent dans la région de Béchar. Il est reconnu pour sa résistance à la sécheresse et ses propriétés médicinales.

- **Tamarix gallica (Tamaris)الطرفاء**

Le tamaris est un arbuste qui pousse dans les zones salines et humides du Sahara, y compris à Béchar. Il est utilisé en médecine traditionnelle pour ses propriétés anti-inflammatoires.

- **Haloxylon ammodendron (Saxaul)الرتم الصحراوي أو الرمث**

Le saxaul est un arbuste adapté aux conditions désertiques extrêmes. Il joue un rôle crucial dans la stabilisation des sols sablonneux du Sahara.

- **Arthrophytum scoparium الحلفاء الكثيفة**

Cette plante herbacée est caractéristique des zones steppiques du Sahara. Elle contribue à la couverture végétale des sols arides.

- **Retama raetam (R'tem)الرتَم**

Le R'tem est un arbuste présent dans les régions sahariennes, notamment à Béchar. Il est utilisé en médecine traditionnelle pour ses propriétés hypoglycémiantes.

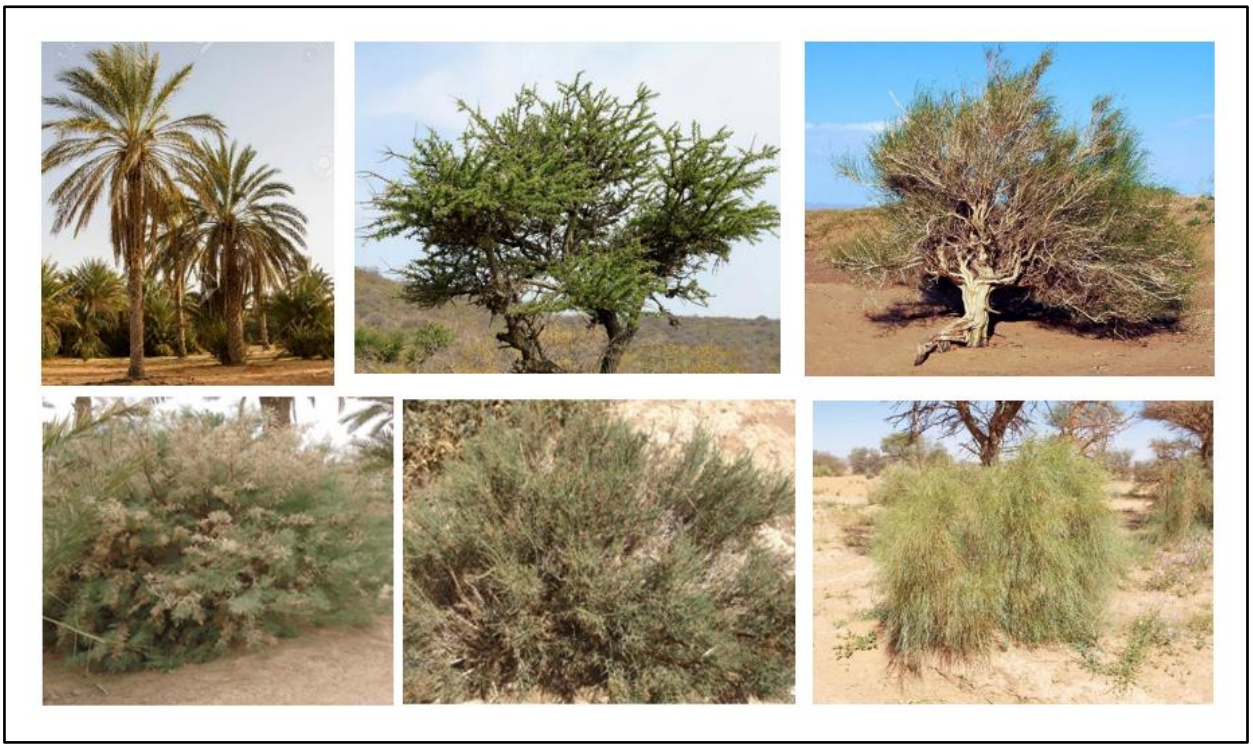


Figure XII-2 : Diversité de la flore saharienne

Environnement économique :

Agriculture :

La wilaya de Béchar dispose d'une superficie agricole totale estimée à 1 424 098 hectares. Toutefois, seule une petite partie de cette surface, soit 35 072 hectares, représente la Superficie Agricole Utile (SAU). Parmi cette dernière, 21 267,75 hectares sont effectivement irrigués, ce qui reflète un potentiel agricole encore partiellement exploité.

Selon le Ministère de l'Intérieur, des Collectivités Locales et de l'Aménagement du Territoire, la région se distingue principalement par la culture de dattes, avec une production atteignant 398 130 quintaux, suivie des produits maraîchers (557 421 quintaux), des céréales (57 123 quintaux), des olives (9 962 quintaux) et des agrumes (6 673 quintaux).

Industrie :

La wilaya de Béchar connaît un développement industriel, avec des projets majeurs dans les secteurs sidérurgique et minier. Le complexe sidérurgique en construction et l'exploitation du gisement de charbon de Menounet vise à diversifier l'économie locale. La **zone d'activité de Béchar**, qui couvre **110 hectares**, est partiellement occupée avec **59,51 hectares** utilisés, laissant **4,82 hectares** disponibles pour de nouveaux projets. Cette zone offre des infrastructures modernes, créant ainsi un environnement favorable pour l'implantation d'entreprises industrielles. Ces initiatives contribuent à la création d'emplois et renforcent l'attractivité de la région pour les investissements, favorisant une croissance économique durable.

XII.6 EVALUATION DES IMPACTS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT :

XII.6.1 Les impacts positifs :

Tableau XII-2:Les impacts positifs directs et indirects du projet

Impacts directs	Impacts indirects
Facilitation du transport de voyageurs et de marchandises	Réduction de l'exode rural dans les zones traversées
Diminution des accidents liés au transport routier	Développement des activités socio-économiques locales
Réduction de la congestion urbaine	Amélioration du niveau de vie des populations
Création d'emplois durant la phase de construction et d'exploitation	Valorisation des produits locaux grâce à un meilleur accès aux marchés
Désenclavement des régions isolées (Béchar, Tindouf)	Attractivité accrue pour les investissements dans les zones traversées
Réduction des émissions sonores dues au remplacement de trains et véhicules vétustes	Développement des services (transport, commerce, logistique) dans les gares et zones voisines
Réduction des émissions de gaz à effet de serre à long terme	Augmentation de la valeur des terrains situés à proximité de la voie ferrée

XII.6.2 Les impacts négatifs :

Le tableau suivant identifie les impacts négatifs du notre projet ferroviaire et propose des mesures d'atténuation adaptées pour limiter les effets environnementaux, sociaux et économiques pendant les différentes phases de réalisation :

Tableau XII-3:Identification des impacts négatifs du projet et les mesures

Catégorie d'impact	Impacts négatifs	Solutions d'atténuation proposées
Pollution de l'eau	Pollution causée par les eaux de lavage, les déversements accidentels de polluants, et les incidents de chantier (notamment lors des travaux dans des zones proches des oueds).	- Installation de systèmes de filtration des eaux usées et de bassin de rétention près des zones sensibles. - Surveiller les rejets polluants durant la phase de chantier.
Sol	Réduction des terres agricoles, notamment dans les zones oasiennes , dégradation de la qualité des sols (érosion due à la circulation des engins).	- Stabilisation des sols par des méthodes adaptées au climat désertique, comme l'utilisation de géotextiles. - Réduction des déplacements d'engins dans les zones agricoles.
Air	Emissions polluantes dues aux moteurs thermiques des engins et dispersion de poussières, impactant la santé publique dans les zones habitées.	- Arrosage systématique des zones de chantier pour limiter la poussière. - Usage de machines moins polluantes et mise en place de dispositifs pour limiter les émissions.
Flore	Perte de végétation dans les zones traversées, notamment des espèces endémiques du désert .	- Re-végétalisation des zones dégradées avec des espèces locales adaptées à la région saharienne. - Minimiser les zones de travail pour limiter les dégâts sur la flore naturelle.
Faune	Perturbation des habitats fauniques (notamment des espèces sahariennes vulnérables) et impacts dus au bruit des trains.	- Planification des tracés en évitant les zones critiques pour la faune. - Réduction de la vitesse des trains près des zones écologiques sensibles.
Milieu humain	Expropriation de terres agricoles et risques sociaux liés à la relocalisation de résidents, notamment dans des régions éloignées de Béchar.	- Consultation avec les communautés locales pour des solutions équitables de relocalisation.

		- Aménagement de passages sécurisés et installation de barrières acoustiques près des zones résidentielles.
Milieu agricole	Réduction des terres agricoles dans les zones de culture des palmeraies et autres cultures locales.	- Planification du tracé pour éviter les zones agricoles stratégiques. - Création de comités de liaison pour faciliter la communication entre les autorités ferroviaires et les agriculteurs.



Figure XII-3:Le passage du projet par des terrains agricoles (google Earth)

XII.7 CONCLUSION :

Dans ce chapitre, une analyse approfondie des impacts environnementaux liés au contournement ferroviaire a été présentée, mettant en évidence plusieurs enjeux essentiels. L'intégration anticipée des préoccupations environnementales dès les premières étapes de la planification a permis d'identifier les contraintes écologiques et d'y répondre de manière proactive, contribuant ainsi à une évaluation plus rigoureuse de la viabilité du projet.

En conclusion, la réussite de ce projet repose sur un engagement permanent en faveur du développement durable et sur la capacité d'adapter les mesures d'atténuation aux évolutions et défis futurs.

PLANIFICATION

XIII. CHAPITRE XII : PLANIFICATION .

XIII.1 INTRODUCTION :

La planification d'un projet ferroviaire est une étape essentielle qui conditionne le bon déroulement et la réussite de l'ensemble des travaux. Elle consiste à organiser, coordonner et anticiper toutes les opérations nécessaires à la réalisation du projet, depuis les premières études jusqu'à la mise en service de la ligne. Avant d'engager les interventions sur le terrain, une planification rigoureuse permet de structurer chaque phase de manière cohérente et efficace, tout en intégrant les contraintes techniques, économiques et environnementales. Cette organisation préalable est indispensable pour garantir un avancement optimal du projet dans les meilleures conditions de sécurité, de qualité et de délai.

XIII.2 DEFINITION DE MS PROJECT :

Microsoft Project, souvent abrégé en MS Project, est un logiciel de gestion de projet développé par Microsoft. Il est conçu pour aider les chefs de projet et les planificateurs à organiser, suivre et contrôler l'avancement des projets. Il permet notamment de gérer les ressources, les délais, les budgets, ainsi que d'analyser et de partager les informations relatives aux projets. Aujourd'hui, MS Project est l'un des outils de gestion de projet les plus largement utilisés dans le monde.

XIII.3 LES ETAPES DE LA PLANIFICATION DUN PROJET AVEC MS PROJECT :

La planification d'un projet avec MS Project suit une série d'étapes précises, qu'il convient de respecter dans l'ordre :

- Établir la liste des tâches à réaliser pour atteindre les objectifs du projet.
- Définir les liens de dépendance entre les tâches (en série ou en parallèle).
- Évaluer la durée et le coût de chaque tâche.
- Construire le réseau du projet, en intégrant les durées et les marges libres associées à chaque tâche.
- Élaborer le diagramme de Gantt pour visualiser graphiquement l'enchaînement et la planification des tâches dans le temps.
- Affecter les ressources humaines et matérielles nécessaires à l'exécution de chaque tâche.

XIII.4 DIAGRAMME DE GANTT :

Le diagramme de Gantt est un outil graphique de planification créé par Henry L. Gantt en 1917. Il permet de représenter visuellement les tâches d'un projet dans le temps, en tenant compte de leur ordre d'exécution. L'axe horizontal indique le temps, et l'axe vertical les tâches. Chaque tâche est symbolisée par une barre dont la position et la longueur correspondent à sa date de début et sa durée. Cet outil facilite le suivi de l'avancement du projet et la gestion des dépendances entre les tâches.

XIII.5 APPLICATION SUR NOTRE PROJET :

Le diagramme de Gantt a été généré à l'aide de MS Project, à partir des données du projet. Les résultats, synthétisés dans le tableau suivant, indiquent une durée totale de 8 mois et 8 jours.

DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

XIV. CHAPITRE XIII : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF.

N°	Désignation des tâches	U	PU	Marché	
				Quantité	Montant
LOT : 01 - INSTALLATION DE CHANTIER					
1.01	Amenée du matériel et installation général du chantier	F	**139 703 152.00**	1	139 703 152.00
1.02	Repli du matériel	F	**6 842 584.00**	1	6 842 584.00
1.03	Fourniture et installation de laboratoire de chantier	F	**60 363 956.24**	1	60 363 956.24
1.04	Repliement de laboratoire de chantier	F	**30 823 976.57**	1	30 823 976.57
Total LOT : 01 - INSTALLATION DE CHANTIER					**237 733 668.81**
LOT : 02 - ETUDES D'EXECTION					
2.01	Étude d'exécution des terrassement	F	**200 000 000.00**	1	200 000 000.00
Total LOT : 01 - Etude d'éxecution					**200 000 000.00**
LOT : 03 - TERRASSEMENTS GENERAUX					
3.01	Décapage de terre végétale sure epaisseur de 0,30 m	M3	**685.1**	117 161.50	80 267 343.65
3.02	Déblai en tarrain meuble	M3	**600**	136832	82 099 200.00
3.03	Déblais en terrain rocheux	M3	**7 150.00**	75 290.20	538 324 930.00
3.04	Déblai en terrain rippable	M3	**1 950.00**	75 275.90	146 788 005.00
3.05	Déblai mise en remblai	M3	**469.13**	66376.3	31 139 113.62
3.06	Mise en remblai en materiaux Qs3 pour la partie superieure des remblais par couche de 1m compacté jusqu'à son optimum	M3	**3 900.00**	145 945.00	569 185 500.00
3.07	Mise en remblai de terrain issu de lieux d'emprunt	M3	**676.2**	777 407.40	525 682 883.88
3.08	Ensemencement des talus	M2	**2050**	357 200.00	339 260 000.00
3.09	Evacuation des terres en excès à la décharge publique.	M3	**550**	97 873.00	53 830 150.00
	Total LOT : 03 – TERRASSEMENTS GENERAUX				**2 443 711 400.26**
	LOT : 04 - ASSISE FERROVIAIRE				

4.01	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme	M3	**1 500.00**	46 970.00	70 455 000.00
4.02	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation	M3	**1 900.00**	24 048.00	45 691 200.00
4.03	Fourniture et mise en œuvre de la couche de s/ballast	M3	**3 341.80**	22 017.00	73 576 410.60
	Total LOT : 04- ASSISE FERROVIARE				**189 722 610.60**
	Total LOT: 05 - ASSISE FERROVIAIRE				
5.01	Buses de tuyaux en béton armé diamètre 1500mm	ML	**17 000.00**	504	8 568 000.00
5.02	Fossés trapézoïdaux en béton armé	M3	**4 720.00**	3 894.78	18 383 361.60
5.03	Dalot en béton armé coupe transversale 2,00 X 3,00 m/2 cellule	M^3	**47000**	554.1	26 042 700.00
	Total LOT : 05 – AOUVRAGE HYDRAULIQUE				**52 994 061.60**
	LOT : 06 - TRAVAUX DE LA VOIE				
	01/ PLEIN VOIE				
6.01	Fourniture et pose de ballast	M3	**8679.832**	38 375.00	333 088 553.00
6.02	Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60,21 kg/m)	Tonne	**379500**	1 848.45	701 485 636.50
6.03	Fourniture des attachés pour rails UIC 60 (vossloh)	U	**1610**	102 336.00	164 760 960.00
6.04	Fourniture semelle cannellée (200x165x9)	U	**345**	51 168.00	17 652 960.00
6.05	Pose de la voie	ML	**5626**	15 350.00	86 359 100.00
6.06	Fourniture des traverses monobloc M450	U	**25000**	25 584.00	639 600 000.00
6.07	Soudage électrique	U	**25818.7075**	803	20 732 422.12
6.08	Soudage aluminothermique	U	**25818.7075**	50	1 290 935.38
6.09	Fourniture et pose poteaux kilométrique	U	**20451.4735**	16	327 223.58
6.10	Fourniture et pose poteaux hectométrique	U	**14343.49**	144	2 065 462.56
6.11	Fourniture et pose bornes de repère	U	**12962.9725**	730	9 462 969.93
6.12	Fourniture et pose poteaux de déclivité	U	**10377.6805**	13	134 909.85
6.13	Libération des contraintes du LRS	ML/V	**992.45**	16 000.00	15 879 200.00

	02/GARE DE				
6.14	Fourniture et pose de ballast	M3	**8679.832**	3 687.50	32 006 880.50
6.15	Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60,21 kg/m)	Tonne	**379500**	88.81	33 703 300.13
6.16	Fourniture des attachés pour rails UIC 60 (vossloh)	U	**1610**	9 832.00	15 829 520.00
6.17	Fourniture semelle cannellée (200x165x9)	U	**345**	4 916.00	1 696 020.00
6.18	Pose de la voie	ML/V	**8050**	1 475.00	11 873 750.00
6.19	Fourniture des traverses monobloc M450	U	**25000**	2 458.00	61 450 000.00
6.20	Fourniture des appareils de voie simples UIC 60 300-1/9	U	**12626324.23**	2	25 252 648.46
6.21	Fourniture des appareils de voie simples UIC 60 500-1/12	U	**15899976.16**	2	31 799 952.32
6.22	Pose des appareils de voie simples UIC 60-300 1/9	U	**543302.82**	2	1 086 605.64
6.23	Pose des appareils de voie simples UIC 60-500 1/12	U	**614526.52**	2	1 229 053.04
6.24	Soudage électrique	U	**25818.7075**	77	1 988 040.48
6.25	Soudage aluminothermique	U	**25818.7075**	5	129 093.54
6.26	Heurtoir	U	**1290186.967**	1	1 290 186.97
	Total LOT : 06 - TRAVAUX DE LA VOIE				**2 240 045 149.88**
	LOT : 07 - OUVRAGES				
7.01	Passages supérieurs	U	**190 597 900.00**	5	952 989 500.00
7.02	Passage inferieur	U	**439 988 950.00**	1	439 988 950.00
	Total LOT : 07 - OUVRAGES				1 392 978 450.00
LOT:08- SIGNALISATION					
	Signalisation	**F**	**2 607 200.00**	**1**	**2 607 200.00**
	Total LOT:SIGNALISATION				**2 607 200.00**
	Montantdu projet HT				**6 757 185 341.14**
	Montant de projet en TTC (avec taux de TVA 19%				**8 041 050 555.96**

- **Montant total du projet en TTC :**

Huit milliards quarante et un millions cinquante mille cinq cent cinquante-cinq dinars et quatre-vingt-seize centimes.

CONCLUSION GENERAL

XV. CONCLUSION GENERAL :

Les infrastructures ferroviaires représentent aujourd'hui un pilier fondamental dans le développement économique d'un pays. Elles assurent une meilleure mobilité des marchandises, facilitent les échanges interrégionaux et soutiennent les activités industrielles. À travers ce mémoire, nous avons eu l'opportunité d'étudier en Avant-Projet Détaillé (APD) une section stratégique de la future ligne ferroviaire minière Béchar–Gara Djebilet, située entre les points kilométriques **PK 19+675 et PK 39+800**, dans la wilaya de Béchar.

Ce tronçon s'inscrit dans un projet national majeur, visant à assurer l'acheminement du minerai de fer extrait du gisement de Gara Djebilet vers les ports du nord du pays, contribuant ainsi à renforcer la compétitivité de l'économie nationale et à valoriser les ressources minières du sud algérien. L'étude a été menée selon les standards techniques de l'UIC et les recommandations de la SNTF, en tenant compte des exigences de traction lourde (32,5 t/essieu).

Sur le plan technique, ce projet nous a permis de mettre en œuvre les compétences acquises tout au long de notre formation à l'ENSTP. L'utilisation des logiciels spécialisés comme **AutoCAD, Covadis, Civil 3D, Google Earth, Géo 5.0 et MS Project** a renforcé notre maîtrise de la conception ferroviaire et de la modélisation des structures. Cette immersion nous a également permis de comprendre les défis du terrain, notamment les contraintes géotechniques et les exigences liées au tracé, à l'assainissement et à la superstructure.

Sur le plan humain et professionnel, ce projet a été une expérience enrichissante. Il nous a appris à travailler en équipe, à gérer le temps, à communiquer avec différents intervenants et à prendre des décisions techniques rigoureuses. L'accompagnement de nos encadrants et des ingénieurs sur le terrain a joué un rôle décisif dans la qualité de notre apprentissage et dans notre évolution personnelle.

En somme, ce projet de fin d'études a non seulement renforcé notre savoir-faire en ingénierie ferroviaire, mais a également consolidé notre volonté de contribuer activement au développement durable des infrastructures de transport en Algérie. Fortes de cette expérience, nous sommes désormais prêtes à relever les défis techniques et humains du métier d'ingénieur, avec engagement, professionnalisme et ambition.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE:

[1]"History of the railway track - Wikipedia." Accessed: May 28, 2025. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_railway_track

[2] "Chemin de fer — Wikipédia." Accessed: May 28, 2025. [Online]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Chemin_de_fer

[3] "L'aventure très osée du Stockton-Darlington en 1825. – Train Consultant Clive Lamming." Accessed: May 28, 2025. [Online]. Available: https://trainconsultant.com/2024/03/17/laventure-tres-osee-du-stockton-darlington-en-1825/

[4] "Sustainability | UIC - International union of railways." Accessed: May 29, 2025. [Online]. Available: https://uic.org/sustainability/

[5] "Rail Freight Transportation Market Share, Trends, Forecast, 2033." Accessed: May 30, 2025. [Online]. Available: https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/rail-freight-transportation-market-118106

[6] "UIC60 Rails | Heavy-Duty Rail Solutions for High-Speed train." Accessed: May 31, 2025. [Online]. Available: https://glorytrack.com/uic-60-rails/

[7] AREMA (AMERICAN RAILWAY ENGINEERING AND MAINTENANCE-OF-WAY ASSOCIATION), "Manual for Railway Engineering," 2010.

[8] UIC CODE, "Earthworks and track bed for railway lines Leaflet to be classified in Volume," 2008.

[9] Ali Idir tsa-algerie, "L'Algérie va déployer un train géant de 2,2 km dans le désert." Accessed: May 31, 2025. [Online]. Available: www.tsa-algerie.com/lalgerie-va-deployer-un-train-geant-de-22-km-dans-le-desert

[10] "Les trains les plus longs - Longest trains - abcdef.wiki." Accessed: May 31, 2025. [Online]. Available: https://fr.abcdef.wiki/wiki/Longest_trains

[11] "Pit Ponies - Ghosts of the Coal Mines | Horse Journals." Accessed: May 28, 2025. [Online]. Available: https://www.horsejournals.com/popular/history-heritage/pit-ponies-ghosts-coal-mines

[12] Cours voie ferrée – M. MORSLI Rabeh, Enseignant à l'ENSTP.

[13] Cours Hydraulique appliquée et assainissement – M. RAHMANI Douadi, Enseignant à l'ENSTP.

[14] UIC CODE, "Earthworks and track bed for railway lines Leaflet to be classified in Volume," 2008.

[15] SNCF – IN 0272 : Conception du tracé de la voie courante V ≤ 220 km/h, Version 01,12 septembre 2006.

[16] SNTF – Référentiel Technique : Constituants de la voie, Chapitre 9, 2005.

[17] SNTF – Référentiel Technique : Géométrie de la voie, Chapitre 6, Version 2, 22 décembre 2005.

SNTF chapitre 07.2.2 « OUVRAGES EN TERRE

[18] UIC (Union Internationale des Chemins de Fer) – Caractéristiques de tracé des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides, UIC 703R, 01 janvier 1989.

[19] UIC – Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, UIC 719 R a & b, 2e édition, 1995.

[20] UIC – UIC 741 OR : Quais des gares à voyageurs – Règles pour l'implantation des bordures des quais par rapport à la voie, 3e édition.

[21] SETIRAIL – Avant-Projet Sommaire – Mission Étude géologique et géotechnique, 2022.

[23] SETIRAIL – Avant-Projet Sommaire – Mission Étude hydrologique et hydraulique, 2022.

[24] IN 1482 (SNCF) – Signaux – Titre I : Signalisation au sol, Version 1, édition du 5 octobre 2005.

[25] Groupe d'experts nationaux et internationaux, Règlement Parasismique des Ouvrages d'Art 2024, Alger, ministère des Travaux Publics.

[26] SNCF : IN02915, condition d'armement et trace pour la création de LRS .

[27] Cosider Engineering – Rapport de l'étude géologique et géotechnique, 2023.

[28] Cosider Engineering – Rapport de l'étude hydraulique et hydrologique, 2023.

[29] Vossloh : Brochure technique du système W30 HH.

[30] Maghreb Émergent : Article sur le contrat de Vossloh pour le projet ferroviaire Gara Djebilet – Béchar – Tindouf.

ANNEXES

ANNEXE A : Listing de l'axe en plan

Axe En Plan

Nom du dessin tracé pk19+675 35+800.dwg
Nom de l'axe axe pfe
Date du listing 10/06/2025 à 18:27:06

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	241.89gr	5843.288	19+675.000	577032.703	3493789.634
Clothoïde 1	Paramètre	-428.952	80.000	25+518.288	573459.394	3489166.272
Arc 1	Rayon	-2300.000 m	1080.332	25+598.288	573410.106	3489103.259
	Centre X	571615.021 m				
	Centre Y	3490541.199 m				
Clothoïde 2	Paramètre	428.952	80.000	26+678.620	572564.847	3488446.484
Droite 2	Gisement	274.01gr	481.229	26+758.620	572491.611	3488414.294
Clothoïde 3	Paramètre	489.898	80.000	27+239.849	572049.944	3488223.214
Arc 2	Rayon	3000.000 m	2778.719	27+319.849	571976.663	3488191.123
	Centre X	573204.470 m				
	Centre Y	3485453.881 m				
Clothoïde 4	Paramètre	-489.898	80.000	30+098.568	570278.691	3486117.069
Droite 3	Gisement	213.34gr	994.165	30+178.568	570261.700	3486038.895
Clothoïde 5	Paramètre	-428.952	80.000	31+172.734	570054.874	3485066.482
Arc 3	Rayon	-2300.000 m	1262.987	31+252.734	570037.778	3484988.331
	Centre X	567796.762 m				
	Centre Y	3485505.874 m				
Clothoïde 6	Paramètre	428.952	80.000	32+515.721	569438.180	3483894.742
Droite 4	Gisement	250.51gr	919.421	32+595.721	569381.484	3483838.303
Arc 4	Rayon	5000.000 m	1701.332	33+515.142	568726.123	3483193.449
	Centre X	572232.974 m				
	Centre Y	3479629.463 m				
Droite 5	Gisement	228.85gr	380.760	35+216.474	567737.747	3481818.740
				35+597.234	567571.029	3481476.419
Longueur totale de l'axe 15922.234 mètre(s)						

ANNEXE B : Abscisse Sommets et Raccordements

Profil En Long Projet

Nom du dessin tracé pk19+675 35+800.dwg
Nom de l'axe axe pfe - Axe
Date du listing 10/06/2025 à 18:28:18

Elts Caractéristiques				Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente	0.12 %	325.155	19+675.138	788.956
Pente 2	Pente	0.00 %	767.990	20+000.293	789.357
Cercle 1	Rayon	-18000.000 m	125.997	20+768.283	789.357
	Sommet Absc.	20+768.283 m			
	Sommet Alt.	789.357 m			
Pente 3	Pente	-0.70 %	329.591	20+894.280	788.916
Cercle 2	Rayon	30000.000 m	59.997	21+223.872	786.609
	Sommet Absc.	21+433.866 m			
	Sommet Alt.	785.874 m			
Pente 4	Pente	-0.50 %	893.466	21+283.868	786.249
Cercle 3	Rayon	-20000.000 m	79.994	22+177.334	781.781
	Sommet Absc.	22+077.335 m			
	Sommet Alt.	782.031 m			
Pente 5	Pente	-0.90 %	943.742	22+257.328	781.221
Cercle 4	Rayon	30000.000 m	269.989	23+201.070	772.728
	Sommet Absc.	23+471.059 m			
	Sommet Alt.	771.513 m			
Pente 6	Pente	-0.00 %	179.079	23+471.059	771.513
Pente 7	Pente	0.05 %	1071.020	23+650.138	771.513
Cercle 5	Rayon	-20000.000 m	209.990	24+721.158	772.048
	Sommet Absc.	24+731.158 m			
	Sommet Alt.	772.051 m			
Pente 8	Pente	-1.00 %	437.298	24+931.148	771.051
Cercle 6	Rayon	15000.000 m	15.000	25+368.446	766.678
	Sommet Absc.	25+518.439 m			
	Sommet Alt.	765.928 m			
Pente 9	Pente	-0.90 %	1336.111	25+383.446	766.535
Cercle 7	Rayon	25000.000 m	349.984	26+719.557	754.511
	Sommet Absc.	26+944.545 m			
	Sommet Alt.	753.498 m			
Pente 10	Pente	0.50 %	856.798	27+069.541	753.811
Cercle 8	Rayon	-18000.000 m	251.988	27+926.339	758.095
	Sommet Absc.	28+016.336 m			
	Sommet Alt.	758.320 m			
Pente 11	Pente	-0.90 %	1455.856	28+178.327	757.591
Cercle 9	Rayon	30000.000 m	257.985	29+634.183	744.488
	Sommet Absc.	29+904.167 m			
	Sommet Alt.	743.273 m			
Pente 12	Pente	-0.04 %	1088.443	29+892.167	743.276
Cercle 10	Rayon	-20000.000 m	131.995	30+980.610	742.840
	Sommet Absc.	30+972.610 m			

	Sommet Alt.	742.842 m			
Pente 13	Pente	-0.70 %	2141.117	31+112.605	742.352
Cercle 11	Rayon	30000.000 m	89.895	33+253.722	727.364
	Sommet Absc.	33+463.714 m			
	Sommet Alt.	726.629 m			
Pente 14	Pente	-0.40 %	991.480	33+343.617	726.870
Cercle 12	Rayon	-25000.000 m	100.099	34+335.096	722.901
	Sommet Absc.	34+235.015 m			
	Sommet Alt.	723.101 m			
Pente 15	Pente	-0.80 %	802.698	34+435.195	722.299
Cercle 13	Rayon	20000.000 m	260.143	35+237.893	715.872
	Sommet Absc.	35+398.037 m			
	Sommet Alt.	715.231 m			
Pente 16	Pente	0.50 %	99.199	35+498.035	715.481
				35+597.234	715.977
Longueur totale de l'axe 15922.097 mètre(s)					
Longueur développée totale de l'axe 15922.416 mètre(s)					

ANNEXE C: Classes de qualité des sols UIC 719R

Classification des sols (identification géotechnique)		Classe de qualité des sols
0.1	Sols organiques	QS0
0.2	Sols fins (comportant plus de 15 % de fines[a]) foisonnés, humides et donc non compactables	
0.3	Sols thixotropes[b] (quick-clay par exemple)	
0.4	Sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse)	
0.5	Sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels, par exemple)	
0.6	Sols mixtes "minéraux organiques"[b]	
1.1	Sols comportant plus de 40 % de fines[a] (sauf sols 0.2)	QS1
1.2	Roches très évolutives	
	Par exemple :	
	- Craies de ρ_d < 1,7 t/m^3 et de friabilité forte - Marnes - Schistes altérés	
1.3	Sols comportant de 15 à 40 % de fines[a] (sauf sols 0.2)	QS1[c]
1.4	Roches évolutives	
	Par exemple :	
	- Craies de ρ_d < 1,7 t/m^3 et de friabilité faible - Schistes altérés	
1.5	Roches tendres	
	Par exemple :	
	Si microdeval en présence d'eau (MDE) > 40 et Los Angeles (LA) > 40	
2.1	Sols comportant de 5 à 15 % de fines[a]	QS2[d]
2.2	Sols comportant moins de 5 % de fines[a] mais uniformes ($C_U \leq 6$)	
2.3	Roches moyennement dures	
	Par exemple :	
	Si 25 < MDE ≤ 40 et 30 < LA ≤ 40	

ANNEXE D : Les épaisseurs minimales de la couche d'assiseselon UIC719

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

(e en mètres)

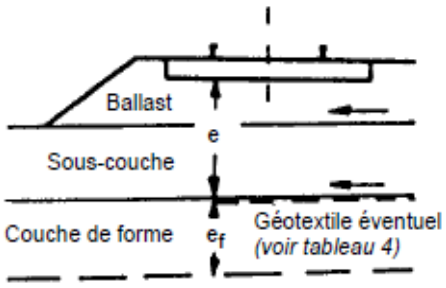


Fig. 9 - Calcul de l'épaisseur minimale "e" des couches d'assise

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

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

ANNEXE E : Tableau de canalisation 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 F : Définition de la classe de qualité des sols à partir de la classification de la norme NF P 11 300

Classification de la norme NF P 11 300			CLASSE DE QUALITE DES SOLS (voir figure 5)			
Classe	Désignation	sous-classe	QS 0	QS 1	QS 2	QS 3
A	*Sols fins*	A1	A1h	A1m & A1s	A1s B.C.Hydro saison sèche	
		A2	A2h	A2m & A2s	A2s B.C.Hydro saison sèche	
		A3	A3h	A3m & A3s		
		A4	A4h	A4m & A4s (1)		
B	*Sols sableux et graveleux avec fines*	B1				
		B2	B2h	B2m	B2s B.C. Hydro.	
		B3				Propre et bien gradué Dureté élevée
		B4	B4h	B4m	B4s	Propre et bien gradué Dureté élevée
		B5	B5h	B5m	B5s	
		B6	B6h	B6m	B6s B.C. Hydro.	
C	*Sols comportant des fines et de gros éléments*	C1	La classe de qualité est celle de la fraction 0/50			
		C2	fraction 0/50 de classe de qualité QS0 w $\geq$ 1,25 wopn	fraction 0/50 de classe de qualité QS0 w < 1,25 wopn	fraction 0/50 de classe de qualité QS1	Propre et bien gradué Dureté élevée
D	*Sols insensibles à l'eau*	D1			Assurer la traficabilité Planche d'essai	
		D2		Dureté faible	Dureté moyenne	Propre et bien gradué Dureté élevée
		D3		Dureté faible	Dureté moyenne	Propre et bien gradué Dureté élevée

Légende

ANNEXE G : Tableau de Classification du sol selon GTR

Classe B (suite)

SOLS SABLEUX ET GRAVELEUX AVEC FINES (suite)

← NIVEAU DE CLASSIFICATION NECESSAIRE POUR L'EMPLOI EN REMBLAI →

← NIVEAU DE CLASSIFICATION NECESSAIRE POUR L'EMPLOI EN COUCHE DE FORME →

Classement selon la nature					Classement selon l'état hydrique		Classement selon le comportement	
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Caractères principaux	Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe	Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe
Dmax ≤ 50 mm et tamisat à 80 µm ≤ 35%	**B Sols sableux et graveleux avec fines**	- tamisat à 80 µm ≤ 12% - tamisat à 2 mm ≤ 70% - **VBS** > 0,2 ou ES ≤ 25	B_4 Graves argileuses (peu argileuses)...	La plasticité de leurs fines rend ces sols sensibles à l'eau. Ils sont plus graveleux que les sols B_5 et leur fraction sableuse est plus faible. Pour cette raison, ils sont en général perméables. Ils réagissent assez rapidement aux variations de l'environnement hydrique et climatique (humidification - séchage). Lorsqu'ils sont extraits dans la nappe, il est assez peu probable, en climat océanique, que leur état hydrique puisse s'améliorer jusqu'à devenir "moyen". Leur emploi en couche de forme sans traitement avec des LH nécessite, par ailleurs, la mesure de leur résistance mécanique (Los Angeles, LA, et/ou Micro Deval en présence d'eau, MDE).	**IPI** ≤ 7 ou $w_n \geq 1{,}25\ w_{OPN}$	B_4 th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{41} th
							LA > 45 ou MDE > 45	B_{42} th
					7 < **IPI** ≤ 15 ou $1{,}10\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}25\ w_{OPN}$	B_4 h	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{41} h
							LA > 45 ou MDE > 45	B_{42} h
					$0{,}9\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}10\ w_{OPN}$	B_4 m	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{41} m
							LA > 45 ou MDE > 45	B_{42} m
					$0{,}6\ w_{OPN} \leq w_n < 0{,}9\ w_{OPN}$	B_4 s	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{41} s
							LA > 45 ou MDE > 45	B_{42} s
					$w_n < 0{,}6\ w_{OPN}$	B_4 ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{41} ts
							LA > 45 ou MDE > 45	B_{42} ts
		- tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35% - **VBS** ≤ 1,5 ou Ip ≤ 12	B_5 Sables et graves très silteux...	La proportion de fines et la faible plasticité de ces dernières, rapprochent beaucoup le comportement de ces sols de celui des sols A_1. Pour la même raison qu'indiquée à propos des sols A_1 il y a lieu de préférer le critère VBS au critère Ip, pour l'identification des sols B_5. Leur emploi en couche de forme sans traitement avec des LH nécessite de connaître leur résistance mécanique (Los Angeles, LA, et/ou Micro Deval en présence d'eau, MDE).	**IPI** ≤ 5 ou $w_n \geq 1{,}25\ w_{OPN}$	B_5 th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{51} th
							LA > 45 ou MDE > 45	B_{52} th
					5 < **IPI** ≤ 12 ou $1{,}10\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}25\ w_{OPN}$	B_5 h	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{51} h
							LA > 45 ou MDE > 45	B_{52} h
					12 < IPI ≤ 30 ou $0{,}9\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}10\ w_{OPN}$	B_5 m	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{51} m
							LA > 45 ou MDE > 45	B_{52} m
					$0{,}6\ w_{OPN} \leq w_n < 0{,}9\ w_{OPN}$	B_5 s	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{51} s
							LA > 45 ou MDE > 45	B_{52} s
					$w_n < 0{,}6\ w_{OPN}$	B_5 ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{51} ts
							LA > 45 ou MDE >45	B_{52} ts
		- tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35% - **VBS** >1,5 ou Ip >12	B_6 Sables et graves, argileux à très argileux	L'influence des fines est prépondérante ; le comportement du sol se rapproche de celui du sol fin ayant même plasticité que les fines du sol avec toutefois une plus grande sensibilité à l'eau due à la présence de la fraction sableuse en plus grande quantité.	**IPI** ≤ 4 ou $w_n \geq 1{,}3\ w_{OPN}$ ou **Ic** ≤ 0,8	B_6 th		
					4< **IPI** ≤ 10 ou 0,8 < Ic ≤ 1 ou $1{,}1\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}3\ w_{OPN}$	B_6 h		
					10< IPI ≤ 25 ou 1 < **Ic** ≤ 1,2 ou $0{,}9\ w_{OPN} \leq \mathbf{w_n} < 1{,}1\ w_{OPN}$	B_6 m		
					$0{,}7 w_{OPN} \leq \mathbf{w_n} < 0{,}9\ w_{OPN}$ ou 1,2 < **Ic** ≤ 1,3	B_6 s		
					$\mathbf{w_n} < 0{,}7\ w_{OPN}$ ou **Ic** > 1,3	B_6 ts		

*Les paramètres inscrits en **caractères gras** sont ceux dont le choix est à privilégier.*

ANNEXE H : Tableau de Classification de l'agressivité selon la norme NF P 18-011, juin 2009

Classe d´agressivité	Spécifications mg/kg	Environnement chimique
XA1	<2000	Non agressif
XA2	>3000 et ≥12000	Agressivité modérée
XA3	>12000 et ≤24000	Forte agressivité

ANNEXE I : Tableau de l'utilisation des matériaux en remblai d'après GTR

CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI

B_5 (états m, s et ts)

Sol	Observations générales	Situation météorologique		Conditions d'utilisation en remblai	Code E G W T R C H
B_5m	Ces sols sont très sensibles à la situation météorologique, qui peut très rapidement interrompre le chantier à cause de l'excès de teneur en eau ou au contraire, conduire à un matériau sec, difficile à compacter	++	pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai, avec des garanties de qualité suffisantes	NON
		+	pluie faible	E : extraction frontale C : compactage moyen H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	2 0 0 0 0 2 2
		=	ni pluie, ni évaporation importante	C : compactage moyen	0 0 0 0 0 2 0
		–	évaporation importante	**Solution 1 : arrosage** W : arrosage pour maintien de l'état C : compactage moyen	0 0 3 0 0 2 0
				Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage intense	0 0 0 0 0 1 0
B_5s	Ces sols sont très difficiles à compacter, du fait de leur faible teneur en eau. En conséquence il convient : - soit de compacter intensément avec un arrosage superficiel - soit d'humidifier le matériau dans sa masse pour le ramener en B_5m Cette humidification est encore relativement facile à réaliser	++	pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai, avec des garanties de qualité suffisantes	NON
		+	pluie faible	E : extraction en couche R : couches minces C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	1 0 0 0 1 1 2
		=	ni pluie, ni évaporation importante	**Solution 1 : humidification** W : humidification pour changer d'état R : couches minces C : compactage moyen	0 0 4 0 1 2 0
				Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	0 0 0 0 0 1 2
		–	évaporation importante	**Solution 1 : extraction frontale et arrosage** E : extraction frontale W : arrosage pour maintien de l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	2 0 3 0 0 1 2
				Solution 2 : humidification W : humidification pour changer d'état R : couches minces C : compactage moyen	0 0 4 0 1 2 0
B_5ts	**Sols normalement inutilisables en l'état** Mais leur humidification dans la masse peut être envisagée pour les ramener à l'état B_5s, voire B_5m				NON

Cubatures Déblai Remblai

Nom du dessin tracé pk19+675 35+800 FINAL .dwg
Nom de l'axe axe pfe - Axe
Table associée Aucune...
Date du listing 28/06/2025 à 21:21:22

Num.	Abscisse	Longueur	Surfaces		Volumes Partiels		Volumes Cumulés	
			Déblai	Remblai	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
P01	19+675.000	12.500	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
P02	19+700.000	25.000	0.00	78.28	0.0	1957.1	0.0	1957.1
P03	19+725.000	25.000	0.00	51.14	0.0	1278.4	0.0	3235.5
P04	19+750.000	25.000	0.00	49.78	0.0	1244.6	0.0	4480.2
P05	19+775.000	25.000	0.00	45.50	0.0	1137.6	0.0	5617.7
P06	19+800.000	25.000	0.00	31.03	0.0	775.7	0.0	6393.5
P07	19+825.000	25.000	0.00	12.44	0.0	311.1	0.0	6704.6
P08	19+850.000	25.000	0.00	9.03	0.0	225.7	0.0	6930.3
P09	19+875.000	25.000	0.00	5.71	0.0	142.7	0.0	7073.0
P10	19+900.000	25.000	0.93	3.03	23.3	75.7	23.3	7148.7
P11	19+925.000	25.000	2.36	1.12	59.0	27.9	82.3	7176.6
P12	19+950.000	25.000	3.52	0.36	88.1	8.9	170.4	7185.5
P13	19+975.000	25.000	5.50	0.00	137.5	0.0	307.9	7185.5
P14	19+1000.000	25.000	0.00	4.47	0.0	111.6	307.9	7297.1
P15	20+025.000	25.000	0.00	13.37	0.0	334.2	307.9	7631.3
P16	20+050.000	25.000	2.01	0.49	50.2	12.3	358.0	7643.5
P17	20+075.000	25.000	12.16	0.00	304.1	0.0	662.2	7643.5
P18	20+100.000	25.000	12.86	0.00	321.6	0.0	983.7	7643.5
P19	20+125.000	25.000	1.82	0.49	45.6	12.4	1029.3	7655.9
P20	20+150.000	25.000	2.23	0.18	55.6	4.6	1085.0	7660.5
P21	20+175.000	25.000	8.34	0.00	208.5	0.0	1293.5	7660.5
P22	20+200.000	25.000	14.10	0.00	352.6	0.0	1646.1	7660.5
P23	20+225.000	25.000	18.70	0.00	467.6	0.0	2113.7	7660.5
P24	20+250.000	25.000	15.14	0.00	378.6	0.0	2492.2	7660.5
P25	20+275.000	25.000	11.67	0.00	291.8	0.0	2784.0	7660.5
P26	20+300.000	25.000	6.75	0.00	168.7	0.0	2952.7	7660.5
P27	20+325.000	25.000	2.63	18.79	65.7	469.7	3018.5	8130.2
P28	20+350.000	25.000	0.00	7.19	0.0	179.6	3018.5	8309.8
P29	20+375.000	25.000	0.00	54.96	0.0	1374.1	3018.5	9683.9
P30	20+400.000	25.000	0.00	262.49	0.0	6562.3	3018.5	16246.2
P31	20+425.000	25.000	0.00	95.45	0.0	2386.3	3018.5	18632.5
P32	20+450.000	25.000	0.00	154.05	0.0	3851.3	3018.5	22483.8
P33	20+475.000	25.000	0.00	137.30	0.0	3432.5	3018.5	25916.3
P34	20+500.000	25.000	0.00	79.80	0.0	1995.0	3018.5	27911.3
P35	20+525.000	25.000	0.00	71.15	0.0	1778.8	3018.5	29690.1
P36	20+550.000	25.000	0.00	57.64	0.0	1440.9	3018.5	31131.0
P37	20+575.000	25.000	0.00	53.42	0.0	1335.6	3018.5	32466.6
P38	20+600.000	25.000	0.00	56.82	0.0	1420.6	3018.5	33887.2
P39	20+625.000	25.000	0.00	50.03	0.0	1250.7	3018.5	35137.9
P40	20+650.000	25.000	0.00	31.62	0.0	790.6	3018.5	35928.5
P41	20+675.000	25.000	0.00	14.54	0.0	363.4	3018.5	36291.9
P42	20+700.000	25.000	0.93	0.94	23.3	23.6	3041.8	36315.5
P43	20+725.000	25.000	2.18	0.08	54.4	1.9	3096.2	36317.4

P44	20+750.000	25.000	3.74	0.00	93.5	0.0	3189.7	36317.4
P45	20+775.000	25.000	1.14	0.35	28.5	8.7	3218.3	36326.1
P46	20+800.000	25.000	0.00	8.44	0.0	210.9	3218.3	36537.1
P47	20+825.000	25.000	0.00	2.50	0.0	62.6	3218.3	36599.6
P48	20+850.000	25.000	0.00	3.87	0.0	96.7	3218.3	36696.3
P49	20+875.000	25.000	0.00	6.01	0.0	150.2	3218.3	36846.5
P50	20+900.000	25.000	0.00	13.22	0.0	330.5	3218.3	37177.0
P51	20+925.000	25.000	0.00	13.58	0.0	339.5	3218.3	37516.5
P52	20+950.000	25.000	0.00	15.34	0.0	383.5	3218.3	37900.0
P53	20+975.000	25.000	0.00	15.26	0.0	381.6	3218.3	38281.6
P54	21+000.000	25.000	0.00	17.45	0.0	436.1	3218.3	38717.7
P55	21+025.000	25.000	0.00	17.66	0.0	441.4	3218.3	39159.2
P56	21+050.000	25.000	0.00	16.60	0.0	415.0	3218.3	39574.1
P57	21+075.000	25.000	0.00	15.84	0.0	395.9	3218.3	39970.0
P58	21+100.000	25.000	0.00	14.13	0.0	353.2	3218.3	40323.2
P59	21+125.000	25.000	0.00	15.72	0.0	392.9	3218.3	40716.1
P60	21+150.000	25.000	0.00	19.87	0.0	496.7	3218.3	41212.8
P61	21+175.000	25.000	0.00	25.29	0.0	632.3	3218.3	41845.0
P62	21+200.000	25.000	0.00	30.20	0.0	754.9	3218.3	42599.9
P63	21+225.000	25.000	0.00	36.79	0.0	919.8	3218.3	43519.7
P64	21+250.000	25.000	0.00	42.77	0.0	1069.3	3218.3	44589.1
P65	21+275.000	25.000	0.00	33.59	0.0	839.7	3218.3	45428.7
P66	21+300.000	25.000	0.00	31.68	0.0	792.0	3218.3	46220.7
P67	21+325.000	25.000	0.00	27.30	0.0	682.4	3218.3	46903.1
P68	21+350.000	25.000	0.00	26.04	0.0	651.1	3218.3	47554.2
P69	21+375.000	25.000	0.00	31.36	0.0	783.9	3218.3	48338.1
P70	21+400.000	25.000	0.00	40.13	0.0	1003.4	3218.3	49341.5
P71	21+425.000	25.000	0.00	50.14	0.0	1253.5	3218.3	50595.0
P72	21+450.000	25.000	0.00	51.80	0.0	1295.0	3218.3	51890.0
P73	21+475.000	25.000	0.00	48.89	0.0	1222.2	3218.3	53112.3
P74	21+500.000	25.000	0.00	42.39	0.0	1059.7	3218.3	54172.0
P75	21+525.000	25.000	0.00	38.55	0.0	963.7	3218.3	55135.7
P76	21+550.000	25.000	0.00	37.25	0.0	931.1	3218.3	56066.9
P77	21+575.000	25.000	0.00	39.36	0.0	983.9	3218.3	57050.8
P78	21+600.000	25.000	0.00	55.84	0.0	1396.0	3218.3	58446.8
P79	21+625.000	25.000	0.00	49.82	0.0	1245.5	3218.3	59692.3
P80	21+650.000	25.000	0.00	45.21	0.0	1130.2	3218.3	60822.6
P81	21+675.000	25.000	0.00	39.53	0.0	988.3	3218.3	61810.9
P82	21+700.000	25.000	0.00	39.36	0.0	984.1	3218.3	62795.0
P83	21+725.000	25.000	0.00	38.02	0.0	950.6	3218.3	63745.6
P84	21+750.000	25.000	0.00	36.64	0.0	916.1	3218.3	64661.6
P85	21+775.000	25.000	0.00	33.93	0.0	848.2	3218.3	65509.8
P86	21+800.000	25.000	0.00	32.13	0.0	803.2	3218.3	66313.0
P87	21+825.000	25.000	0.00	30.37	0.0	759.2	3218.3	67072.2
P88	21+850.000	25.000	0.00	31.51	0.0	787.9	3218.3	67860.1
P89	21+875.000	25.000	0.00	33.54	0.0	838.5	3218.3	68698.6
P90	21+900.000	25.000	0.00	33.95	0.0	848.8	3218.3	69547.4
P91	21+925.000	25.000	0.00	37.83	0.0	945.8	3218.3	70493.2
P92	21+950.000	25.000	0.00	54.72	0.0	1367.9	3218.3	71861.1
P93	21+975.000	25.000	0.00	63.17	0.0	1579.2	3218.3	73440.2
P94	21+1000.000	25.000	0.00	53.06	0.0	1326.6	3218.3	74766.9

P95	22+025.000	25.000	0.00	54.53	0.0	1363.1	3218.3	76130.0
P96	22+050.000	25.000	0.00	57.51	0.0	1437.9	3218.3	77567.9
P97	22+075.000	25.000	0.00	34.25	0.0	856.3	3218.3	78424.1
P98	22+100.000	25.000	0.00	26.96	0.0	674.1	3218.3	79098.2
P99	22+125.000	25.000	0.00	24.43	0.0	610.7	3218.3	79708.9
P100	22+150.000	25.000	0.00	23.01	0.0	575.2	3218.3	80284.1
P101	22+175.000	25.000	0.00	28.88	0.0	722.0	3218.3	81006.0
P102	22+200.000	25.000	0.00	21.21	0.0	530.3	3218.3	81536.3
P103	22+225.000	25.000	0.00	10.35	0.0	258.8	3218.3	81795.2
P104	22+250.000	25.000	0.00	6.48	0.0	162.0	3218.3	81957.1
P105	22+275.000	25.000	0.00	4.12	0.0	103.1	3218.3	82060.2
P106	22+300.000	25.000	0.00	2.77	0.0	69.1	3218.3	82129.4
P107	22+325.000	25.000	0.00	8.22	0.0	205.5	3218.3	82334.8
P108	22+350.000	25.000	0.00	17.51	0.0	437.6	3218.3	82772.5
P109	22+375.000	25.000	0.00	40.42	0.0	1010.6	3218.3	83783.1
P110	22+400.000	25.000	0.00	79.00	0.0	1975.0	3218.3	85758.0
P111	22+425.000	25.000	0.00	66.71	0.0	1667.7	3218.3	87425.8
P112	22+450.000	25.000	0.00	28.09	0.0	702.2	3218.3	88128.0
P113	22+475.000	25.000	0.00	7.86	0.0	196.5	3218.3	88324.5
P114	22+500.000	25.000	2.09	0.65	52.2	16.3	3270.5	88340.8
P115	22+525.000	25.000	2.43	0.16	60.7	4.0	3331.2	88344.8
P116	22+550.000	25.000	1.69	0.37	42.2	9.3	3373.4	88354.2
P117	22+575.000	25.000	0.77	1.65	19.3	41.2	3392.7	88395.4
P118	22+600.000	25.000	0.00	8.67	0.0	216.7	3392.7	88612.1
P119	22+625.000	25.000	0.00	25.00	0.0	625.1	3392.7	89237.2
P120	22+650.000	25.000	0.00	83.36	0.0	2084.0	3392.7	91321.2
P121	22+675.000	25.000	0.00	57.40	0.0	1435.0	3392.7	92756.2
P122	22+700.000	25.000	0.00	50.13	0.0	1253.4	3392.7	94009.5
P123	22+725.000	25.000	0.00	57.89	0.0	1447.2	3392.7	95456.8
P124	22+750.000	25.000	0.00	62.80	0.0	1569.9	3392.7	97026.7
P125	22+775.000	25.000	0.00	65.12	0.0	1628.0	3392.7	98654.6
P126	22+800.000	25.000	0.00	72.61	0.0	1815.2	3392.7	100469.8
P127	22+825.000	25.000	0.00	77.12	0.0	1927.9	3392.7	102397.8
P128	22+850.000	25.000	0.00	69.56	0.0	1739.0	3392.7	104136.8
P129	22+875.000	25.000	0.00	60.08	0.0	1502.0	3392.7	105638.8
P130	22+900.000	25.000	0.00	53.99	0.0	1349.9	3392.7	106988.7
P131	22+925.000	25.000	0.00	52.44	0.0	1311.1	3392.7	108299.8
P132	22+950.000	25.000	0.00	47.04	0.0	1176.1	3392.7	109475.9
P133	22+975.000	25.000	0.00	61.44	0.0	1536.1	3392.7	111012.0
P134	23+000.000	25.000	0.00	75.02	0.0	1875.4	3392.7	112887.3
P135	23+025.000	25.000	0.00	93.06	0.0	2326.5	3392.7	115213.9
P136	23+050.000	25.000	0.00	111.05	0.0	2776.2	3392.7	117990.1
P137	23+075.000	25.000	0.00	98.22	0.0	2455.5	3392.7	120445.6
P138	23+100.000	25.000	0.00	93.32	0.0	2332.9	3392.7	122778.5
P139	23+125.000	25.000	0.00	95.11	0.0	2377.7	3392.7	125156.2
P140	23+150.000	25.000	0.00	87.90	0.0	2197.5	3392.7	127353.7
P141	23+175.000	25.000	0.00	87.79	0.0	2194.8	3392.7	129548.5
P142	23+200.000	25.000	0.00	110.91	0.0	2772.8	3392.7	132321.3
P143	23+225.000	25.000	0.00	82.85	0.0	2071.2	3392.7	134392.5
P144	23+250.000	25.000	0.00	74.86	0.0	1871.6	3392.7	136264.1
P145	23+275.000	25.000	0.00	68.07	0.0	1701.6	3392.7	137965.7

P146	23+300.000	25.000	0.00	61.57	0.0	1539.4	3392.7	139505.1
P147	23+325.000	25.000	0.00	56.93	0.0	1423.3	3392.7	140928.4
P148	23+350.000	25.000	0.00	51.00	0.0	1275.0	3392.7	142203.4
P149	23+375.000	25.000	0.00	44.84	0.0	1121.0	3392.7	143324.4
P150	23+400.000	25.000	0.00	40.67	0.0	1016.7	3392.7	144341.1
P151	23+425.000	25.000	0.00	37.72	0.0	942.9	3392.7	145284.1
P152	23+450.000	25.000	0.00	33.36	0.0	834.1	3392.7	146118.2
P153	23+475.000	25.000	0.00	28.73	0.0	718.3	3392.7	146836.5
P154	23+500.000	25.000	0.00	22.85	0.0	571.4	3392.7	147407.9
P155	23+525.000	25.000	0.00	21.13	0.0	528.2	3392.7	147936.1
P156	23+550.000	25.000	0.00	19.59	0.0	489.8	3392.7	148425.9
P157	23+575.000	25.000	0.00	14.60	0.0	365.0	3392.7	148790.9
P158	23+600.000	25.000	0.00	9.82	0.0	245.6	3392.7	149036.4
P159	23+625.000	25.000	0.00	5.48	0.0	137.0	3392.7	149173.4
P160	23+650.000	25.000	0.92	2.16	23.0	54.1	3415.7	149227.5
P161	23+675.000	25.000	1.91	1.53	47.6	38.2	3463.4	149265.7
P162	23+700.000	25.000	2.32	1.17	58.0	29.4	3521.4	149295.1
P163	23+725.000	25.000	0.00	11.70	0.0	292.6	3521.4	149587.7
P164	23+750.000	25.000	8.97	0.00	224.2	0.0	3745.6	149587.7
P165	23+775.000	25.000	10.62	0.00	265.6	0.0	4011.1	149587.7
P166	23+800.000	25.000	12.60	0.00	315.0	0.0	4326.2	149587.7
P167	23+825.000	25.000	11.22	0.00	280.4	0.0	4606.6	149587.7
P168	23+850.000	25.000	4.97	0.00	124.3	0.0	4730.9	149587.7
P169	23+875.000	25.000	1.00	3.12	24.9	78.0	4755.8	149665.6
P170	23+900.000	25.000	0.00	5.47	0.0	136.6	4755.8	149802.3
P171	23+925.000	25.000	0.00	8.61	0.0	215.2	4755.8	150017.5
P172	23+950.000	25.000	0.00	10.51	0.0	262.8	4755.8	150280.3
P173	23+975.000	25.000	0.00	15.12	0.0	377.9	4755.8	150658.2
P174	23+1000.000	25.000	0.00	11.84	0.0	296.0	4755.8	150954.2
P175	24+025.000	25.000	0.00	8.65	0.0	216.1	4755.8	151170.3
P176	24+050.000	25.000	3.61	0.00	90.3	0.0	4846.1	151170.3
P177	24+075.000	25.000	19.33	0.00	483.3	0.0	5329.4	151170.3
P178	24+100.000	25.000	30.22	0.00	755.5	0.0	6084.8	151170.3
P179	24+125.000	25.000	32.28	0.00	806.9	0.0	6891.8	151170.3
P180	24+150.000	25.000	31.99	0.00	799.8	0.0	7691.6	151170.3
P181	24+175.000	25.000	24.81	0.00	620.2	0.0	8311.8	151170.3
P182	24+200.000	25.000	12.26	0.00	306.4	0.0	8618.2	151170.3
P183	24+225.000	25.000	1.08	1.27	27.0	31.8	8645.2	151202.1
P184	24+250.000	25.000	0.00	12.93	0.0	323.2	8645.2	151525.3
P185	24+275.000	25.000	0.00	18.04	0.0	450.9	8645.2	151976.1
P186	24+300.000	25.000	0.00	10.28	0.0	256.9	8645.2	152233.0
P187	24+325.000	25.000	0.00	9.32	0.0	232.9	8645.2	152466.0
P188	24+350.000	25.000	0.00	10.35	0.0	258.8	8645.2	152724.7
P189	24+375.000	25.000	0.00	14.08	0.0	352.1	8645.2	153076.9
P190	24+400.000	25.000	0.00	20.45	0.0	511.4	8645.2	153588.2
P191	24+425.000	25.000	0.00	27.06	0.0	676.5	8645.2	154264.7
P192	24+450.000	25.000	0.00	41.50	0.0	1037.5	8645.2	155302.2
P193	24+475.000	25.000	0.00	23.67	0.0	591.8	8645.2	155894.0
P194	24+500.000	25.000	0.00	11.66	0.0	291.4	8645.2	156185.4
P195	24+525.000	25.000	0.00	5.59	0.0	139.6	8645.2	156325.1
P196	24+550.000	25.000	1.89	0.77	47.2	19.3	8692.4	156344.4

P197	24+575.000	25.000	14.12	0.00	352.9	0.0	9045.3	156344.4
P198	24+600.000	25.000	22.76	0.00	569.0	0.0	9614.3	156344.4
P199	24+625.000	25.000	28.30	0.00	707.6	0.0	10321.9	156344.4
P200	24+650.000	25.000	22.65	0.00	566.2	0.0	10888.1	156344.4
P201	24+675.000	25.000	14.60	0.00	365.1	0.0	11253.2	156344.4
P202	24+700.000	25.000	4.92	19.15	123.0	478.7	11376.2	156823.1
P203	24+725.000	25.000	4.13	18.95	103.2	473.8	11479.4	157296.9
P204	24+750.000	25.000	2.02	0.61	50.6	15.3	11529.9	157312.2
P205	24+775.000	25.000	0.00	10.04	0.0	251.0	11529.9	157563.2
P206	24+800.000	25.000	0.00	35.16	0.0	879.0	11529.9	158442.3
P207	24+825.000	25.000	0.00	24.49	0.0	612.1	11529.9	159054.4
P208	24+850.000	25.000	0.00	17.91	0.0	447.8	11529.9	159502.1
P209	24+875.000	25.000	0.00	18.56	0.0	463.9	11529.9	159966.1
P210	24+900.000	25.000	0.00	30.79	0.0	769.8	11529.9	160735.9
P211	24+925.000	25.000	0.00	15.83	0.0	395.8	11529.9	161131.7
P212	24+950.000	25.000	0.00	9.72	0.0	242.9	11529.9	161374.7
P213	24+975.000	25.000	0.00	23.08	0.0	577.1	11529.9	161951.8
P214	25+000.000	25.000	0.00	77.39	0.0	1934.8	11529.9	163886.5
P215	25+025.000	25.000	0.00	188.03	0.0	4700.7	11529.9	168587.2
P216	25+050.000	25.000	0.00	238.19	0.0	5954.7	11529.9	174541.9
P217	25+075.000	25.000	0.00	273.07	0.0	6826.7	11529.9	181368.6
P218	25+100.000	25.000	0.00	286.94	0.0	7173.5	11529.9	188542.1
P219	25+125.000	25.000	0.00	308.38	0.0	7709.4	11529.9	196251.6
P220	25+150.000	25.000	0.00	263.57	0.0	6589.3	11529.9	202840.9
P221	25+175.000	25.000	0.00	39.60	0.0	990.0	11529.9	203830.9
P222	25+200.000	25.000	24.56	0.00	613.9	0.0	12143.9	203830.9
P223	25+225.000	25.000	59.06	0.00	1476.6	0.0	13620.4	203830.9
P224	25+250.000	25.000	62.25	0.00	1556.2	0.0	15176.7	203830.9
P225	25+275.000	25.000	49.83	0.00	1245.8	0.0	16422.5	203830.9
P226	25+300.000	25.000	9.18	19.56	229.4	488.9	16651.9	204319.8
P227	25+325.000	25.000	0.00	70.99	0.0	1774.8	16651.9	206094.6
P228	25+350.000	25.000	2.52	7.11	63.0	177.7	16715.0	206272.3
P229	25+375.000	25.000	0.00	22.29	0.0	557.2	16715.0	206829.5
P230	25+400.000	25.000	0.00	64.58	0.0	1614.5	16715.0	208444.1
P231	25+425.000	25.000	0.00	113.16	0.0	2828.9	16715.0	211272.9
P232	25+450.000	25.000	0.00	141.19	0.0	3529.8	16715.0	214802.7
P233	25+475.000	25.000	0.00	22.30	0.0	557.6	16715.0	215360.2
P234	25+500.000	16.561	50.93	0.00	843.5	0.0	17558.5	215360.2
P235	25+508.123	4.080	70.11	0.00	286.0	0.0	17844.5	215360.2
P236	25+508.160	0.030	70.10	0.00	2.1	0.0	17846.6	215360.2
P237	25+508.183	8.420	70.10	0.00	590.2	0.0	18436.9	215360.2
P238	25+525.000	20.908	66.12	0.00	1382.4	0.0	19819.3	215360.2
P239	25+550.000	25.000	62.21	0.00	1555.2	0.0	21374.5	215360.2
P240	25+575.000	25.000	8.96	0.59	224.0	14.8	21598.5	215375.0
P241	25+600.000	16.624	0.00	57.73	0.0	959.8	21598.5	216334.8
P242	25+608.249	12.500	0.00	79.94	0.0	999.2	21598.5	217334.0
P243	25+625.000	20.876	0.00	28.04	0.0	585.4	21598.5	217919.5
P244	25+650.000	25.000	23.22	0.00	580.5	0.0	22179.0	217919.5
P245	25+675.000	25.000	46.95	0.00	1173.9	0.0	23352.8	217919.5
P246	25+700.000	25.000	1.60	5.75	39.9	143.7	23392.8	218063.2
P247	25+725.000	25.000	0.00	44.69	0.0	1117.2	23392.8	219180.4

P248	25+750.000	25.000	0.00	12.42	0.0	310.4	23392.8	219490.9
P249	25+775.000	25.000	80.53	0.00	2013.4	0.0	25406.1	219490.9
P250	25+800.000	25.000	169.26	0.00	4231.5	0.0	29637.6	219490.9
P251	25+825.000	25.000	240.10	0.00	6002.4	0.0	35640.0	219490.9
P252	25+850.000	25.000	181.83	0.00	4545.8	0.0	40185.8	219490.9
P253	25+875.000	25.000	111.88	0.00	2797.1	0.0	42982.9	219490.9
P254	25+900.000	25.000	48.65	0.00	1216.3	0.0	44199.2	219490.9
P255	25+925.000	25.000	1.86	1.51	46.5	37.8	44245.7	219528.6
P256	25+950.000	25.000	0.00	20.05	0.0	501.2	44245.7	220029.8
P257	25+975.000	25.000	31.26	0.00	781.4	0.0	45027.0	220029.8
P258	26+000.000	25.000	108.68	0.00	2717.0	0.0	47744.1	220029.8
P259	26+025.000	25.000	164.37	0.00	4109.2	0.0	51853.3	220029.8
P260	26+050.000	25.000	199.24	0.00	4981.1	0.0	56834.3	220029.8
P261	26+075.000	25.000	256.92	0.00	6422.9	0.0	63257.2	220029.8
P262	26+100.000	25.000	218.33	0.00	5458.2	0.0	68715.5	220029.8
P263	26+125.000	25.000	183.95	0.00	4598.7	0.0	73314.2	220029.8
P264	26+150.000	25.000	130.90	0.00	3272.5	0.0	76586.6	220029.8
P265	26+175.000	25.000	81.64	0.00	2041.0	0.0	78627.7	220029.8
P266	26+200.000	25.000	56.11	0.00	1402.8	0.0	80030.5	220029.8
P267	26+225.000	25.000	42.65	0.00	1066.1	0.0	81096.6	220029.8
P268	26+250.000	25.000	29.03	0.00	725.8	0.0	81822.4	220029.8
P269	26+275.000	25.000	19.19	0.00	479.8	0.0	82302.1	220029.8
P270	26+300.000	25.000	16.16	0.00	403.9	0.0	82706.0	220029.8
P271	26+325.000	25.000	17.61	0.00	440.1	0.0	83146.2	220029.8
P272	26+350.000	25.000	14.66	0.00	366.6	0.0	83512.8	220029.8
P273	26+375.000	25.000	10.94	0.00	273.5	0.0	83786.2	220029.8
P274	26+400.000	25.000	4.30	0.00	107.6	0.0	83893.8	220029.8
P275	26+425.000	25.000	0.00	5.30	0.0	132.4	83893.8	220162.2
P276	26+450.000	25.000	0.00	7.22	0.0	180.4	83893.8	220342.6
P277	26+475.000	25.000	0.00	20.48	0.0	511.9	83893.8	220854.6
P278	26+500.000	25.000	0.00	28.03	0.0	700.8	83893.8	221555.3
P279	26+525.000	25.000	0.00	31.51	0.0	787.8	83893.8	222343.1
P280	26+550.000	25.000	0.00	7.93	0.0	198.3	83893.8	222541.5
P281	26+575.000	25.000	1.04	1.82	25.9	45.6	83919.7	222587.1
P282	26+600.000	25.000	5.56	0.00	139.0	0.0	84058.7	222587.1
P283	26+625.000	25.000	9.73	0.00	243.2	0.0	84302.0	222587.1
P284	26+650.000	21.782	0.00	1.36	0.0	29.6	84302.0	222616.7
P285	26+668.565	12.500	10.04	0.00	125.5	0.0	84427.5	222616.7
P286	26+675.000	15.718	15.17	0.00	238.4	0.0	84665.9	222616.7
P287	26+700.000	25.000	16.34	0.00	408.6	0.0	85074.5	222616.7
P288	26+725.000	25.000	15.11	0.00	377.7	0.0	85452.2	222616.7
P289	26+750.000	21.855	26.63	0.00	582.0	0.0	86034.2	222616.7
P290	26+768.710	12.500	60.41	0.00	755.2	0.0	86789.4	222616.7
P291	26+775.000	15.645	72.77	0.00	1138.5	0.0	87927.9	222616.7
P292	26+800.000	25.000	118.02	0.00	2950.4	0.0	90878.3	222616.7
P293	26+825.000	25.000	135.82	0.00	3395.6	0.0	94273.9	222616.7
P294	26+850.000	25.000	102.55	0.00	2563.6	0.0	96837.6	222616.7
P295	26+875.000	25.000	51.85	0.00	1296.2	0.0	98133.7	222616.7
P296	26+900.000	25.000	5.24	0.60	130.9	15.0	98264.6	222631.7
P297	26+925.000	25.000	38.22	0.00	955.5	0.0	99220.2	222631.7
P298	26+950.000	25.000	48.20	0.00	1204.9	0.0	100425.0	222631.7

P299	26+975.000	25.000	49.10	0.00	1227.6	0.0	101652.6	222631.7
P300	26+1000.000	25.000	46.17	0.00	1154.3	0.0	102806.9	222631.7
P301	27+025.000	25.000	49.12	0.00	1227.9	0.0	104034.9	222631.7
P302	27+050.000	25.000	55.96	0.00	1399.0	0.0	105433.8	222631.7
P303	27+075.000	25.000	73.22	0.00	1830.6	0.0	107264.4	222631.7
P304	27+100.000	25.000	91.38	0.00	2284.5	0.0	109548.9	222631.7
P305	27+125.000	25.000	95.91	0.00	2397.7	0.0	111946.6	222631.7
P306	27+150.000	25.000	103.18	0.00	2579.4	0.0	114526.0	222631.7
P307	27+175.000	25.000	121.53	0.00	3038.3	0.0	117564.4	222631.7
P308	27+200.000	25.000	124.69	0.00	3117.3	0.0	120681.6	222631.7
P309	27+225.000	14.911	99.21	0.00	1479.4	0.0	122161.0	222631.7
P310	27+229.822	12.500	90.60	0.00	1132.5	0.0	123293.5	222631.7
P311	27+250.000	22.589	49.60	0.00	1120.4	0.0	124413.9	222631.7
P312	27+275.000	25.000	29.09	0.00	727.1	0.0	125141.1	222631.7
P313	27+300.000	25.000	82.96	0.00	2074.0	0.0	127215.0	222631.7
P314	27+325.000	14.864	123.43	0.00	1834.7	0.0	129049.7	222631.7
P315	27+329.728	12.500	130.33	0.00	1629.2	0.0	130678.9	222631.7
P316	27+350.000	22.636	141.22	0.00	3196.7	0.0	133875.6	222631.7
P317	27+375.000	25.000	144.87	0.00	3621.8	0.0	137497.4	222631.7
P318	27+400.000	25.000	135.95	0.00	3398.7	0.0	140896.1	222631.7
P319	27+425.000	25.000	119.41	0.00	2985.2	0.0	143881.3	222631.7
P320	27+450.000	25.000	84.46	0.00	2111.6	0.0	145992.9	222631.7
P321	27+475.000	25.000	98.93	0.00	2473.2	0.0	148466.1	222631.7
P322	27+500.000	25.000	98.57	0.00	2464.3	0.0	150930.4	222631.7
P323	27+525.000	25.000	101.66	0.00	2541.5	0.0	153471.9	222631.7
P324	27+550.000	25.000	104.00	0.00	2600.1	0.0	156072.0	222631.7
P325	27+575.000	25.000	82.70	0.00	2067.5	0.0	158139.5	222631.7
P326	27+600.000	25.000	59.83	0.00	1495.8	0.0	159635.3	222631.7
P327	27+625.000	25.000	24.91	0.00	622.7	0.0	160258.0	222631.7
P328	27+650.000	25.000	0.00	3.44	0.0	86.0	160258.0	222717.7
P329	27+675.000	25.000	0.00	40.00	0.0	1000.1	160258.0	223717.8
P330	27+700.000	25.000	0.00	90.05	0.0	2251.2	160258.0	225968.9
P331	27+725.000	25.000	0.00	163.38	0.0	4084.5	160258.0	230053.5
P332	27+750.000	25.000	0.00	240.98	0.0	6024.6	160258.0	236078.1
P333	27+775.000	25.000	0.00	307.08	0.0	7677.0	160258.0	243755.1
P334	27+800.000	25.000	0.00	349.39	0.0	8734.7	160258.0	252489.8
P335	27+825.000	25.000	0.00	354.85	0.0	8871.3	160258.0	261361.1
P336	27+850.000	25.000	0.00	316.64	0.0	7916.0	160258.0	269277.1
P337	27+875.000	25.000	0.00	271.43	0.0	6785.7	160258.0	276062.8
P338	27+900.000	25.000	0.00	213.61	0.0	5340.2	160258.0	281403.0
P339	27+925.000	25.000	0.00	114.51	0.0	2862.8	160258.0	284265.8
P340	27+950.000	25.000	0.00	31.79	0.0	794.9	160258.0	285060.7
P341	27+975.000	25.000	2.04	3.31	51.0	82.7	160309.1	285143.4
P342	28+000.000	25.000	1.46	2.87	36.6	71.7	160345.6	285215.2
P343	28+025.000	25.000	0.00	22.56	0.0	564.1	160345.6	285779.2
P344	28+050.000	25.000	4.96	18.94	123.9	473.5	160469.6	286252.8
P345	28+075.000	25.000	17.07	0.00	426.7	0.0	160896.2	286252.8
P346	28+100.000	25.000	11.54	0.00	288.5	0.0	161184.7	286252.8
P347	28+125.000	25.000	0.00	3.46	0.0	86.6	161184.7	286339.3
P348	28+150.000	25.000	0.00	3.51	0.0	87.7	161184.7	286427.0
P349	28+175.000	25.000	0.00	4.94	0.0	123.4	161184.7	286550.4

P350	28+200.000	25.000	0.00	9.08	0.0	227.0	161184.7	286777.4
P351	28+225.000	25.000	0.00	20.72	0.0	518.1	161184.7	287295.5
P352	28+250.000	25.000	0.00	26.86	0.0	671.6	161184.7	287967.1
P353	28+275.000	25.000	0.00	33.89	0.0	847.2	161184.7	288814.2
P354	28+300.000	25.000	0.00	42.17	0.0	1054.3	161184.7	289868.5
P355	28+325.000	25.000	0.00	47.64	0.0	1191.0	161184.7	291059.5
P356	28+350.000	25.000	0.00	50.63	0.0	1265.8	161184.7	292325.2
P357	28+375.000	25.000	0.00	59.26	0.0	1481.5	161184.7	293806.7
P358	28+400.000	25.000	0.00	73.75	0.0	1843.8	161184.7	295650.5
P359	28+425.000	25.000	0.00	79.32	0.0	1983.0	161184.7	297633.5
P360	28+450.000	25.000	0.00	83.58	0.0	2089.6	161184.7	299723.1
P361	28+475.000	25.000	0.00	84.57	0.0	2114.3	161184.7	301837.3
P362	28+500.000	25.000	0.00	80.91	0.0	2022.8	161184.7	303860.1
P363	28+525.000	25.000	0.00	71.88	0.0	1796.9	161184.7	305657.0
P364	28+550.000	25.000	0.00	62.83	0.0	1570.6	161184.7	307227.7
P365	28+575.000	25.000	0.00	59.87	0.0	1496.6	161184.7	308724.3
P366	28+600.000	25.000	0.00	60.01	0.0	1500.3	161184.7	310224.6
P367	28+625.000	25.000	0.00	65.74	0.0	1643.6	161184.7	311868.2
P368	28+650.000	25.000	0.00	68.55	0.0	1713.8	161184.7	313582.0
P369	28+675.000	25.000	0.00	70.34	0.0	1758.4	161184.7	315340.4
P370	28+700.000	25.000	0.00	71.28	0.0	1782.0	161184.7	317122.4
P371	28+725.000	25.000	0.00	71.52	0.0	1788.0	161184.7	318910.4
P372	28+750.000	25.000	0.00	71.51	0.0	1787.7	161184.7	320698.1
P373	28+775.000	25.000	0.00	72.73	0.0	1818.3	161184.7	322516.4
P374	28+800.000	25.000	0.00	73.69	0.0	1842.3	161184.7	324358.7
P375	28+825.000	25.000	0.00	73.84	0.0	1846.0	161184.7	326204.7
P376	28+850.000	25.000	0.00	74.88	0.0	1872.1	161184.7	328076.8
P377	28+875.000	25.000	0.00	76.50	0.0	1912.6	161184.7	329989.4
P378	28+900.000	25.000	0.00	71.00	0.0	1774.9	161184.7	331764.3
P379	28+925.000	25.000	0.00	64.25	0.0	1606.2	161184.7	333370.5
P380	28+950.000	25.000	0.00	60.02	0.0	1500.5	161184.7	334871.0
P381	28+975.000	25.000	0.00	55.06	0.0	1376.5	161184.7	336247.5
P382	29+000.000	25.000	0.00	50.44	0.0	1261.1	161184.7	337508.6
P383	29+025.000	25.000	0.00	46.92	0.0	1173.1	161184.7	338681.7
P384	29+050.000	25.000	0.00	43.80	0.0	1095.1	161184.7	339776.8
P385	29+075.000	25.000	0.00	42.49	0.0	1062.2	161184.7	340839.0
P386	29+100.000	25.000	0.00	44.95	0.0	1123.8	161184.7	341962.8
P387	29+125.000	25.000	0.00	51.17	0.0	1279.1	161184.7	343241.9
P388	29+150.000	25.000	0.00	58.35	0.0	1458.8	161184.7	344700.7
P389	29+175.000	25.000	0.00	60.53	0.0	1513.4	161184.7	346214.1
P390	29+200.000	25.000	0.00	57.26	0.0	1431.4	161184.7	347645.5
P391	29+225.000	25.000	0.00	60.53	0.0	1513.1	161184.7	349158.7
P392	29+250.000	25.000	0.00	69.69	0.0	1742.3	161184.7	350901.0
P393	29+275.000	25.000	0.00	81.69	0.0	2042.3	161184.7	352943.2
P394	29+300.000	25.000	0.00	82.81	0.0	2070.4	161184.7	355013.6
P395	29+325.000	25.000	0.00	79.56	0.0	1989.0	161184.7	357002.6
P396	29+350.000	25.000	0.00	84.65	0.0	2116.1	161184.7	359118.7
P397	29+375.000	25.000	0.00	90.85	0.0	2271.2	161184.7	361389.9
P398	29+400.000	25.000	0.00	103.13	0.0	2578.2	161184.7	363968.2
P399	29+425.000	25.000	0.00	105.34	0.0	2633.5	161184.7	366601.6
P400	29+450.000	25.000	0.00	102.77	0.0	2569.3	161184.7	369171.0

P401	29+475.000	25.000	0.00	96.05	0.0	2401.4	161184.7	371572.3
P402	29+500.000	25.000	0.00	94.15	0.0	2353.9	161184.7	373926.2
P403	29+525.000	25.000	0.00	92.67	0.0	2316.7	161184.7	376242.9
P404	29+550.000	25.000	0.00	92.60	0.0	2315.0	161184.7	378557.9
P405	29+575.000	25.000	0.00	93.99	0.0	2349.6	161184.7	380907.6
P406	29+600.000	25.000	0.00	93.08	0.0	2327.0	161184.7	383234.6
P407	29+625.000	25.000	0.00	87.23	0.0	2180.9	161184.7	385415.4
P408	29+650.000	25.000	0.00	78.20	0.0	1954.9	161184.7	387370.3
P409	29+675.000	25.000	0.00	81.74	0.0	2043.4	161184.7	389413.7
P410	29+700.000	25.000	0.00	89.49	0.0	2237.3	161184.7	391651.0
P411	29+725.000	25.000	0.00	90.54	0.0	2263.5	161184.7	393914.5
P412	29+750.000	25.000	0.00	86.55	0.0	2163.8	161184.7	396078.4
P413	29+775.000	25.000	0.00	80.74	0.0	2018.5	161184.7	398096.9
P414	29+800.000	25.000	0.00	77.08	0.0	1927.0	161184.7	400023.9
P415	29+825.000	25.000	0.00	73.52	0.0	1837.9	161184.7	401861.8
P416	29+850.000	25.000	0.00	75.05	0.0	1876.1	161184.7	403738.0
P417	29+875.000	25.000	0.00	77.99	0.0	1949.7	161184.7	405687.6
P418	29+900.000	25.000	0.00	79.39	0.0	1984.8	161184.7	407672.4
P419	29+925.000	25.000	0.00	79.49	0.0	1987.3	161184.7	409659.7
P420	29+950.000	25.000	0.00	79.39	0.0	1984.9	161184.7	411644.6
P421	29+975.000	25.000	0.00	79.50	0.0	1987.5	161184.7	413632.1
P422	29+1000.000	25.000	0.00	103.81	0.0	2595.3	161184.7	416227.4
P423	30+025.000	25.000	0.00	125.69	0.0	3142.3	161184.7	419369.6
P424	30+050.000	25.000	0.00	115.93	0.0	2898.3	161184.7	422268.0
P425	30+075.000	19.341	0.00	108.80	0.0	2104.2	161184.7	424372.2
P426	30+088.681	12.500	0.00	110.91	0.0	1386.4	161184.7	425758.6
P427	30+100.000	18.159	0.00	113.03	0.0	2052.6	161184.7	427811.2
P428	30+125.000	25.000	0.00	117.79	0.0	2944.8	161184.7	430756.0
P429	30+150.000	25.000	0.00	122.56	0.0	3063.9	161184.7	433819.9
P430	30+175.000	19.211	0.00	126.00	0.0	2420.7	161184.7	436240.6
P431	30+188.422	12.500	0.00	127.28	0.0	1591.0	161184.7	437831.6
P432	30+200.000	18.289	0.00	128.23	0.0	2345.2	161184.7	440176.8
P433	30+225.000	25.000	0.00	130.20	0.0	3254.9	161184.7	443431.8
P434	30+250.000	25.000	0.00	133.53	0.0	3338.2	161184.7	446770.0
P435	30+275.000	25.000	0.00	134.75	0.0	3368.7	161184.7	450138.7
P436	30+300.000	25.000	0.00	135.21	0.0	3380.3	161184.7	453519.0
P437	30+325.000	25.000	0.00	134.95	0.0	3373.7	161184.7	456892.7
P438	30+350.000	25.000	0.00	134.62	0.0	3365.5	161184.7	460258.2
P439	30+375.000	25.000	0.00	134.29	0.0	3357.2	161184.7	463615.4
P440	30+400.000	25.000	0.00	133.97	0.0	3349.3	161184.7	466964.7
P441	30+425.000	25.000	0.00	134.22	0.0	3355.5	161184.7	470320.1
P442	30+450.000	25.000	0.00	133.30	0.0	3332.6	161184.7	473652.7
P443	30+475.000	25.000	0.00	132.30	0.0	3307.5	161184.7	476960.2
P444	30+500.000	25.000	0.00	130.04	0.0	3251.1	161184.7	480211.3
P445	30+525.000	25.000	0.00	124.70	0.0	3117.6	161184.7	483328.9
P446	30+550.000	25.000	0.00	116.94	0.0	2923.4	161184.7	486252.3
P447	30+575.000	25.000	0.00	106.69	0.0	2667.3	161184.7	488919.6
P448	30+600.000	25.000	0.00	96.67	0.0	2416.7	161184.7	491336.3
P449	30+625.000	25.000	0.00	90.38	0.0	2259.5	161184.7	493595.8
P450	30+650.000	25.000	0.00	82.90	0.0	2072.5	161184.7	495668.3
P451	30+675.000	25.000	0.00	73.55	0.0	1838.8	161184.7	497507.1

P452	30+700.000	25.000	0.00	65.90	0.0	1647.4	161184.7	499154.5
P453	30+725.000	25.000	0.00	58.30	0.0	1457.4	161184.7	500611.9
P454	30+750.000	25.000	0.00	55.51	0.0	1387.8	161184.7	501999.7
P455	30+775.000	25.000	0.00	54.45	0.0	1361.2	161184.7	503360.9
P456	30+800.000	25.000	0.00	63.86	0.0	1596.6	161184.7	504957.4
P457	30+825.000	25.000	0.00	70.41	0.0	1760.2	161184.7	506717.6
P458	30+850.000	25.000	0.00	55.02	0.0	1375.4	161184.7	508093.1
P459	30+875.000	25.000	0.00	46.91	0.0	1172.7	161184.7	509265.8
P460	30+900.000	25.000	0.00	44.42	0.0	1110.6	161184.7	510376.4
P461	30+925.000	25.000	0.00	45.98	0.0	1149.6	161184.7	511525.9
P462	30+950.000	25.000	0.00	48.09	0.0	1202.3	161184.7	512728.2
P463	30+975.000	25.000	0.00	49.69	0.0	1242.4	161184.7	513970.6
P464	31+000.000	25.000	0.00	51.70	0.0	1292.6	161184.7	515263.2
P465	31+025.000	25.000	0.00	51.92	0.0	1298.1	161184.7	516561.3
P466	31+050.000	25.000	0.00	48.46	0.0	1211.6	161184.7	517772.8
P467	31+075.000	25.000	0.00	43.49	0.0	1087.2	161184.7	518860.0
P468	31+100.000	25.000	0.00	36.54	0.0	913.4	161184.7	519773.4
P469	31+125.000	25.000	0.00	24.83	0.0	620.7	161184.7	520394.1
P470	31+150.000	18.870	0.00	8.38	0.0	158.2	161184.7	520552.3
P471	31+162.740	12.500	0.00	10.29	0.0	128.6	161184.7	520680.9
P472	31+175.000	18.630	0.00	7.38	0.0	137.6	161184.7	520818.5
P473	31+200.000	25.000	1.79	1.57	44.8	39.2	161229.5	520857.6
P474	31+225.000	25.000	3.44	0.14	86.0	3.4	161315.5	520861.0
P475	31+250.000	18.884	4.88	19.13	92.1	361.3	161407.6	521222.4
P476	31+262.769	12.500	4.73	19.03	59.1	237.9	161466.6	521460.3
P477	31+275.000	18.616	4.62	18.88	86.1	351.4	161552.7	521811.7
P478	31+300.000	25.000	3.50	0.07	87.4	1.8	161640.1	521813.6
P479	31+325.000	25.000	2.80	0.95	70.1	23.7	161710.2	521837.3
P480	31+350.000	25.000	3.75	0.22	93.8	5.5	161804.0	521842.8
P481	31+375.000	25.000	9.07	0.00	226.8	0.0	162030.8	521842.8
P482	31+400.000	25.000	15.20	0.00	379.9	0.0	162410.7	521842.8
P483	31+425.000	25.000	18.81	0.00	470.1	0.0	162880.8	521842.8
P484	31+450.000	25.000	16.88	0.00	421.9	0.0	163302.7	521842.8
P485	31+475.000	25.000	14.12	0.00	352.9	0.0	163655.7	521842.8
P486	31+500.000	25.000	8.42	0.00	210.4	0.0	163866.0	521842.8
P487	31+525.000	25.000	0.88	3.40	22.1	84.9	163888.1	521927.7
P488	31+550.000	25.000	0.00	11.03	0.0	275.8	163888.1	522203.5
P489	31+575.000	25.000	0.00	18.67	0.0	466.8	163888.1	522670.3
P490	31+600.000	25.000	0.00	28.58	0.0	714.5	163888.1	523384.8
P491	31+625.000	25.000	0.00	41.15	0.0	1028.8	163888.1	524413.6
P492	31+650.000	25.000	0.00	52.58	0.0	1314.4	163888.1	525728.0
P493	31+675.000	25.000	0.00	65.28	0.0	1632.0	163888.1	527360.0
P494	31+700.000	25.000	0.00	75.49	0.0	1887.2	163888.1	529247.2
P495	31+725.000	25.000	0.00	79.66	0.0	1991.5	163888.1	531238.7
P496	31+750.000	25.000	0.00	94.36	0.0	2359.1	163888.1	533597.8
P497	31+775.000	25.000	0.00	97.98	0.0	2449.5	163888.1	536047.3
P498	31+800.000	25.000	0.00	97.78	0.0	2444.4	163888.1	538491.7
P499	31+825.000	25.000	0.00	89.05	0.0	2226.1	163888.1	540717.9
P500	31+850.000	25.000	0.00	82.80	0.0	2070.1	163888.1	542787.9
P501	31+875.000	25.000	0.00	78.31	0.0	1957.9	163888.1	544745.8
P502	31+900.000	25.000	0.00	78.43	0.0	1960.8	163888.1	546706.6

P503	31+925.000	25.000	0.00	84.90	0.0	2122.5	163888.1	548829.1
P504	31+950.000	25.000	0.00	102.14	0.0	2553.6	163888.1	551382.7
P505	31+975.000	25.000	0.00	105.78	0.0	2644.4	163888.1	554027.1
P506	31+1000.000	25.000	0.00	104.19	0.0	2604.7	163888.1	556631.8
P507	32+025.000	25.000	0.00	98.99	0.0	2474.8	163888.1	559106.7
P508	32+050.000	25.000	0.00	99.78	0.0	2494.6	163888.1	561601.2
P509	32+075.000	25.000	0.00	100.60	0.0	2515.0	163888.1	564116.3
P510	32+100.000	25.000	0.00	113.71	0.0	2842.8	163888.1	566959.0
P511	32+125.000	25.000	0.00	124.68	0.0	3117.0	163888.1	570076.0
P512	32+150.000	25.000	0.00	132.73	0.0	3318.2	163888.1	573394.2
P513	32+175.000	25.000	0.00	136.30	0.0	3407.5	163888.1	576801.7
P514	32+200.000	25.000	0.00	139.01	0.0	3475.3	163888.1	580277.0
P515	32+225.000	25.000	0.00	140.84	0.0	3521.0	163888.1	583798.1
P516	32+250.000	25.000	0.00	140.96	0.0	3524.1	163888.1	587322.2
P517	32+275.000	25.000	0.00	140.52	0.0	3513.0	163888.1	590835.2
P518	32+300.000	25.000	0.00	138.49	0.0	3462.1	163888.1	594297.3
P519	32+325.000	25.000	0.00	136.76	0.0	3419.0	163888.1	597716.3
P520	32+350.000	25.000	0.00	135.55	0.0	3388.8	163888.1	601105.1
P521	32+375.000	25.000	0.00	135.96	0.0	3399.1	163888.1	604504.2
P522	32+400.000	25.000	0.00	136.30	0.0	3407.5	163888.1	607911.6
P523	32+425.000	25.000	0.00	136.45	0.0	3411.2	163888.1	611322.8
P524	32+450.000	25.000	0.00	135.50	0.0	3387.4	163888.1	614710.3
P525	32+475.000	25.000	0.00	134.00	0.0	3350.1	163888.1	618060.3
P526	32+500.000	15.151	0.00	132.65	0.0	2009.8	163888.1	620070.2
P527	32+505.303	2.803	0.00	132.46	0.0	371.3	163888.1	620441.5
P528	32+505.606	9.849	0.00	132.45	0.0	1304.5	163888.1	621745.9
P529	32+525.000	22.197	0.00	131.88	0.0	2927.3	163888.1	624673.3
P530	32+550.000	25.000	0.00	131.78	0.0	3294.5	163888.1	627967.8
P531	32+575.000	25.000	0.00	131.75	0.0	3293.8	163888.1	631261.6
P532	32+600.000	15.360	0.00	133.19	0.0	2045.8	163888.1	633307.4
P533	32+605.720	12.500	0.00	136.12	0.0	1701.4	163888.1	635008.8
P534	32+625.000	22.140	0.00	144.52	0.0	3199.6	163888.1	638208.4
P535	32+650.000	25.000	0.00	150.05	0.0	3751.4	163888.1	641959.8
P536	32+675.000	25.000	0.00	137.37	0.0	3434.1	163888.1	645393.9
P537	32+700.000	25.000	0.00	134.45	0.0	3361.1	163888.1	648755.0
P538	32+725.000	25.000	0.00	134.40	0.0	3360.0	163888.1	652115.1
P539	32+750.000	25.000	0.00	133.38	0.0	3334.5	163888.1	655449.6
P540	32+775.000	25.000	0.00	131.69	0.0	3292.2	163888.1	658741.8
P541	32+800.000	25.000	0.00	130.37	0.0	3259.2	163888.1	662001.0
P542	32+825.000	25.000	0.00	130.52	0.0	3263.0	163888.1	665264.0
P543	32+850.000	25.000	0.00	130.73	0.0	3268.2	163888.1	668532.2
P544	32+875.000	25.000	0.00	131.32	0.0	3282.9	163888.1	671815.1
P545	32+900.000	25.000	0.00	132.33	0.0	3308.2	163888.1	675123.3
P546	32+925.000	25.000	0.00	132.02	0.0	3300.5	163888.1	678423.8
P547	32+950.000	25.000	0.00	130.46	0.0	3261.6	163888.1	681685.4
P548	32+975.000	25.000	0.00	129.89	0.0	3247.2	163888.1	684932.6
P549	32+1000.000	25.000	0.00	132.28	0.0	3307.0	163888.1	688239.6
P550	33+025.000	25.000	0.00	128.25	0.0	3206.1	163888.1	691445.8
P551	33+050.000	25.000	0.00	123.18	0.0	3079.6	163888.1	694525.4
P552	33+075.000	25.000	0.00	118.77	0.0	2969.2	163888.1	697494.5
P553	33+100.000	25.000	0.00	119.52	0.0	2987.9	163888.1	700482.5

P554	33+125.000	25.000	0.00	123.27	0.0	3081.8	163888.1	703564.3
P555	33+150.000	25.000	0.00	131.12	0.0	3278.1	163888.1	706842.4
P556	33+175.000	25.000	0.00	138.42	0.0	3460.4	163888.1	710302.7
P557	33+200.000	25.000	0.00	146.30	0.0	3657.4	163888.1	713960.2
P558	33+225.000	25.000	0.00	147.25	0.0	3681.2	163888.1	717641.4
P559	33+250.000	25.000	0.00	144.15	0.0	3603.6	163888.1	721245.0
P560	33+275.000	25.000	0.00	138.78	0.0	3469.5	163888.1	724714.6
P561	33+300.000	25.000	0.00	167.19	0.0	4179.8	163888.1	728894.3
P562	33+325.000	25.000	0.00	187.27	0.0	4681.7	163888.1	733576.0
P563	33+350.000	25.000	0.00	156.07	0.0	3901.7	163888.1	737477.7
P564	33+375.000	25.000	0.00	126.37	0.0	3159.3	163888.1	740637.0
P565	33+400.000	25.000	0.00	121.18	0.0	3029.6	163888.1	743666.6
P566	33+425.000	25.000	0.00	116.96	0.0	2924.0	163888.1	746590.6
P567	33+450.000	25.000	0.00	113.81	0.0	2845.2	163888.1	749435.7
P568	33+475.000	25.000	0.00	110.84	0.0	2771.1	163888.1	752206.8
P569	33+500.000	25.000	0.00	107.84	0.0	2696.0	163888.1	754902.8
P570	33+525.000	25.000	0.00	105.00	0.0	2625.1	163888.1	757527.9
P571	33+550.000	25.000	0.00	101.76	0.0	2544.1	163888.1	760072.0
P572	33+575.000	25.000	0.00	98.70	0.0	2467.4	163888.1	762539.4
P573	33+600.000	25.000	0.00	95.85	0.0	2396.2	163888.1	764935.7
P574	33+625.000	25.000	0.00	92.67	0.0	2316.7	163888.1	767252.4
P575	33+650.000	25.000	0.00	89.72	0.0	2243.1	163888.1	769495.5
P576	33+675.000	25.000	0.00	86.92	0.0	2173.1	163888.1	771668.6
P577	33+700.000	25.000	0.00	84.11	0.0	2102.7	163888.1	773771.3
P578	33+725.000	25.000	0.00	81.36	0.0	2034.0	163888.1	775805.4
P579	33+750.000	25.000	0.00	78.77	0.0	1969.2	163888.1	777774.6
P580	33+775.000	25.000	0.00	76.00	0.0	1900.0	163888.1	779674.6
P581	33+800.000	25.000	0.00	73.34	0.0	1833.6	163888.1	781508.2
P582	33+825.000	25.000	0.00	70.43	0.0	1760.7	163888.1	783268.9
P583	33+850.000	25.000	0.00	67.63	0.0	1690.8	163888.1	784959.7
P584	33+875.000	25.000	0.00	64.92	0.0	1623.1	163888.1	786582.8
P585	33+900.000	25.000	0.00	61.53	0.0	1538.2	163888.1	788121.0
P586	33+925.000	25.000	0.00	57.56	0.0	1439.0	163888.1	789560.0
P587	33+950.000	25.000	0.00	54.12	0.0	1353.1	163888.1	790913.1
P588	33+975.000	25.000	0.00	51.18	0.0	1279.5	163888.1	792192.6
P589	33+1000.000	25.000	0.00	50.87	0.0	1271.8	163888.1	793464.4
P590	34+025.000	25.000	0.00	49.63	0.0	1240.8	163888.1	794705.2
P591	34+050.000	25.000	0.00	49.44	0.0	1236.1	163888.1	795941.3
P592	34+075.000	25.000	0.00	48.52	0.0	1213.1	163888.1	797154.4
P593	34+100.000	25.000	0.00	47.47	0.0	1186.7	163888.1	798341.1
P594	34+125.000	25.000	0.00	47.46	0.0	1186.5	163888.1	799527.6
P595	34+150.000	25.000	0.00	47.27	0.0	1181.8	163888.1	800709.4
P596	34+175.000	25.000	0.00	46.97	0.0	1174.3	163888.1	801883.7
P597	34+200.000	25.000	0.00	46.76	0.0	1168.9	163888.1	803052.6
P598	34+225.000	25.000	0.00	46.69	0.0	1167.3	163888.1	804219.9
P599	34+250.000	25.000	0.00	46.73	0.0	1168.3	163888.1	805388.2
P600	34+275.000	25.000	0.00	45.50	0.0	1137.6	163888.1	806525.8
P601	34+300.000	25.000	0.00	44.08	0.0	1101.9	163888.1	807627.7
P602	34+325.000	25.000	0.00	42.60	0.0	1064.9	163888.1	808692.7
P603	34+350.000	25.000	0.00	42.38	0.0	1059.5	163888.1	809752.2
P604	34+375.000	25.000	0.00	42.43	0.0	1060.8	163888.1	810813.0

P605	34+400.000	25.000	0.00	42.13	0.0	1053.2	163888.1	811866.2
P606	34+425.000	25.000	0.00	40.94	0.0	1023.4	163888.1	812889.6
P607	34+450.000	25.000	0.00	39.28	0.0	982.0	163888.1	813871.6
P608	34+475.000	25.000	0.00	37.74	0.0	943.5	163888.1	814815.1
P609	34+500.000	25.000	0.00	36.65	0.0	916.2	163888.1	815731.3
P610	34+525.000	25.000	0.00	37.07	0.0	926.8	163888.1	816658.1
P611	34+550.000	25.000	0.00	35.22	0.0	880.5	163888.1	817538.7
P612	34+575.000	25.000	0.00	32.40	0.0	810.1	163888.1	818348.7
P613	34+600.000	25.000	0.00	31.16	0.0	779.0	163888.1	819127.8
P614	34+625.000	25.000	0.00	30.99	0.0	774.8	163888.1	819902.6
P615	34+650.000	25.000	0.00	32.45	0.0	811.3	163888.1	820713.9
P616	34+675.000	25.000	0.00	34.05	0.0	851.1	163888.1	821565.0
P617	34+700.000	25.000	0.00	35.67	0.0	891.8	163888.1	822456.8
P618	34+725.000	25.000	0.00	37.20	0.0	930.0	163888.1	823386.7
P619	34+750.000	25.000	0.00	38.19	0.0	954.8	163888.1	824341.6
P620	34+775.000	25.000	0.00	38.88	0.0	971.9	163888.1	825313.5
P621	34+800.000	25.000	0.00	35.93	0.0	898.3	163888.1	826211.8
P622	34+825.000	25.000	0.00	39.40	0.0	985.1	163888.1	827196.8
P623	34+850.000	25.000	0.00	44.19	0.0	1104.8	163888.1	828301.6
P624	34+875.000	25.000	0.00	49.21	0.0	1230.2	163888.1	829531.8
P625	34+900.000	25.000	0.00	51.18	0.0	1279.6	163888.1	830811.4
P626	34+925.000	25.000	0.00	49.54	0.0	1238.5	163888.1	832050.0
P627	34+950.000	25.000	0.00	42.62	0.0	1065.6	163888.1	833115.6
P628	34+975.000	25.000	0.00	33.82	0.0	845.5	163888.1	833961.1
P629	34+1000.000	25.000	0.00	29.60	0.0	740.1	163888.1	834701.2
P630	35+025.000	25.000	0.00	25.61	0.0	640.3	163888.1	835341.5
P631	35+050.000	25.000	0.00	24.73	0.0	618.4	163888.1	835959.9
P632	35+075.000	14.984	0.00	23.69	0.0	354.9	163888.1	836314.8
P633	35+079.967	12.500	0.00	23.36	0.0	292.0	163888.1	836606.8
P634	35+100.000	22.516	0.00	22.06	0.0	496.7	163888.1	837103.5
P635	35+125.000	25.000	0.00	13.16	0.0	328.9	163888.1	837432.4
P636	35+150.000	25.000	0.00	12.88	0.0	322.1	163888.1	837754.4
P637	35+175.000	15.149	0.00	16.30	0.0	246.9	163888.1	838001.3
P640	35+225.000	25.000	0.00	12.58	0.0	314.5	163888.1	838740.4
P641	35+250.000	25.000	0.00	13.96	0.0	349.0	163888.1	839089.4
P642	35+275.000	25.000	0.00	15.22	0.0	380.6	163888.1	839470.0
P643	35+300.000	25.000	0.00	18.19	0.0	454.6	163888.1	839924.7
P644	35+325.000	25.000	0.00	20.58	0.0	514.5	163888.1	840439.2
P645	35+350.000	25.000	0.00	22.15	0.0	553.7	163888.1	840992.9
P646	35+375.000	25.000	0.00	27.77	0.0	694.2	163888.1	841687.2
P647	35+400.000	25.000	0.00	28.56	0.0	714.1	163888.1	842401.2
P648	35+425.000	25.000	0.00	19.62	0.0	490.5	163888.1	842891.7
P649	35+450.000	25.000	0.00	14.03	0.0	350.8	163888.1	843242.5
P650	35+475.000	25.000	0.00	6.44	0.0	161.0	163888.1	843403.6
P651	35+500.000	25.000	7.96	0.00	198.9	0.0	164087.1	843403.6
P652	35+525.000	25.000	6.49	0.00	162.2	0.0	164249.3	843403.6
P653	35+550.000	25.000	0.00	0.91	0.0	22.7	164249.3	843426.3
P654	35+575.000	23.617	0.00	8.32	0.0	196.6	164249.3	843622.9
P655	35+597.234	11.117	0.00	14.47	0.0	160.8	164249.3	843783.7

Annexe : Reportage photographique





