République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة

فرنسيس جانسون

Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude en APD de la nouvelle ligne minière à voie unique Béchar -Tindouf - Gara Djebilet du PK113+000 au PK122+650 avec la conception d'une gare de croisement avec une voie d'évitement

Encadré par :

Mme. SERIDJI Widad

Mr. BERRICHE Yacine

Présenté par :

GRINE Naila

Promotion 2024/2025

© ENSTP-FJ - Garidi - Vieux Kouba

ملخص

يتناول هذا التقرير دراسة مشروع تفصيلي **(APD)** لخط سكة حديدية منجمي أحادي السكة يربط بين تندوف وبشار، يمتد من النقطة الكيلومتري **000+113** إلى النقطة **650+122**، مع تصميم محطة تقاطع في بشار.

وقد تم إعداد هذه الدراسة وفقًا لمعايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية**(UIC)** ، وبالاعتماد على توصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية الجزائرية**(SNTF)** ، باستخدام البرامج التالية:

Google Earth. Geo5. ،InfraWorks ،CIVIL 3D

Résumé

Le présent mémoire porte sur une étude avant-projet détaillée (APD) d'une ligne ferroviaire minière à voie unique reliant Tindouf à Béchar, du PK 113+000 au PK 122+650, avec la conception d'une gare de croisement avec une voie d’évitement

Cette étude a été réalisée conformément aux normes de l'Union internationale des chemins de fer (UIC) et sur la base des recommandations de la Société nationale des transports ferroviaires algérienne (SNTF), en utilisant les logiciels suivants : CIVIL 3D, InfraWorks, Geo5, Google Earth.

Summary

This report presents a detailed preliminary design study (Avant-Projet Détaillé – APD) of a single-track mining railway line connecting Tindouf to Béchar. The section covered extends from PK 113+000 to PK 122+650 and includes the design of a crossing station in Béchar.

The study was conducted in accordance with the standards of the International Union of Railways (UIC) and the recommendations of the Algerian National Railway Transport Company (SNTF). The following software tools were used: Autodesk Civil 3D, InfraWorks, Geo5, and Google Earth.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude envers Dieu pour la force, le courage et la persévérance qu'Il m'a accordés pour mener à bien ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Je remercie particulièrement l'équipe pédagogique de l'ENSTP pour son encadrement, ainsi que ***Monsieur F. FEDGHOUCHE*** *et* ***Madame Y. MAHIAOUI*** *pour leur accompagnement précieux. Mes remerciements vont également à l'administration du département des Infrastructures de Base pour son professionnalisme et ses conseils.*

Je suis reconnaissante envers mes encadrants, ***Madame W. SERIDJI*** *et* ***Monsieur Y. BERRICHE****, pour leur rigueur, leur expertise et leur disponibilité. Un grand merci aussi à* ***Monsieur R. MORSLI*** *pour son soutien constant et ses remarques enrichissantes. Qui ont été d'une grande valeur.*

Je tiens à adresser un remerciement tout particulier à ***Monsieur I. HAMMADI****, dont le soutien exceptionnel, la disponibilité sans faille et les conseils pertinents ont été décisifs dans l'avancement et la réussite de ce travail. Son implication m'a été d'une aide précieuse à chaque étape, et je lui en suis profondément reconnaissante*

Je remercie l'équipe de ***SETO****, en particulier* ***Monsieur M. BOUDADI****, ainsi que les professionnels de* ***SETIRAIL****, notamment* ***Monsieur O. AMAROUCHE et S. ZARITA*** *pour leur accueil, leur accompagnement et le partage de leur expérience.*

Enfin, j'adresse ma reconnaissance aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour leurs retours constructifs.

Un grand merci à ***Monsieur H. BOULAKAKEZ*** *pour l'accueil exceptionnel, la disponibilité, et les explications techniques claires et enrichissantes. J'ai énormément appris pendant cette visite, et j'ai vraiment senti le sérieux et l'implication de toute l'équipe.*

Merci aussi à l'ensemble de l'équipe sur place pour leur gentillesse et leur professionnalisme. C'était une expérience très enrichissante, aussi bien sur le plan humain que technique.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à ma très chère mère. Tu es pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple de dévouement qui n'a jamais cessé de m'encourager. Tes prières et tes bénédictions m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait exprimer à quel point tu mérites reconnaissance pour tous les sacrifices que tu as consentis depuis ma naissance. Tu as fait plus que ce qu'une mère pourrait faire pour orienter ses enfants sur le bon chemin dans leur vie et leurs études. Puisse Dieu, le Tout-Puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

À mon cher père, grâce à ton tendre encouragement et à tes grands sacrifices, tu as créé un climat affectueux et propice à la poursuite de mes études. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments à ton égard. Je prie le bon Dieu de te bénir et de veiller sur toi, en espérant que tu sois toujours fier de moi.

À mes frères et sœurs, à mes oncles, tantes, cousins et cousines, ainsi qu'à toute ma famille et à tous mes amis sans exception.

Abréviations

A.P.D : Avant-Projet Détaillé.

ADV : Appareil De Voie.

ANESRIF : Agence Nationale d'Études et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires.

BV : Bassin versant.

CC : Chemin Communal.

ERTMS : Européen Railways Traffic Management System.

GF : Garage Franc

IDF : Intensité - Durée – Fréquence.

Lu : Longueur Utile.

PK : Point kilométrique**.**

PU : Puit de reconnaissance.

RN : Route Nationale.

SC : Sondage Carotté.

SNTF : Société Nationale des Transports Ferroviaires.

SP : Sondage pressiométrique.

SPT : Essai de Pénétration Standard.

UIC : Union Internationale des Chemins de fer**.**

VBS : Essai bleu de méthylène.

Table des matières

Introduction Générale *1*

Chapitre I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE *1*

I.1 Introduction **3**

I.2 Les Conséquences de pathologie sur la voie ferrée **3**

I.2.1 Les risques liés au matériel roulant 4

I.2.1.1 Risque de rupture d'essieu 4

I.2.1.2 Risque de rupture d'attelage 4

I.2.1.3 Risque de défaillance des freins 4

I.2.2 Les risques liés à l'état de l'infrastructure 5

I.2.2.1 Les risques liés à l'état de la voie 5

I.2.2.2 Les risques liés aux zones en travaux 5

I.2.3 Les risques liés à l'environnement d'une ligne de chemin de fer 5

I.2.3.1 Risques liés aux intempéries 5

I.2.3.2 Risques liés à la traversée des voies dans les gares 6

I.2.4 Les risques liés aux intersections avec les routes 6

I.3 Conclusion **7**

Chapitre II : PRESENTATION DU PROJET *8*

II.1 Introduction **8**

II.2 Présentation du site **8**

II.2.1 Situation géographique 8

II.2.2 Relief 9

II.2.3 Climat 9

II.2.4 Sismicité 9

II.3 Présentation du projet **9**

II.3.1 Les caractéristiques du projet 10

II.4 Conclusion **11**

Chapitre III : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE *12*

III.1 Introduction **12**

III.2 Armement de la voie 12
III.2.1 Le rail 12
III.2.1.1 Assemblage des rails 14
III.2.1.1.1 Éclisse 14
III.2.2 Les Traverses 15
III.2.3 Le système d'attache 16
III.2.4 L'appareil de voie 17
III.3 Conclusion 18
Chapitre IV : TRACE EN PLAN 29
IV.1 Introduction 19
IV.2 Le tracé en plan 19
IV.2.1 Conditions à respecter pour le tracé en plan 20
IV.2.2 Caractéristiques géométriques 20
IV.2.3 Les éléments de tracé en plan 21
IV.2.3.1 Les alignements 21
IV.2.3.2 Les raccordements circulaires 21
IV.2.3.3 Les raccordements progressifs 22
IV.2.3.4 Le devers théorique 22
IV.2.3.5 Le divers réel ou pratique 22
IV.2.3.6 Fixation du dévers réel 22
IV.2.3.7 Insuffisance de dévers 23
IV.2.3.8 Excès de dévers 23
IV.2.3.9 Variation de devers dd/dl 24
IV.2.3.10 Variation de l'insuffisance de dévers dI/dt 25
IV.3 Application à notre projet 25
IV.4 Raisons du Changement 26
IV.5 Conclusion 28
Chapitre V : PROFIL EN LONG 29
V.1 Introduction 29
V.2 Définition 29
V.3 Éléments de composition du profil en long 29
V.3.1 Choix des alignements droits 29
V.3.2 Choix des cercles 30

V.4 Coordination profil en long – tracé en plan 31

V.5 Application à notre projet 32

V.6 Conclusion 33

Chapitre VI : ÉTUDE DE CONTRAINTES 34

VI.1 Introduction 34

VI.2 Les contraintes 34

VI.2.1 Les réseaux de transport de l'électricité 34

VI.2.2 Les rétablissements routiers 35

VI.3 Conclusion 35

Chapitre VII : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE 35

VII.1 Introduction 36

VII.2 Cartographie 36

VII.3 Etude hydrologique 36

VII.3.1 Caractéristiques morphologiques des bassins versants 37

VII.3.2 Temps de concentration Tc 38

VII.3.3 Caractéristiques climatiques et pluviométriques 41

VII.3.3.1 Climat 41

VII.3.3.2 Etude des pluies journalières maximales 41

VII.3.4 Intensité de pluie 43

VII.3.5 Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) 45

VII.3.6 Le coefficient de ruissellement 46

VII.4 Application à notre projet 47

VII.4.1 Calcul des débits de projet par la méthode rationnelle 48

VII.4.2 Calcul des débits de projet par la méthode CRUPEDIX 48

VII.5 Etude hydraulique 50

VII.5.1 Introduction 50

VII.5.2 Dimensionnement des ouvrages transversaux Méthode de MANNING STRICKLER 50

VII.5.3 Vérification des conditions d'auto curage 51

VII.5.4 Application à notre projet 52

VII.5.5 Dimensionnement des ouvrages longitudinale 56

VII.5.6 Dimensionnement des fossés 57

VII.5.7 Application à notre projet 58

VII.6 Conclusion..... 59

Chapitre VIII : ÉTUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE.....60

VIII.1 Introduction 60

VIII.2 L'étude géologique 60

VIII.2.1 Aperçu géologique régionale 60

VIII.2.2 Aspect morphologique de la zone d'étude 61

VIII.2.3 Litho stratigraphie.....61

VIII.2.4 Contexte géologique de ce tronçon.....62

VIII.2.5 Géomorphologie du site du tracé.....63

VIII.2.6 Risque géologique.....63

VIII.3 Etude géotechnique..... 63

VIII.3.1 Introduction.....63

VIII.3.2 Programme d'investigation géotechnique 64

VIII.3.2.1 Lot tracé 64

VIII.3.2.2 Lot Ouvrage.....66

VIII.3.3 Campagne de reconnaissance géotechnique.....66

VIII.3.3.1 Puits de reconnaissance 66

VIII.3.3.2 Sondage carotté et pressiométriques 68

VIII.3.3.3 Essais de standard pénétration TEST (S.P.T).....69

VIII.3.3.4 Analyse du laboratoire 70

VIII.3.4 Gites d'emprunts et carrières.....74

VIII.4 Conclusion..... 74

Chapitre IX : ASSISE FERROVIAIRE 60

IX.1 Introduction 75

IX.2 Le ballast..... 75

IX.2.1 Rôle de ballast 75

IX.2.2 Matériau 76

IX.3 Sous-couche 77

IX.3.1 Une couche sous-ballast.....77

IX.3.2 Une couche de fondation 77

IX.3.3 Rôle de la sous couche.....77

IX.4 La plate-forme..... 78

IX.4.1 Définition 78

IX.4.2 Classification des sols pour la plateforme 78

IX.5 Calcul des épaisseurs minimal de couche d'assise 81

IX.6 Conclusion.... 84

Chapitre X : PROFIL EN TRAVERS.... 85

X.1 Introduction 85

X.2 Profil en travers 85

X.2.1 Les éléments du profil en travers 85

- Éléments de superstructure : 85
- Éléments de l'infrastructure : 86
- Éléments du talus : 86
- Éléments d'assainissement : 86

X.2.2 Profil en travers de notre projet d'étude 86

X.3 Calcul des cubatures 86

X.4 Conclusion.... 87

Chapitre XI : CONCEPTION DE LA GARE.... 88

XI.1 Introduction 88

XI.2 Objectifs de la gare PCVE 88

XI.3 Aménagement de la gare 88

XI.3.1 Marge de glissement à l'aval des signaux : 88

XI.3.2 Garage franc : 89

XI.3.3 La longueur utile d'une voie de stationnement : 89

XI.3.4 Heurtoir : 89

XI.4 Caractéristiques géométriques de PCVE.... 89

XI.4.1 Déclivité dans les gares : 89

XI.4.2 Les appareils de voie 89

XI.4.2.1 Désignation des appareils de voie 90

XI.5 Application à notre Projet : 90

XI.5.1 Localisation et configuration....90

XI.5.2 Composition des voies....90

XI.5.3 Appareils de voie 91

XI.5.4 Rayon de courbure 91

XI.5.5 Garages francs....92

XI.5.6 Intérêt fonctionnel et stratégique 92

XI.6 Assainissement 93

XI.6.1 Assainissement longitudinale 93

XI.6.2 Assainissement transversal 93

XI.6.3 Eléments de drainage 93

XI.6.3.1 Fossés 93

XI.6.3.2 Drain perforé 94

XI.7 Conclusion 94

Chapitre XII : SIGNALISATION FERROVIARE 95

XII.1 Introduction 95

XII.2 Objet de la signalisation ferroviaire 95

XII.3 Les principaux risques ferroviaires 95

XII.4 Implantation des signaux en Algérie 96

XII.5 Principe da signalisation ferroviaire 97

XII.6 Les différents types de blocs ferroviaires 97

XII.7 Aspects des signaux 98

XII.8 Principe de base de cantonnement 100

XII.9 Système de contrôle et de protection ERTMS 101

XII.9.1 Les fonctions d'ERTMS 101

XII.10 Système de signalisation proposé pour notre projet 102

XII.11 Conclusions 103

Chapitre XIII : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT 104

XIII.1 Introduction 104

XIII.2 Objectifs de l'étude d'impact sur l'environnement 104

XIII.3 Délimitation de la zone d'étude 104

XIII.3.1 Aperçu général 104

XIII.4 Description de l'état initial de la zone d'étude 104

XIII.4.1 Milieu naturel 104

XIII.4.1.1 L'environnement physique 104

XIII.4.1.2 L'Environnement Biologique 105

XIII.4.2 Milieu humain....106
XIII.4.2.1 L'Environnement socioculturel....106
XIII.5 Évaluation des impacts du projet sur l'environnement 106
XIII.5.1 Impacts positifs....106
XIII.5.2 Impacts négatifs....107
XIII.6 Les mesures prises pour réduire ou compenser les impacts 108
XIII.7 Conclusion.... 109
Chapitre XIV : PLANIFICATION DU PROJET 116
XIV.1 Introduction 116
XIV.2 Objectifs de la planification.... 116
XIV.3 Le diagramme de Gantt.... 116
XIV.4 Résumé de notre projet 117
XIV.5 Conclusion.... 118
Conclusion générale.... 119
Bibliographie 117

Liste des tableaux

Tableau II-1: Les paramètres de conceptions du tronçon TINDOUF BECHAR 10
Tableau III-1 : Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1 13
Tableau IV-1 : Vitesse des trains maximale 20
Tableau IV-2 : Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes 21
Tableau IV-3 : Limitation de la courbure 22
Tableau IV-4 : Valeurs limites de dévers 23
Tableau IV-5 : Valeurs limites de l'insuffisance de dévers 23
Tableau IV-6 : Valeurs limites de l'excès de dévers 24
Tableau IV-7 : Limite de la variation de devers par rapport à la longueur 24
Tableau IV-8 : Limite de la variation de devers par rapport au temps 24
Tableau IV-9 : Limite de variation de l'insuffisance de devers dans les raccordements 25
Tableau IV-10 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé 27
Tableau V-1 : Les longueurs minimales des éléments de profile en long 30
Tableau V-2 : Valeurs de Rayon vertical minimale 31
Tableau V-3 : Valeurs des paramètres de profil en long (SNTF) 31
Tableau V-4 : Récapitulatif des paramètres de profil en long 32
Tableau VI-1 : Les PK des différents réseaux existants 34
Tableau VI-2 : Les routes croisées par le tracé projeté 35
Tableau VII-1 : Les caractéristiques morphométriques des bassins versants 40
Tableau VII-2 : Les précipitations maximales journalières 41
Tableau VII-3 : Caractéristiques climatiques 41
Tableau VII-4 : Pluies journalières maximales fréquentielles 42
Tableau VII-5 : Les valeurs des paramètres de Montana pour les différentes périodes de retour 44
Tableau VII-6 : Valeur des intensités pour les différentes périodes de retour 44
Tableau VII-7 : Coefficient $C1$ 46
Tableau VII-8 : Coefficient $C2$ 46
Tableau VII-9 : Coefficient $C3$ 47
Tableau VII-10 : Débits des bassins versants 49
Tableau VII-11 : Coefficient de rugosité 51
Tableau VII-12 : Pré dimensionnement des ouvrages d'assainissement transversaux 55
Tableau VII-13 : Liste globale des ouvrages à projeter 56

Tableau VII-14 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai. 58
Tableau VII-15 : Dimensionnement du fossé proposé 59
Tableau VIII-1: Programme d'investigation de Lot tracé 64
Tableau VIII-2: Programme d'investigation lot ouvrage 66
Tableau VIII-3 : Les résultats des puits (PR) effectués 66
Tableau VIII-4 : Résume des sondages carottés effectués 68
Tableau VIII-5 : Résume des essais de pénétration dynamique effectués 70
Tableau VIII-6 : Résume des résultats des essais de laboratoire sur échantillons de sols remaniés 72
Tableau VIII-7 : Résume des résultats des essais mécaniques sur échantillons de sols remaniés 73
Tableau VIII-8 : Résume des résultats des essais chimiques sur échantillons de sols remaniés 73
Tableau VIII-9 : Gite d'emprunt proposé 74
Tableau X-1: Les classes de qualité des sols 79
Tableau X-2: La classe la portance de la plate-forme (Normes UIC 719 R) 80
Tableau X-3: Les valeurs des différents paramètres pour le calcul de l'épaisseur 82
Tableau **X-4**: Structure de la voie du projet 84
Tableau XI-1: Cubatures de terrassement 87
Tableau XI-2: Cubatures de la couche d'assise 87
Tableau XIII-1: Les principaux risques ferroviaires 95
Tableau XIII-2: Les principaux signaux ferroviaires et leur indication 98
Tableau XIV-1: Identification des impacts négatifs du projet 107
Tableau XIV-3: Les mesures prises pour réduire les impacts 109

Liste des figures

Figure II-1: Plan de situation de la zone d'étude 8
Figure II-2: Localisation du projet..... 10
Figure III-1 : Les constituant de la section transversal de rail..... 13
Figure III-2: Profil Rail de type Vignole UIC $60^{E}1$ lors de la visite de terrain 13
Figure III-3 : Une éclisse fixée sur une voie ferrée prise lors de la visite 14
Figure III-4 : Une soudure aluminothermique prise lors de la visite..... 15
Figure III-5 : Traverses monobloc d'une longueur exceptionnelle de 2,6 prises lors de la visite 16
Figure III-6 : Le système d'attache VOSSLOH prise lors de la visite 16
Figure III-7 : Appareils de voie observés lors de la visite au niveau de la gare 17
Figure IV-1: Elément de tracé en plan..... 19
Figure IV-2 : Raccordement de divers..... 24
Figure VII-1 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies journalières maximales..... 42
Figure VII-2 : Courbe intensité - durée – Fréquence (IDF) 44
Figure VII-3 : Ouvrage hydraulique (buse)..... 52
Figure VII-4 : Ouvrage hydraulique (dalot) 54
Figure VIII-1: Tracé projeté du Pk 00 au Pk 200 sur carte géologique du Nord-Ouest de l'Afrique 1/5 000 00 62
Figure VIII-2: Carte des zones sismique de l'Algérie (RPOA,2008)..... 63
Figure X-1: Vue générale d'une carrière de ballast destinée à l'approvisionnement de la ligne Bechar Tindouf..... 75
Figure X-2: Ballast ferroviaire lors de la visite de terrain..... 76
Figure X-3: Sous couche ferroviaire avec géotextile installé sur le terrain..... 77
Figure X-4: Structure d'assise 82
Figure XIII-1 : Cantonnement..... 100
Figure XIII-2: Le système de cantonnement 101
Figure XIII-3: Le système ERTMS 102

Introduction Générale

L'Algérie, pays vaste et diversifié, dispose d'un réseau ferroviaire en expansion qui joue un rôle essentiel dans son développement économique et social. Principalement géré par la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF), ce réseau s'étend sur plusieurs milliers de kilomètres, reliant les principales villes du pays.

Bien que son développement initial ait été fortement influencé par l'époque coloniale française, depuis l'indépendance en 1962, l'Algérie a entrepris une vaste modernisation et extension de son infrastructure ferroviaire pour répondre aux besoins croissants de sa population et soutenir son économie en pleine expansion. Un projet majeur de cette modernisation est la nouvelle ligne ferroviaire reliant Gara Djebilet à Béchar.

Ce corridor stratégique est essentiel pour l'économie algérienne, car il facilite le transport du minerai de fer extrait du gisement de Gara Djebilet (Tindouf) vers Béchar, puis vers le nord-ouest du pays pour son exploitation ou exportation. Cette infrastructure joue un rôle central dans l'exploitation optimale des vastes ressources minérales du pays, stimulant ainsi le développement économique régional et créant de nombreux emplois.

En connectant des régions éloignées aux principaux centres économiques, cette ligne ferroviaire renforce l'intégration nationale et améliore l'utilisation des ressources naturelles, consolidant la position de l'Algérie sur le marché mondial des minerais.

Dans ce mémoire, nous nous penchons sur l'étude en APD de la nouvelle ligne minière reliant Béchar à Gara Djebilet, s'étendant du PK 113+000 au PK 122+650.

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

- Une recherche bibliographique sur la pathologie
- Une présentation du projet et la Superstructure de la voie
- Etude géométrique, hydrologique et hydraulique ainsi qu'une étude géologique et géotechnique

- Un dimensionnement de la couche d'assise à partir des résultats de l'étude géologique et géotechnique
- Réalisation des terrassements et définition du profil en travers type, assurant la stabilité et la qualité de la voie ferrée à travers les phases de déblai, remblai et conditions de mise en œuvre.
- Conception de la gare d'accroissement avec une voie d'évitement
- Installation des systèmes de signalisation pour assurer la sécurité et la régulation du trafic ferroviaire
- Étude d'impact environnemental pour évaluer les implications écologiques et sociales du projet
- Une estimation des coûts du projet et coordination globale pour une mise en œuvre efficace et réussie.

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

Chapitre I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Introduction

La voie ferrée est une infrastructure essentielle pour le transport ferroviaire, assurant la circulation sécurisée et efficace des trains. Cependant, au fil du temps, elle subit diverses dégradations dues à des facteurs environnementaux, mécaniques et opérationnels, ce qui peut compromettre la sécurité et le confort des passagers ainsi que la durabilité des infrastructures ferroviaires. La pathologie de la voie ferrée désigne l'ensemble des dégradations et anomalies qui affectent les différents composants de la voie, notamment les rails, les traverses, le ballast et la plateforme. Ces pathologies peuvent être causées par des charges excessives, des variations climatiques, l'usure des matériaux ou encore des défauts de conception et de maintenance. L'étude des pathologies ferroviaires permet de mieux comprendre les mécanismes de dégradation, d'optimiser les opérations d'entretien et de garantir la pérennité des infrastructures. Une gestion efficace de ces pathologies est essentielle pour assurer la sécurité des circulations et limiter les coûts de maintenance.

Dans ce chapitre, nous étudierons les conséquences des pathologies affectant la voie ferrée.

I.2 Les Conséquences de pathologie sur la voie ferrée

Les pathologies de voie ferre sont des conséquences multiples qui peuvent affectuel aussi bien la durabilité des infrastructures que l'exploitation ferroviaire. L'analyse de ce dernier est essentielle pour mettre en place des Stratégies de maintenance efficace et garantir la fiabilité de réseau ferroviaire. Parmi les risques les plus notables nous pouvons citer les risques ferroviaires selon la nature suivante :

- Risques liés au matériel roulant (exemple : défaillance d'un wagon)

- Risques liés à l'état de l'infrastructure (exemple : rail cassé).

- Risques liés à l'environnement d'une ligne de chemin de fer (exemple : chute d'un arbre).

- Risques particuliers liés à la circulation d'un train sur une voie ferrée (exemple : excès de vitesse sur une aiguille en déviation)

-Risques liés à la circulation d'un mobile sur une voie de chemin de fer

I.2.1 Les risques liés au matériel roulant

Les risques liés au matériel roulant, similaires à ceux du transport automobile, concernent principalement la sécurité de la composition et des capacités de freinage des trains. Avant leur mise en circulation, les trains subissent des vérifications approfondies. Pendant leur trajet, des systèmes électroniques surveillent leur fonctionnement.

I.2.1.1 Risque de rupture d'essieu

Comme un pneu peut éclater sur un véhicule, un essieu peut se rompre brusquement.

-Prévention

Ce risque est réduit grâce au détecteur de boîte chaude (DBC). Ce système utilise des sondes thermiques et un comptage des essieux pour mesurer la température des boîtes de chaque côté de l'essieu. Lorsqu'un train passe devant ces détecteurs, les données de température sont envoyées à un poste d'aiguillage pour enregistrement et surveillance. Si un seuil de température est atteint ou si une différence anormale entre les deux boîtes est détectée, une alarme se déclenche. Deux types d'alarmes sont générés : alarme simple ou alarme danger, avec une procédure de gestion à suivre.

I.2.1.2 Risque de rupture d'attelage

Comme un camion peut perdre sa remorque, un attelage entre deux wagons peut se briser, créant une dérive, notamment lors du passage d'une aiguille en position déviée, si l'attelage n'est pas correctement réalisé.

-Prévention

Ce risque est évité par l'application de règles strictes concernant la composition des trains et la réalisation des attelages, précisées dans une réglementation spécifique pour les opérateurs des escales.

I.2.1.3 Risque de défaillance des freins

Comme un camion peut perdre ses freins, un train peut souffrir d'un mauvais freinage. Cela présente des risques majeurs, tels que :

- Un excès de vitesse par rapport aux capacités techniques des voitures remorquées, si le bulletin de freinage n'est pas correctement calculé.
- L'incapacité de s'arrêter en gare ou devant un signal fermé, si une partie du train est mal freinée et cela n'a pas été détecté lors des essais de frein.
- Un problème en ligne si une voiture défectueuse en freinage reste intégrée au train.

-Prévention

Le risque est limité grâce à l'établissement d'un bulletin de freinage remis au conducteur et à un essai de frein avant le départ. Ces procédures sont régies par une réglementation spécifique pour les Agents-Formation.

I.2.2 Les risques liés à l'état de l'infrastructure

L'état d'une route peut provoquer des accidents. Mauvais état de la chaussée, mauvaise signalisation des travaux alors les risques sont nombreux et il en est de même sur une voie ferrée.

I.2.2.1 Les risques liés à l'état de la voie

Rail cassé ou cœur d'aiguille fissuré, les risques sont importants.

-Comment les éviter :

On peut les éviter grâce à l'auscultation périodique des rails et des appareils de voie. Pour cela, outre les indispensables tournées à pied pour repérer les imperfections de détail (opération Vigirail), on fera circuler un engin spécialisé de mesure de la géométrie des voies : la voiture Mauzin. Sur d'autres lignes, on fera circuler le wagon SIM (Surveillance, Inspection, Mesure).

I.2.2.2 Les risques liés aux zones en travaux

Sur une voie dépourvue de ballast ou sur un pont provisoire, il faudra absolument circuler à vitesse très réduite.

-Comment les éviter : On mettra en place une limitation temporaire de vitesse (LTV), signalisation composée de panneaux circulaires de chantier.

I.2.3 Les risques liés à l'environnement d'une ligne de chemin de fer

Les lignes de chemin de fer, comme les routes, traversent non seulement des zones urbaines, mais aussi des milieux naturels tels que les champs, les forêts et les montagnes. Ces environnements peuvent présenter des risques importants pour la sécurité et la stabilité des infrastructures ferroviaires.

I.2.3.1 Risques liés aux intempéries

Les phénomènes climatiques extrêmes, tels que la montée des eaux, la chute d'arbres, les chutes de neige abondantes ou encore les violentes tempêtes, constituent des menaces sérieuses pour

la stabilité des voies ferrées et la sécurité des circulations. Ces conditions peuvent perturber le fonctionnement normal des trains et des installations ferroviaires.

-Mesures préventives

Détecteurs de chutes de rochers : Utilisation de technologies avancées pour prévenir les déraillements en détectant les chutes de rochers en montagne.

Chasse-neige et entretien des installations : En montagne, la circulation de chasse-neige est essentielle pour déneiger les voies et les pédales d'annonce des passages à niveau afin de garantir la sécurité.

Limitation de la vitesse en cas de vents violents : Lors de tempêtes ou de vents à grande vitesse, la vitesse des TGV, équivalente à celle nécessaire pour le décollage d'un avion, doit être réduite pour prévenir tout risque de déraillement.

I.2.3.2 Risques liés à la traversée des voies dans les gares

Les voyageurs sont exposés à des risques de collision avec les trains lorsqu'ils traversent les voies, notamment en l'absence de passages souterrains ou aériens.

-Mesures préventives

Pictogrammes d'annonce des circulations : L'installation de pictogrammes lumineux, qui s'allument en rouge lorsqu'un train est imminent, permet de signaler la présence d'une circulation. Cela aide à réduire les accidents, notamment mortels, en informant les voyageurs des risques de passage d'un train.

I.2.4 Les risques liés aux intersections avec les routes

Apparu lors de l'essor de l'automobile, le risque routier a provoqué de nombreux accidents, ce qui a amené l'État à légiférer, tout en reconnaissant le principe fondamental suivant : le train a priorité absolue sur l'automobile.

Comment les éviter : On évite une collision avec une automobile grâce au à la technique du passage à niveau (PN) permettant l'intersection de la voie ferrée avec un chemin ou une route. Il en existe deux types : les passages à niveau « gardés » (par un ou un garde-barrière chargé de manœuvrer les deux barrières coupant la route) et les passages à niveau automatiques.

I.3 Conclusion

La voie ferrée peut être exposée à plusieurs dégradations avec le temps. Ces pathologies touchent les rails, les traverses, le ballast ou même la plateforme Elles sont causées par l'usure, le climat, le poids des trains ou le manque d'entretien. Ces problèmes peuvent mettre en danger la sécurité des trains et des passagers. Ils peuvent aussi augmenter les coûts de réparation et perturber la circulation. C'est pour cela qu'il est très important de bien surveiller l'état de la voie. Une bonne maintenance permet d'éviter les accidents et de garder la voie en bon état. Comprendre les pathologies aide à mieux les traiter et à protéger l'infrastructure.

Chapitre II : PRESENTATION DU PROJET

Chapitre II : PRESENTATION DU PROJET

II.1 Introduction

La nouvelle ligne à concevoir destinée pour le transport de minerai de fer, est une ligne minière à transport lourd. Des trains voyageurs peuvent aussi emprunter cette ligne. Il favorise la croissance économique en permettant un transport efficace des marchandises vers les centres de transformation et les ports d'expédition.

Ce chapitre présente le site d'implantation la situation géographie et les caractéristiques principales du projet.

II.2 Présentation du site

La commune d'Abadla est située dans le sud-ouest de l'Algérie, à environ 90 km au sud-est de la ville de Béchar. Le site d'étude se trouve dans une zone facilement accessible, connue pour ses terres agricoles autour de l'oued Guir. C'est une région à faible densité de population, offrant de vastes espaces adaptés aux projets d'aménagement ou de développement local.

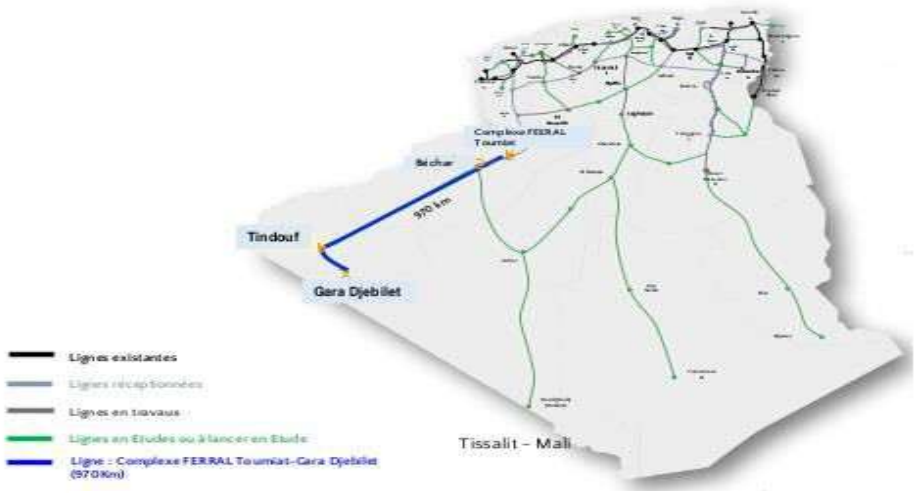


Figure II-1: le tronçon Béchar-GARA DJEBILET (Tindouf)

II.2.1 Situation géographique

La commune d'Abadla occupe une position stratégique sur la route nationale N°6 reliant Béchar à Tindouf ce qui en fait un point de passage important dans la région saharienne.

Abadla est entourée par plusieurs communes notamment :

-Kenadsa au nord-ouest.

-Beni Ounif au nord-est.

-Tabelbala plus au sud-ouest et de vastes étendues sahariennes vers le sud.

Sur le plan administratif, Abadla est une daïra composée d'une seule commune : Abadla elle-même. Elle s'étend sur une superficie d'environ 2 870 km² et abrite une population d'environ 13 500 habitants, avec une faible densité typique des zones sahariennes.

II.2.2 Relief

Abdala est placée sur un vaste plateau où passe la route nº 6 reliant les wilayas du sud-ouest Adrar et Tindouf avec les wilayas du nord de l'Algérie. La ville a connu un développement qui se compose de nouvelles cités se distinguant par leurs fonctions. L'ancienne ville se trouve sur la rive gauche de l'oued de Guir.

II.2.3 Climat

Il est caractérisé par une aridité croissante d'année en année, les pluies n'atteignent pas 50 mm/an et la température varie entre 10° et 45°. Les vents sont violents en avril et mai, ils soufflent en permanence, provoquent des tempêtes de sable.

II.2.4 Sismicité

Le règlement parasismique Algérien (RPA 2024), divise le territoire national en cinq (07) zones de sismicité croissante, définies comme suit :

- Zone 0 : sismicité très faible.

-Zone I : sismicité faible.

- Zone II : sismicité faible à moyenne.

-Zone III : sismicité moyenne.

-Zone IV : moyenne à élevée

-Zone V & VI : élevée

La Wilaya de ABADLA est classée dans la zone I. Cela implique que l'activité tectonique et sismique dans la zone d'étude est faible.

II.3 Présentation du projet

Nous allons présenter dans ce travail notre thème de projet de fin d'étude une étude en avant-Projet détaillé (APD) de la nouvelle ligne ferroviaire Béchar / Tindouf (Gara Djebilet) exactement entre les points kilométriques (Pk113+000 et Pk 122+650) avec une longueur d'environ 10 km.

Un aspect remarquable de ce projet est sa capacité à accueillir des trains d'une longueur impressionnante de 2.4 kilomètres. Cette caractéristique en fait le deuxième plus long train de marchandises au monde a une charge d'essieu égale à 32.5 tonnes.

L'objectif de réalisation de ce méga projet est le transport à long terme 50 million de tonnes de minière de fer par ans.

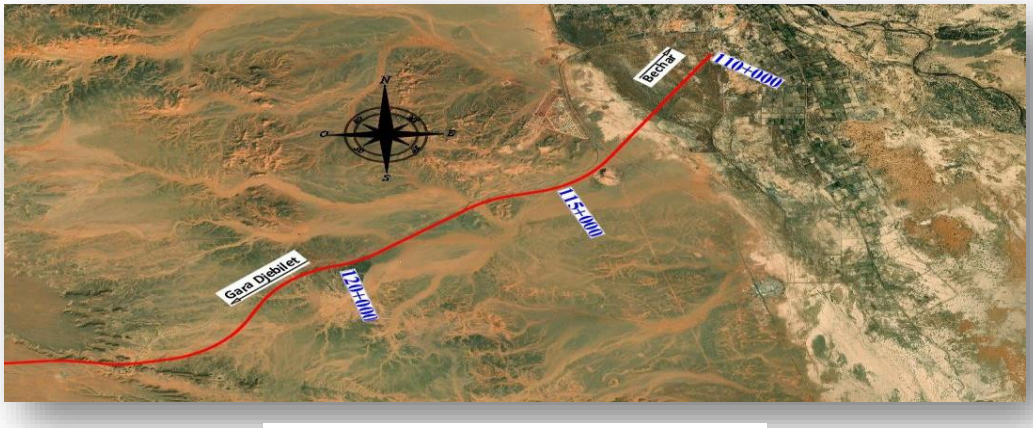


Figure II-2: Localisation du projet

II.3.1 Les caractéristiques du projet

Les caractéristiques générales de la ligne sont résumées au tableau :

Tableau II-1: Les paramètres de conceptions du tronçon TINDOUF BECHAR

Caractéristique de base	
Trafic	Mixte à prédominance minière
Longueur du tronçon étudié	9.65km
Caractéristiques géométriques	Selon les recommandations de la SNTF et les standards UIC
Mode de traction prévue	Diesel avec prévision d'une électrification future
Caractéristique de la voie	
Charge à l'essieu en pleine voie et ouvrages d'art	32.5 t
Écartement	Standard (1435 mm en alignement)
Vitesse	Vitesse voyageur 160 km/h Vitesse marchandise 70km/h
Longueur utile de les gare	2400m

Gabarit.	Des lignes à vitesse normale, autrement dit le gabarit GC de l'UIC.
Plate-forme de voie	La largeur de la plate-forme est fixée à 8m. La pente latérale de la plate-forme est de 4.0%
L'entraxe des voies	4.20m
Superstructure de la voie	
Rail	En pleine voie et en gares, rail UIC 60 E1 (60,21 kg/m).
Traverse	Mono bloc de longueur 2.6m
Système d'attaches	Élastique de type VOSSLOH
Appareil de voie	UIC-60 300- 1 :9 avec une vitesse de 50 km/h. UIC-60 500- 1 :12 avec une vitesse de 65 km/h
Signalisation	Lumineuse type ERTMS

II.4 Conclusion

Ce chapitre a défini avec précision les paramètres techniques du tronçon PK 113+000 au PK 122+650 du projet ferroviaire. Ce projet est essentiel pour désenclaver la région, renforcer les échanges économiques et soutenir le développement durable du Sahara. Ces données serviront de base solide pour les prochaines étapes et la réalisation du projet.

Chapitre III : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

Chapitre III : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

III.1 Introduction

La superstructure ferroviaire englobe l'ensemble des installations fixes nécessaires au guidage des roues des véhicules, assurées par deux files de rails posées parallèlement sur des supports transversaux, appelés traverses, reposant sur une couche de ballast. Cet assemblage d'éléments aux caractéristiques physiques et mécaniques variées permet la transmission des charges des roues à la plateforme, afin de supporter les efforts verticaux, transversaux et longitudinaux. Ce système est désigné sous le terme d'armement de la voie. Dans ce chapitre, nous étudierons en détail la superstructure ferroviaire, c'est-à-dire l'ensemble des éléments constitutifs de la voie, tels que les rails, les traverses, le système d'attaches et les appareils de voie.

III.2 Armement de la voie

L'armement de la voie constituées de plusieurs éléments il s'agit de :

III.2.1 Le rail

Un rail est une barre d'acier profilée. Deux files parallèles de rails mis bout à bout forment une voie ferrée.

Ils reposent alors généralement sur des traverses pour conserver un écartement standard (e=1435mm) afin de constituer la voie ferrée. Les rails servent à la fois de guide et de support de roulement pour les véhicules.

Pour favoriser le centrage des roues de train, les rails sont généralement inclinés par rapport au plan de roulement avec une pente de 1/20. Le rail doit remplir les fonctions suivantes :

- Supporter les efforts générés par la charge roulante. La voie reprend donc les efforts verticaux (poids) et horizontaux (force centrifuge) transmis par le train. Elle est également soumise à des efforts longitudinaux dus à la dilation ou à la rétractation des rails, ainsi qu'à l'action d'accélération et de freinage.
- Assurer le guidage des roues et leurs mouvements.
- Transmettre le courant électrique pour garantir la signalisation et la traction des trains sur les lignes électrifiées.

Pour une section transversale d'un rail du type Vignole on distingue :

- Le patin qui s'appuie sur la traverse.
- Le champignon qui constitue la table de roulement.
- L'âme : c'est la partie verticale qui relie le champignon au patin.
- Table de roulement.

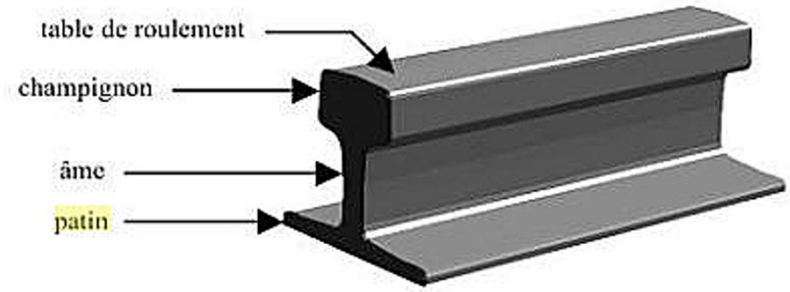


Figure III-1 : Les constituants de la section transversal de rail

Le type de rail utilisé dans le projet entre Tindouf Bechar est de type Vignole UIC 60 E1.

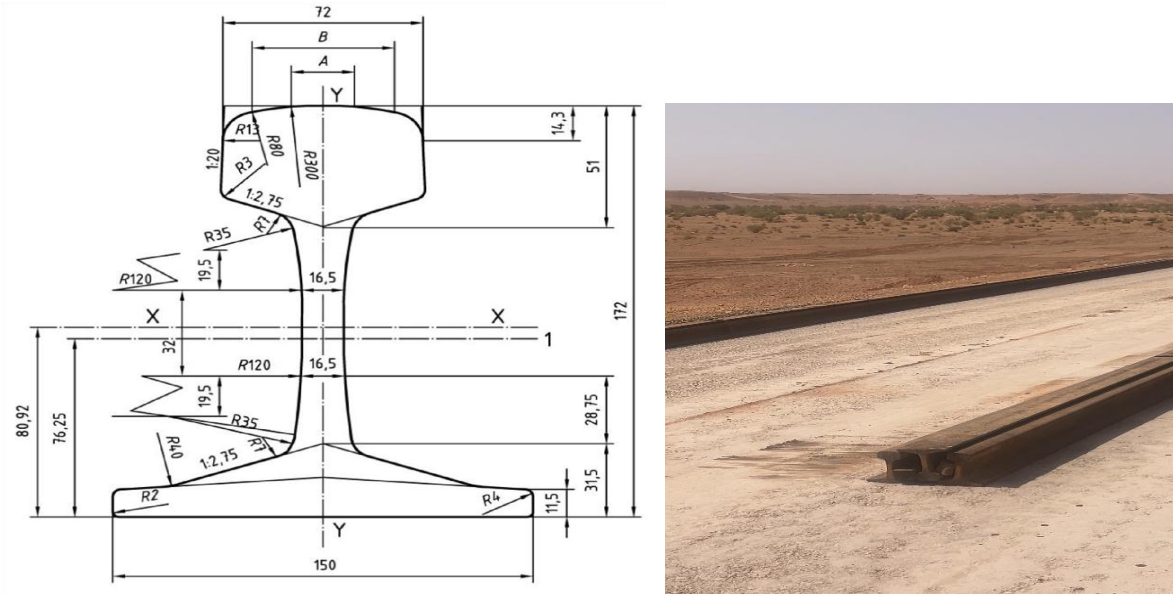


Figure III-2: Profil Rail de type Vignole UIC 60^{E}1 lors de la visite de terrain

Tableau III-1 : Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1

Caractéristique	Valeur
Surface de la section	76.70 cm²
Masse par mètre	60.34 Kg/m
Moment d'inertie axe (x-x)	3038.3 cm4
Module d'inertie champignon	333.6 cm3
Module d'inertie patin	375.5 cm3
Moment d'inertie axe (y-y)	512.3 cm4
Dimension indicative A	20.456 mm
Dimension indicative B	52.053 mm
Épaisseur Champignon	72 mm

Épaisseur patin	150 mm
Épaisseur âme	16.5 mm
Nuance	260
Dressage	Classe A.
Dureté au milieu de la table de roulement	Entre 260 et 300 HBW
Résistance à la traction	≥ 880N/mm²
Allongement	A ≥ 10%
Longueur minimum des barres élémentaires	18m

III.2.1.1 Assemblage des rails

Les rails sont fabriqués en longueurs comprises entre 18 Pour assurer la continuité des barres qui composent la voie, il est nécessaire de les relier solidement à leurs extrémités. Cette liaison est réalisée à l'aide d'éclisses et de soudures.

III.2.1.1.1 Éclisse

Une éclisse est un composant de la voie ferrée, constitué d'une pièce métallique fixée par des boulons sur les rails, permettant de relier deux rails consécutifs. Elle est souvent utilisée à proximité des aiguillages.



Figure III-3 : Une éclisse fixée sur une voie ferrée prise lors de la visite

III.2.1.1.2 Soudures

Il y a deux types de soudures à savoir :

- La soudure électrique utilisée en atelier ou bien sur place aux niveaux de chantier qui permet de réaliser des longues barres soudées.
- La soudure aluminothermique réalisé en voie par réaction chimique très exothermique sur une charge de métal d'apport. Les rails de notre projet sera fourni en barres de 18 m, lesquelles seront soudées électriquement en atelier pour permettre l'obtention d'une barre continue de longueur de 288 m dites « LRS ».



Figure III-4 : Une soudure aluminothermique prise lors de la visite

III.2.2 Les Traverses

La traverse est un élément fondamental de la voie ferrée. C'est une pièce posée en travers de

La voie, sous les rails, pour en maintenir l'écartement et l'inclinaison, et transmettre au ballast les charges des véhicules circulant sur les rails.

Les traverses les plus utilisées en Algérie :

- Les traverses en bois : utilise généralement au niveau des appareils de voie
- Les traverses en béton :

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

  Monobloc : poutre en béton précontrainte elle offre une meilleure résistance à la flexion que la traverse bibloc et une meilleure répartition des charges verticales (pas de poinçonnages).

Dans le cadre du projet de la voie ferrée à Béchar :

Nous avons développé des traverses monobloc en béton précontraint d'une longueur exceptionnelle de 2,6 m spécifiquement dimensionnées pour des charges élevées par essieu 32.5

tonnes. Ce tonnage élevé impose des contraintes mécaniques considérables ce qui a nécessité l'emploi d'un béton de très haute performance ainsi qu'un système de précontrainte optimisé et garantissant une résistance accrue à la compression, à la flexion et à la fatigue cyclique.

Cette configuration permet non seulement d'assurer la stabilité de la voie sous trafic lourd mais aussi de prolonger considérablement la durée de vie de l'infrastructure tout en respectant les normes ferroviaires internationales en matière de sécurité et de performance.



Figure III-5 : Traverses monobloc d'une longueur exceptionnelle de 2.6m prises lors de la visite

III.2.3 Le système d'attache

Le système d'attache est la partie qui transmet les charges entre le rail et les traverses et qui maintient l'écartement. Le système de fixation du rail appliqué sur ce projet se confirme à la norme EN13481-2 (système de fixation des traverses en béton).

Nous avons choisi le système d'attache VOSSLOH pour sa haute performance face aux charges lourdes. Il garantit un écartement stable de 1435 mm et assure une fixation élastique



Figure III-6 : Le système d'attache VOSSLOH prise lors de la visite

III.2.4 L'appareil de voie

Les appareils de voie permettent la déviation des trains d'une voie à l'autre à l'aide de branchements manuels ou électriques, caractérisés par l'angle de déviation au cœur. Ils ne peuvent être installés en dévers et nécessitent un rayon de courbure minimum, déterminé en fonction de la vitesse. Les trois types d'aiguillages sont :

- Le branchement simple
- Le croisement (traversée simple)
- La traversée jonction (simple ou double).

Ces appareils sont fabriqués en atelier et se composent de trois éléments :

- L'aiguillage (partie mobile)
- Le croisement (cœur de croisement)
- Une partie intermédiaire

Les caractéristiques d'appareils de voie qui j'utilise pour mon projet

Tableau III-2 : Les caractéristiques d'appareils de voie

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





Figure III-7 : Appareils de voie observés lors de la visite au niveau de la gare

Remarque : dans le chapitre structure d'assise. Nous allons voire la plateforme, La sous couche, la couche de fondation et le ballast.

III.3 Conclusion

Ce chapitre a présenté les améliorations de la superstructure de la voie notamment le remplacement des attaches, l'allongement des traverses monoblocs. Ces modifications renforcent la stabilité, la durabilité et la performance de la voie, indispensables pour supporter le tonnage important des trains circulant sur cette ligne. Ces choix techniques garantissent une infrastructure fiable et adaptée aux contraintes du climat saharien et aux charges lourdes du trafic ferroviaire.

Chapitre IV : TRACE EN PLAN

Chapitre IV : TRACE EN PLAN

IV.1 Introduction

L'étude géométrique du tracé de la voie vise à assurer un bon roulement des véhicules. Il est donc essentiel de rechercher la forme géométrique optimale de la voie et du tracé, tout en choisissant une solution économiquement viable qui respecte les conditions et recommandations des normes internationales ferroviaires. La surface de roulement de la voie est une conception spatiale définie géométriquement par trois groupes d'éléments :

-L'axe en plan du tracé.

-Le profil en long du tracé.

-Le profil en travers du tracé.

IV.2 Le tracé en plan

Puisque la ligne Béchar-Gara Djebilet, est destinée globalement pour le transport du mènerai de fer, les trains dominant sur cette ligne seront les trains lourds de marchandises, ceci engendre un excès de dévers important qui augmente les efforts exercés sur le rail intérieur par les trains lents. Comme la voie est mixte et la dominance est pour les trains lourds le devers adopté sera choisi de tel sort pour éliminer l'excès de dévers afin d'éviter l'usure du rail.

-Vitesse maximale trains voyageurs : 160 km/h

-Vitesse minimale trains marchandises : 70 km/h

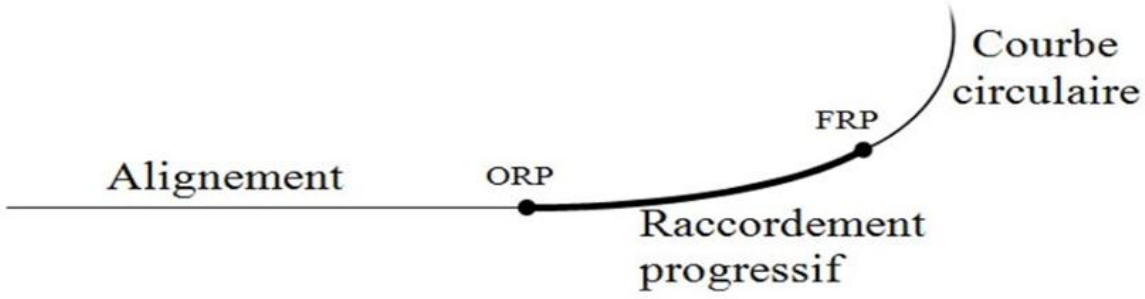


Figure IV-1: Elément de tracé en plan

-Alignement : R = ∞.

-Courbe circulaire (Arc de cercle) : R = Constante.

-Raccordement progressif (Courbe de raccordement) : R =variable.

IV.2.1 Conditions à respecter pour le tracé en plan

Pour réaliser un tracé économique et technique, il est nécessaire d'analyser les facteurs les plus déterminants et de respecter les règles suivantes :

-Étant donné qu'il s'agit d'une étude en APD, il est impératif de ne pas sortir du couloir Choisi.

-Assurer le raccordement à la voie existante au début et à la fin du projet.

-Respecter le rayon et les longueurs minimales recommandés par la SNTF.

-Utiliser un maximum d'alignement droit et entre deux courbes la longueur minimale est de $L_{min} = \frac{1}{2}$V (km/h) et supérieure à 30m.

-Suivre les courbes de niveau afin de réduire les terrassements.

-Éviter, dans la mesure du possible, le franchissement des oueds et des routes afin de minimiser les travaux d'ouvrages d'art. Si le franchissement est inévitable, il doit se faire perpendiculairement à la ligne d'écoulement des oueds ou dans les zones les plus étroites.

-Éviter les zones présentant des problèmes géologiques.

IV.2.2 Caractéristiques géométriques

Le but d'étude le chemin de fer est d'identifier un tracé le plus optimisé.

Tableau IV-1 : Vitesse des trains maximale

Vitesse normal **Vv**	**160 km/h**
Vitesse marchandises **Vm**	**70 km/h**

Pour une vitesse V du train, nous déterminons les paramètres géométriques conformes aux recommandations de la SNTF, garantissant ainsi la stabilité sur la voie et le confort des voyageurs.

IV.2.3 Les éléments de tracé en plan

IV.2.3.1 Les alignements

Pour garantir des conditions optimales de confort et de sécurité, il est recommandé d'utiliser autant que possible des alignements dans le tracé en plan, lorsque la topographie de la zone le permet.

Selon le référentiel SNTF, les longueurs minimales des alignements sont :

Tableau IV-2 : Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes

Valeur normale[m]	**V/2=80**
Valeur exceptionnelle[m]	**V/3=53.34 (en prend 55m)**

IV.2.3.2 Les raccordements circulaires

Le raccordement entre les alignements s'effectue par le biais de raccordements circulaires, en respectant des valeurs minimales pour les rayons. Ces valeurs sont limitées afin d'assurer le confort des usagers, la sécurité et de minimiser les efforts latéraux sur la voie. Selon le référentiel SNTF, les rayons sont déterminés comme suit :

-Pour la vitesse minimale de circulation des trains lents, l'excès de dévers (E) doit être inférieur à la valeur maximale admissible.

-Pour la vitesse maximale de circulation des trains rapides, l'insuffisance de dévers (I) doit être inférieure à la valeur maximale admissible.

$$11.8\frac{V_{min}^2}{D_{max} - E} \geq R \geq 11.8\frac{V_{max}^2}{D_{max} + I}$$

IV.2.3.3 Les raccordements progressifs

Le raccordement entre l'alignement droit et le cercle doit être réalisé avec des courbes de raccordement progressives (la clothoïde). Ce type de raccordement permet d'introduire progressivement le dévers, afin de respecter les conditions de confort et de sécurité.

Tableau IV-3 : Limitation de la courbure

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

IV.2.3.4 Le devers théorique

La valeur théorique du dévers compensant entièrement la force centrifuge est égale à $\frac{11.8V^2}{R}$ mm pour une voie normale, où V représente la vitesse en km/h et R le rayon de la courbe en (m).

IV.2.3.5 Le divers réel ou pratique

Le dévers réel appliqué aux sur la voie est limité à une valeur inferieur à la valeur théorique ce qui donne une insuffisance de dévers pour les trains les plus rapides, et un excès de dévers pour les trains lents. Donc la valeur de ce dévers est comprise entre celle des trains rapides et celle des trains lents.

En pratique, il est impossible de rouler avec un dévers théorique, car les trains circulent à des vitesses minimales différentes selon leur type (trains lents et trains rapides). Pour cela, il a été convenu de définir un dévers réel.

IV.2.3.6 Fixation du dévers réel

Une première approche du dévers réel est comprise entre :

$$0{,}5d_{th} < dp < 0{,}7d_{th}.$$

-La seconde formule pour fixer le dévers réel, prend en considération le coefficient de dévers C.

$d_p = \frac{1000C}{R} < d_p$ (max) ou C=0.006V^2

C doit être un multiple de 15.

La SNTF a retenu Pour une vitesse V≤220 Km/h

- le divers maximal dp(max) en plain courbe : La valeur de divers maximal doit satisfaire la condition suivante

Tableau IV-4 : Valeurs limites de dévers

Valeur normal [mm]	**160**
Valeur exceptionnelle [mm]	**180**

IV.2.3.7 Insuffisance de dévers

Le dévers théorique nécessaire pour assurer l'équilibre d'un train rapide est supérieur au dévers pratique, ce qui engendre des efforts transversaux non compensés pouvant présenter un danger au-delà d'une certaine vitesse (déplacement ou dégradation de la voie, voire déraillement). Par conséquent, il est essentiel de limiter ces efforts en réduisant la différence entre les dévers. Cela constitue la limitation de la valeur de l'insuffisance de dévers I.

Insuffisance de divers est exprimée par la formule :

$$\boldsymbol{I = d_{th} - d_p = \frac{11.8V_v^2}{R} - d_p} \text{ <Imax}$$

La SNTF à retenu Pour une vitesse V≤220 Km/h

Tableau IV-5 : Valeurs limites de l'insuffisance de dévers

Valeur normale [mm]	**150**
Valeur exceptionnelle [mm]	**160**

IV.2.3.8 Excès de dévers

Le dévers théorique nécessaire à l'équilibre d'un train lent est inférieur aux dévers pratiques, entraînant des efforts transversaux non compensés qui tendent à pousser le véhicule vers l'intérieur de la voie. Par conséquent, il est essentiel de limiter ces efforts en régulant la différence des dévers. Cela correspond à la limitation de la valeur de l'excès de dévers E.

L'excès de divers est exprimé par la formule :

La SNTF à retenu Pour une vitesse V≤220 Km/h

$$\mathbf{E = d_p - d_{th} = d_p - \frac{11.8V_m^2}{R}} < \text{Emax}$$

Tableau IV-6 : Valeurs limites de l'excès de dévers

Valeur normale [mm]	**110**
Valeur exceptionnelle [mm]	**130**

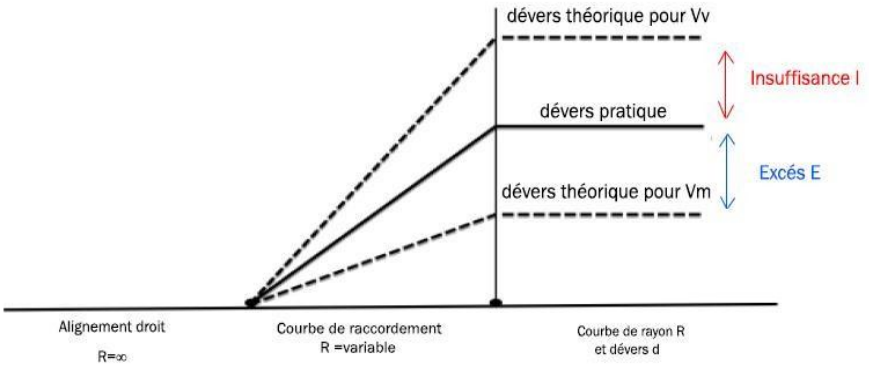


Figure IV-2 : Raccordement de divers

IV.2.3.9 Variation de devers dd/dl

C'est le taux variation de devers par unité de langueur exprimé en (mm/m).

La variation de divers dd sur la longueur dl est exprimé par : $\frac{dd}{dL}$ en mm/m

Tableau IV-7 : Limite de la variation de devers par rapport à la longueur

Valeur normale [mm/m]	**180/V=1.125 mm/m**
Valeur exceptionnelle[mm/m]	**216/V=1.35 mm/m**

Tableau IV-8 : Limite de la variation de devers par rapport au temps

Valeur normale [mm/s]	**50 mm/s**

Valeur exceptionnelle [mm/s]	**60 mm/s**

IV.2.3.10 Variation de l'insuffisance de dévers dI/dt

Il s'agit du taux de variation de l'insuffisance de dévers par unité de temps, exprimé en mm/s. Cette mesure correspond à la vitesse de circulation. La variation est déterminée à partir de la formule suivante : $\frac{dI}{dt} = \frac{I*V}{3.6*L_{rp}}$

Tableau IV-9 : Limite de variation de l'insuffisance de devers dans les raccordements

Valeur normale [mm/s]	**75**
Valeur exceptionnelle [mm/s]	**90**

IV.3 Application à notre projet

Pour les vitesses

-Vitesse des trains rapides voyageurs **160 km/h**

-Vitesse des trains lents marchandise **70 km/h**

Calcule de rayon minimal Selon le référentielle SNTF le rayon minimal est :

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

a=1.5 m

g=9.8 m/s^2

Dmax=160 mm

Vmax =160 km/h

$$11.8 * \frac{70^2}{160-110} = 1156\text{m} \geq R_{min} \geq 11.8 * \frac{160^2}{160+150} = 974\text{m}$$

Le devers pratique associé au rayon minimal est donné par :

$d_p = \frac{1000C}{R} = \frac{1000*0.006*160^2}{1000} = 153.6$ mm <160mm donc on peut retenir Rmin=1000m

En prend Rmin=1000m

Notre projet reliant Tindouf Béchar s'étend du point kilométrique 113+000 au point kilométrique 122+650 avec une longueur d'environ 10 km.

Selon la SNTF, pour une vitesse de 160 km/h, le rayon minimal normal est de 1000 m par conséquent tous les rayons de notre tracé doivent être supérieurs au rayon minimal de 1000 m.

Nous prendrons un exemple de calcul pour un rayon de 2300 m afin d'illustrer les différentes étapes nécessaires à la détermination des divers et des différents paramètres du tracé en plan. Un tableau récapitulatif sera ensuite présenté, englobant toutes les caractéristiques géométriques de notre tracé.

Détails de la Nouvelle Méthode

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

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

$$\mathbf{d(adopté) = d(marchandise) = \frac{11.8 * v_{min}^2}{R}}$$

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

$\mathbf{V_{min}}$: est la vitesse des trains de marchandises.

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

IV.4 Raisons du Changement

Réduction de l'Usure des Rails : Ce changement permet de minimiser l'usure des rails, ce qui prolonge leur durée de vie et réduit les coûts de maintenance.

-Prédominance des Trains de Marchandise : Étant donné que notre projet se concentre principalement sur le transport de marchandises, il est important que le tracé en plan soit optimisé pour ce type de transport.

-Efficacité Opérationnelle : Cette méthode permet une opération plus fluide et efficace des trains de marchandises, en minimisant les coûts de maintenance et en optimisant les performances

On applique pour le premier rayon du tracé : R1=2300 m

-Commençant par l'alignement minimale : Vmax/2 = 160/2= Lmin=80 m

-Dévers théorique pour les trains rapides : $\mathbf{d_{th} = \frac{11.8 * V_{max}^2}{R} = \frac{11.8 * 160^2}{2300} = 131mm}$

-Dévers théorique pour les trains lents : $\mathbf{d_{th} = \frac{11.8 * V_{min}^2}{R} = \frac{11.8 * 70^2}{2300} = 25\ mm\ (adapté)}$

Donc le divers pratique est le divers théorique marchandise $d_{adopté} = 25\ \text{mm} < 160\text{mm}$

-Vérification de l'emploi de RP :

$$\mathbf{\Delta c = \frac{1000}{R} = \frac{1000}{2300} = 0.43 \quad Pour\ 100 < V \leq 160km/h \quad \Delta c > \frac{7000}{V_{max}^2} \rightarrow 0.43 > 0.27}$$

Donc RP obligatoire

-Insuffisance de dévers : $\mathbf{I = d_{th} - d_p = 131 - 25 = 106mm < 150mm}$

-Excès de dévers : $\mathbf{E = d_p - \frac{11.8 * V_{min}^2}{R} = 25 - 25 = 0\ mm < 110mm}$

-La longueur de clothoïde : $\mathbf{L_{rp} = \frac{dp}{\frac{dd}{dL}} = \frac{25}{\frac{180}{V_{max}}} = \frac{25}{1.125} = 22mm}$ on prend Lrp=100mm

-Variation de divers par rapport au temps : $\mathbf{\frac{dd}{dt} = \frac{dp}{3.6} * \frac{Vmax}{100} = \frac{25}{3.6} * \frac{160}{100} = 11.1 < 50mm/s}$

-Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur : $\mathbf{\frac{dd}{dL} = \frac{25}{100} = 0.25mm/m < 1.125}$

-La variation d'insuffisance de dévers : $\mathbf{\frac{dI}{dt} = \frac{dI}{Lrp} * \frac{Vmax}{3.6} = \frac{106}{100} * \frac{160}{3.6} = 47mm/s < 75mm/s}$

-Dans le tableau suivant sont présentées le listing des paramètres et des dévers correspondant à chaque rayon qui se trouve pour le tracé sur plan du tronçon d'étude :

Tableau IV-10 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé

Rayon (m)	Vitesse km/h		d_{th} (mm) Vmax	d_{th} (mm) Vmin	Dévers Adopté	I (mm)	E (mm)	L_{rp} (m)	L_{rp} Adopté	$\frac{dd}{dL}$ (mm/m)	$\frac{dI}{dt}$ (mm/s)
	V_{voy}	V_{mar}									

2300	160	70	131	25	25	106	0	22	100	0.25	47
2300	160	70	131	25	25	106	0	22	100	0.25	47
2300	160	70	131	25	25	106	0	22	100	0.25	47

IV.5 Conclusion

On peut conclure que L'étude géométrique du tracé de la voie a pour but d'obtenir un bon roulement des trains.

On a basé dans le calcul sur les paramètres géométriques et techniques recommandés par l'UIC et les règles de la SNTF.

Après la fin de ce chapitre, nous parlons dans le prochain chapitre à propos de Profil en long.

Chapitre V : PROFIL EN LONG

Chapitre V : PROFIL EN LONG

V.1 Introduction

La construction du profil en long est la tâche la plus importante pour évaluer un projet ferroviaire, tant sur le plan économique, où l'importance des terrassements (quantité de déblai et de remblai), des ouvrages d'art et des tunnels se manifeste, que sur d'autres aspects.

V.2 Définition

-Profil en long du terrain naturel : C'est une représentation plane de la surface du terrain naturel le long d'un plan vertical suivant le tracé en plan. Ce profil servira de base pour le profil en long du projet**.**

-Profil en long du projet : c'est la représentation de la configuration du projet. En général, le tracé d'une voie ferrée en profil est constitué d'une succession d'alignements droits reliés par des courbes circulaires.

-Déclivité : La déclivité est la tangente de l'angle formé entre le profil en long et l'horizontale. Elle est désignée par le terme pente lorsqu'elle descend et par rampe lorsqu'elle monte.

V.3 Éléments de composition du profil en long

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

V.3.1 Choix des alignements droits

Le profil en long de la voie ferrée se caractérise par des valeurs très faibles de déclivité afin d'assurer des vitesses de circulation adéquates. Cela garantit également la sécurité lors du freinage en pente et le confort au démarrage des véhicules en rampe. Par conséquent, la déclivité des sections droites ne peut pas dépasser un maximum fixé par la SNTF.

D'autre part, pour l'implantation de la gare avec un palier de longueur supérieure à 1200 m, nous adoptons généralement les déclivités maximales suivantes :

-La déclivité pour une longueur inférieure à 3000 m ne doit pas dépasser 16 ‰ et, exceptionnellement, 18 ‰.

-La déclivité de longueur comprise entre 3 000 m et 15 000 m diminue graduellement pour passer de 16‰ à 13‰, et exceptionnellement de 18‰ à 15‰. En ce qui concerne les déclivités

de longueur supérieure à 15 000 m, celles-ci ne doivent pas dépasser 13‰, avec une exception possible à 15‰.

La position des lignes par rapport au terrain naturel dépend de plusieurs facteurs, tels que :

-Éviter les terrassements inutiles

-Minimiser le mouvement des terres

-Éviter d'introduire une pointe basse du profil en long dans une partie de déblais, qui risque de créer des contraintes, notamment celles liées aux difficultés de terrassement et à l'évacuation des eaux pluviales. La solution consiste soit à relever ce point au-dessus du terrain naturel, soit à atténuer les déclivités arrivant de chaque côté de ce point bas.

Tableau V-1 : Les longueurs minimales des éléments de profile en long

Valeur normal	**V/2=80**
Valeur exceptionnelle	**V/2.5=64**

La longueur minimale des raccordements de déclivité est de 30m pour tenir compte des bases de nivellement des bourreuses.

V.3.2 Choix des cercles

Lorsqu'un véhicule passe d'une déclivité à une autre, il subit une accélération verticale soudaine aux extrémités de la transition. Cela entraîne une oscillation de la suspension, perturbant ainsi le confort des passagers. L'accélération est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$A_v = \frac{V^2}{3.6^2 * R_v}$$

Pour une vitesse inférieure à 220 km/h, la valeur maximale de cette accélération est de 0,22 m/s² (Av ≤ 0,05 g), avec une exception possible à 0,31 m/s². Cette valeur est considérée comme un niveau de confort acceptable, obtenue en remplaçant les valeurs de Av dans la formule.

$$R_v = \frac{V^2}{3.6^2 * A_v}$$

Tableau V-2 : Valeurs de Rayon vertical minimale

Valeur normal	**$0.35V^2$**
Valeur exceptionnelle	**$0.25V^2$**
Points particuliers à des vitesses inférieures ou égales à 140 km/h (notamment les sauts de mouton)	**$0.15V^2$**

La position des cercles par rapport au terrain naturel dépend de plusieurs facteurs, tels que :

Il ne doit pas y avoir d'interférence entre les courbes de transition en plan (clothoïdes) et les courbes de raccordement en profil en long. Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas se situer en courbe.

Tableau V-3 : Valeurs des paramètres de profil en long (SNTF)

V.4 Coordination profil en long – tracé en plan

		Formule		Application	
		Normal	Exceptionnel	Normal	Exceptionnel
Déclivité maximale	L<3000	_	_	16‰	18‰
	3000m<L<15000m	_	_	16‰ 13‰	18‰ à 15‰
	L> 15000m	_	_	13‰	15‰
	Gares	_	_	0	0
Rayon minimal en raccordement Verticaux	_	$0.35V^2$	$0.25V^2$	8960	6400
La longueur minimale des pentes uniformes et de raccordement en profil en long	_	V/2	V/2.5	80	64

Pour garantir une coordination efficace entre le profil en long (altimétrie) et le tracé en plan (planimétrie), certaines règles doivent impérativement être respectées :

-Conditions à respecter :

-Éviter que les raccordements de profil en long (courbes verticales) se superposent aux clothoïdes (courbes de transition) du tracé en plan.

-Ne pas placer les appareils de voie (aiguillages, croisements) dans des zones en courbe ou sur des pentes (déclivités).

Objectifs visés

-Sécurité des passagers et du matériel roulant.

-Confort optimal pour les voyageurs.

-Réduction des effets combinés des accélérations verticales et horizontales (meilleure tenue de voie, moins d'usure, meilleure dynamique du train)

V.5 Application à notre projet

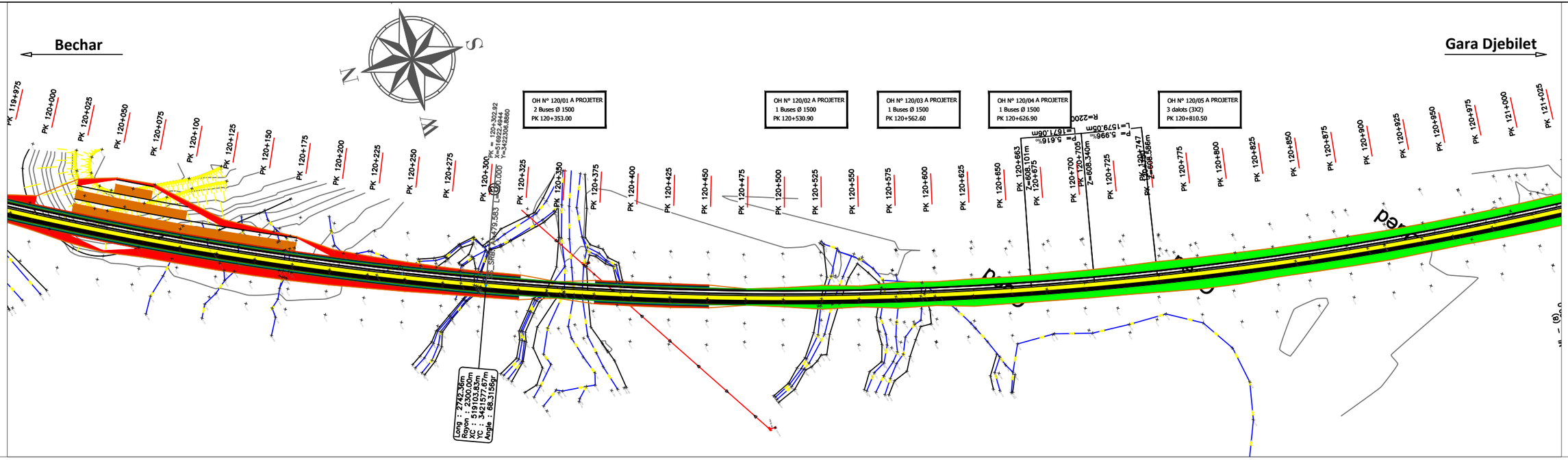
Comme dans notre projet on a un tonnage de 32.5t/essieu donc on a limité la déclivité (pente, rampes) dans les valeurs suivantes :

Tableau V-4 : Récapitulatif des paramètres de profil en long

		Formule		Application	
		Normal	**Exceptionnel**	**Normal**	**Exceptionnel**
Déclivité maximale	**Sens chargé**	_	_	**6‰**	_
	Sens vide	_	_	**8‰**	_
	Gares	_	_	**0‰**	**0‰**
Rayon minimal en raccordement Verticaux	_	**$0.35V^2$**	**$0.25V^2$**	**8960**	**6400**
La longueur minimale des pentes uniformes et de raccordement en profil en long	_	**V/2**	**V/2.5**	**80**	**64**

V.6 Conclusion

On peut conclure que la constitution du profil en long est la tâche la plus importante par laquelle on peut évaluer un projet ferroviaire, soit sur le plan économique, soit sur le plan. Elle prend en considération les déclivités, la coordination entre le tracé en plan et le profil en long, ainsi que l'emplacement des gares.



enstp
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES TRAVAUX PUBLICS
Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38
Tel : (023) 70 19 04
Site web : www.enstp.edu.dz
E-mail : enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	ANNEE UNIVERSITAIRE
Etude en APD de la nouvelle ligne minière à voie unique Béchar -Tindouf - Gara Djebilet du PK113+000 au PK120+650 avec la conception d'une gare d'accroissement avec une voie d'évitement	NAILA GRINE	SERIDJI WIDAD	1/1000	8/10	2024 / 2025

Chapitre VI : ÉTUDE DE CONTRAINTES

Chapitre VI : ÉTUDE DE CONTRAINTES

VI.1 Introduction

L'étude des contraintes constitue une phase préliminaire indispensable à la bonne conduite des travaux de terrassement et de pose de voie. Elle vise à analyser les obstacles présents sur le tracé, afin de garantir la sécurité, la continuité des services existants.

Cette analyse permet d'anticiper les risques liés aux interférences avec les infrastructures existantes, et de mettre en place les mesures de protection nécessaires. Les contraintes identifiées peuvent ainsi influencer les choix techniques, les méthodes d'exécution, ainsi que le phasage du chantier.

Donc ce chapitre englobe les contraintes liées aux passages des conduites du gazoduc, des réseaux de transport de l'électricité les passages des routes et des pistes.

Sur le tracé de PK 113+000 au PK 122+650 Plusieurs contraintes ont été recensées, notamment :

-Fibre optique

-Une conduite de gaz

-Ligne électrique MT

-Routes et chemins

VI.2 Les contraintes

VI.2.1 Les réseaux de transport de l'électricité

Nous retrouvons dans ce tableau les réseaux existants (lignes électriques à moyen tensions, ligne de gaz et la fibre optique) Les points de croisement constatés sur le tracé de la nouvelle Ligne ferroviaire Bechar/ Tindouf (Gara Djebilet) entre le pk 113+000 et le pk 122+650 avec les différents réseaux sont les suivants :

Tableau VI-1 : Les PK des différents réseaux existants

PK	Type de réseau	Situation sur PL
Pk 113+164	Ligne électrique MT	Remblai
Pk 113+505	Fibre optique	Remblai
Pk 113+525	Conduite de gaz	Remblai

Pk 114+027	Ligne électrique MT	Remblai
Pk 114+098	Ligne électrique MT	Remblai
Pk 114+452	Ligne électrique MT	Remblai

VI.2.2 Les rétablissements routiers

Le tracé traverse plusieurs routes et pistes qu'il est nécessaire de traiter selon leur importance, le niveau de trafic, et la configuration du terrain. Pour chaque croisement, la solution choisie dépend principalement de la vitesse prévue pour les trains, de la topographie, et de la nature de la voie concernée.

Trois types de solutions sont envisagés :

-Passage supérieur : utilisé quand la vitesse des trains est élevée (≥ 100 km/h) ou si le terrain le nécessite.

-Passage à niveau : possible pour les routes à faible circulation, sous réserve de sécurité.

-Passage inférieur : choisi quand le relief impose un franchissement par le bas.

L'interférence de la section étudiée avec les réseaux routiers existants et la solution technique retenue pour notre projet est détaillée dans le tableau suivant :

Tableau VI-2 : Les routes croisées par le tracé projeté

Obstacle	PK	Type de passage	Type de l'ouvrage
RN°6	113+587	Passage supérieure	OA/ 113/01

VI.3 Conclusion

L'analyse du tronçon entre le PK 113+000 au PK 122+650 a permis d'identifier plusieurs contraintes majeures : conduite enterrée, fibre optique, ligne électrique et routes.

Chaque contrainte nécessite une solution technique adaptée, en tenant compte des spécificités du terrain, des normes de sécurité et des exigences d'exploitation. Leur intégration en phase de conception est essentielle pour assurer la sécurité, la continuité des réseaux existants et le bon déroulement des travaux.

Chapitre VII : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

Chapitre VII : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

VII.1 Introduction

La nouvelle ligne à concevoir destinée pour le transport de minerai de fer, est une ligne minière à transport lourd. Les études hydrologiques et hydrauliques visent notamment à définir les ouvrages hydrauliques et à fournir les données hydrauliques nécessaires aux autres disciplines concernées par le projet. Dans une première phase, une étude hydrologique a été réalisée pour déterminer les débits des cours d'eau qui traversent Le tracé de la voie ferrée. Ensuite, le calcul hydraulique est réalisé pour justifier les dimensions de chaque ouvrage

Dans ce chapitre, nous aborderons l'ensemble des études hydrologiques et hydrauliques réalisées dans le cadre de la conception de la nouvelle ligne minière destinée au transport lourd de minerai de fer.

VII.2 Cartographie

Les données topographiques disponibles pour l'étude d'exécution proviennent de différentes cartes d'état-major et de la restitution faite à partir d'un levé topographique. Dans notre étude ont été utilisées les cartes d'état-major permettant la délimitation des bassins versants.

Méthode de calcul

L'accomplissement du travail, précédent ce rapport du projet d'exécution a été fait selon les étapes suivantes :

-Etude hydrologique : Le calcul du débit des bassins versants.

-Etude Hydraulique : Le dimensionnement des ouvrages hydraulique (ponts, dalots, buses).

VII.3 Etude hydrologique

L'étude hydrologique que nous allons entreprendre se résume à la détermination de différents apports de différents oueds, ainsi que la détermination des débits de crues. Pour cette étude, ont souligné l'importance des bassins versants, la pluviométrie et les caractéristiques du terrain.

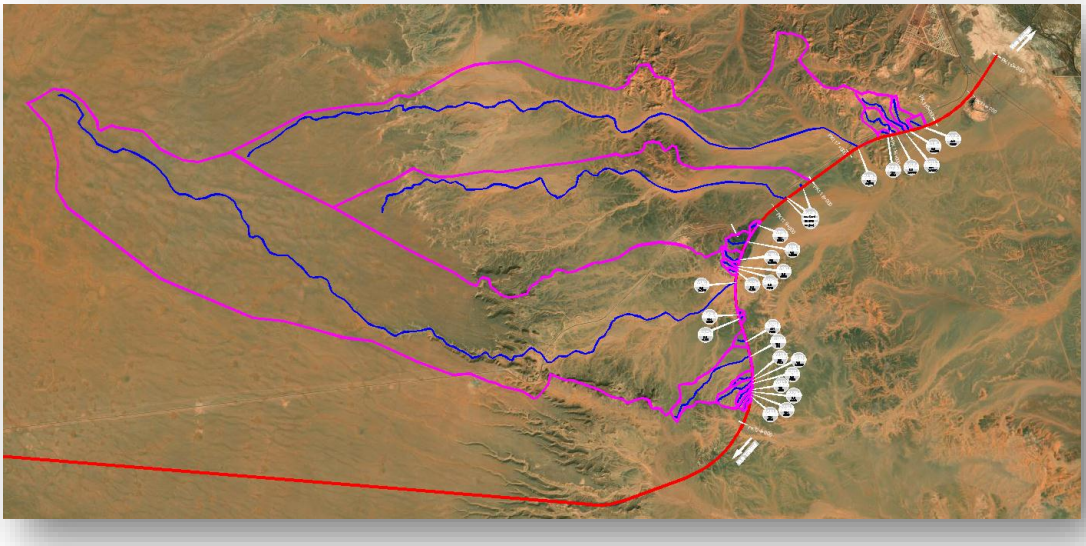


Figure VII-1 : La délimitation des bassins versants

VII.3.1 Caractéristiques morphologiques des bassins versants

Le bassin versant en une section d'un cours d'eau est défini comme la surface drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de la section. Tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit donc traverser la section considérée, appelée exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval. Dans notre étude ont été utilisées les cartes d'état-major permettant la délimitation des bassins versants.

Les caractéristiques les plus importantes sont récapitulées ci-après :

- Superficie du bassin versant km2 : C'est une aire délimitée par des lignes de crête, dans laquelle toutes les eaux tombées alimentent un même exutoire

-Périmètre du bassin (km) : c'est la longitude de la ligne de contour des bassins versants

- L : La longueur (km) du cours d'eaux principal

- K_c: Indice de compacité.

-T_C (h) : Temps de concentration en heures.

-Altitude maximale H_{max} (m)

-Altitude minimal H_{min} (m)

-Altitude moyenne H_{moy} (m)

-D_h [m] : différence entre l'altitude maximale et minimale du bassin.

-P [m/m] : pente du talweg principal

VII.3.2 Temps de concentration Tc

Le temps de concentration est le temps que mettent des gouttes d'eau non évaporées et non infiltrées dans le Sol de descendre du sommet du bassin versant jusqu'à l'exutoire.

Quand ce temps de concentration est atteint, ceci signifie que toutes les régions du bassin versant participent au débit. Plus la topographie est accentuée, moins le temps de concentration est long. Des méthodes simplifiées peuvent être utilisées pour estimer le temps de concentration sur des bassins Versants.

Suivant la superficie du bassin-versant, nous utilisons les formules de détermination du temps de concentration ci-dessous :

-Formule de VENTURA :(Superficie inférieur à 5 km2)

$$T_C = 0.127\sqrt{\frac{S}{P}}$$

Tc : Temps de concentration en (heures).

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

P : Pente moyenne du thalweg principal en (m/m).

-Formule de PASSINI : (Superficie comprise entre 5 km2 et 25km2)

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

Tc : Temps de concentration en (heures).

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

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

P : Pente moyenne du thalweg principal en (m/m).

-Formule de GIANDOTTI : (Superficie supérieur à 25 km2)

$$T_C = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Tc : Temps de concentration en (heures).

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

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

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

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

Tableau VII-1 : Les caractéristiques morphologiques des bassins versants

N° du BV	PK	S [km2]	L [km]	H_{max} [m]	H_{min} [m]	H_{moy} [m]	P [m/m]	Tc (h)
1	**115+281.70**	0.090	0.32	587	582	584.50	0.016	0.30
2	**115+591.87**	0.170	0.82	606	584	595.00	0.027	0.32
3	**115+691.00**	0.320	1.27	611	584	597.50	0.021	0.49
4	**115+894.40**	0.240	1.00	605	585	595.00	0.020	0.44
5	**116+062.80**	0.040	0.19	595	587	591.00	0.042	0.12
6	**116+761.50**	24.100	14.80	718	588	653.00	0.009	8.22
7	**118+686.70**	18.190	10.29	709	595	652.00	0.011	5.87
8	**119+538.30**	0.030	0.18	609	600	604.50	0.050	0.10
9	**119+952.70**	0.170	0.49	618	603	610.50	0.031	0.30
10	**120+353.00**	0.090	0.48	624	603	613.50	0.044	0.18
11	**120+530.90**	0.015	0.17	612	604	608.00	0.047	0.07
12	**120+562.60**	0.040	0.38	617	604	610.50	0.034	0.14
13	**120+626.90**	0.024	0.21	615	604	609.50	0.052	0.09
14	**121+596.70**	0.016	0.09	618	616	617.00	0.022	0.11
15	**121+668.30**	0.017	0.11	617	615	616.00	0.018	0.12
16	**122+193.85**	0.070	0.20	617	616	616.50	0.005	0.48
17	**122+525.00**	1.020	2.20	651	614	632.50	0.017	0.99
18	**122+975.76**	0.070	0.60	622	617	619.50	0.008	0.37

VII.3.3 Caractéristiques climatiques et pluviométriques

VII.3.3.1 Climat

Les villes de Tindouf et Béchar, situées dans le sud-ouest de l'Algérie, se trouvent dans une région caractérisée par un climat désertique chaud. Elles enregistrent des températures élevées tout au long de l'année.

VII.3.3.2 Etude des pluies journalières maximales

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

La station pluviométrique : Les différents phénomènes météorologiques d'intérêt peuvent être caractérisés pour les besoins de l'étude sera basée sur les données enregistrées au niveau des stations pluviométriques située proche de la zone d'étude.

Tableau VII-2 : Les précipitations maximales journalières

Années	**1992**	**1993**	**1994**	**1195**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**
Pjmax(mm)	12.8	56	44.3	11.8	26.6	16.8	9.9	42.4	21.9	2.8	14.6
Années	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**
Pjmax(mm)	8.2	21.9	11.7	23	21.9	84.6	38.3	9.2	18.3	58.8	7.8
Années	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	/	
Pjmax(mm)	69.7	19	23.7	11.3	12.9	14	6.4	5.8	12.6		

Dans le tableau suivant nous présentons les caractéristiques climatiques :

Tableau VII-3 : Caractéristiques climatiques

Minimum (observé, mm)	2.8
Maximum (observé, mm)	84.6
Moyenne	23.8
Écart type	20.1
Médiane	16.8
Coefficient de variation (Cv)	0.84

VII.3.3.2.1 Précipitations journalières

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

La station pluviométrique : Les différents phénomènes météorologiques d'intérêt peuvent être caractérisés pour les besoins de l'étude sera basée sur les données enregistrées au niveau des stations pluviométriques située proche de la zone d'étude.

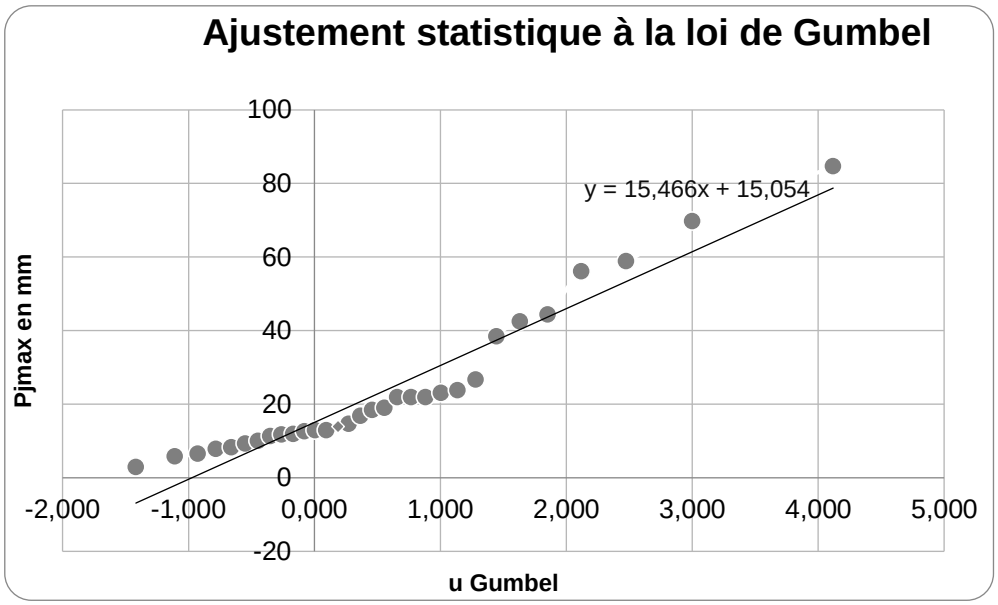


Figure VII-2 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies journalières maximales

Dans le tableau suivant nous présentons les pluies maximales journalières pour différentes fréquences.

Tableau VII-4 : Pluies journalières maximales fréquentielles

Période de retour T(ans)	Fréquence (F)	Variable de GUMBEL (U)	Pjmax
2	0.5	0.37	21
5	0.8	1.50	38
10	0.9	2.25	50.1
20	0.95	2.97	61.4
25	0.96	3.20	65
50	0.98	3.90	76
100	0.99	4.60	86.9

VII.3.4 Intensité de pluie

La recherche de la loi Intensité - Durée - Fréquence (IDF) nécessite une analyse des graphiques des enregistrements pluviométriques.

À partir de ces enregistrements, des calculs sont effectués pour déterminer les quantités de précipitations correspondant à différents intervalles de temps (comme 24h ,48h, 72heure, 96heures, 120heure).

Pour chaque intervalle de temps, la valeur maximale de précipitations par averse est sélectionnée. Ce processus permet d'obtenir une série de données pour chaque intervalle de temps, couvrant l'ensemble de la période étudiée**.**

La relation Intensité - Durée - Fréquence recherchée est la suivante :

$$\mathbf{I(tc,T) = \frac{P(tc,T)}{tc} = a t_c^{-b}}$$

I : Intensité de la pluie (mm/h).

tc : Temps de concentration en heures.

a et b : Paramètres climatiques de montana

Avec : $I(tc,T) = \frac{\mathbf{P(tc,T)}}{\mathbf{tc}}$

P(tc,T) : Pluie de courte durée de fréquence donnée (mm) avec $P(tc,T) = P_{jmax}\left(\frac{tc}{24}\right)^b$

b : exposant climatique pour la station de Béchar (b=0.18)

Paramètres a et b des Courbes IDF pour la région de l'étude.

Tableau VII-5 : Les valeurs des paramètres de Montana pour les différentes périodes de retour

Période de retour T(ans)	Les Coefficient de montana	
	a	b
5	20.96	0.8
10	27.35	0.8
20	33.49	0.8
50	41.43	0.79
100	50.17	0.84

Tableau VII-6 : Valeur des intensités pour les différentes périodes de retour

T(ans) / Durée (h)	5	10	20	50	100
24h	1.7	2.2	2.7	3.3	3.4
48h	1.0	1.3	1.5	1.9	1.9
72h	0.7	0.9	1.1	1.4	1.3
96h	0.6	0.7	0.9	1.1	1.0
120h	0.5	0.6	0.7	0.9	0.9

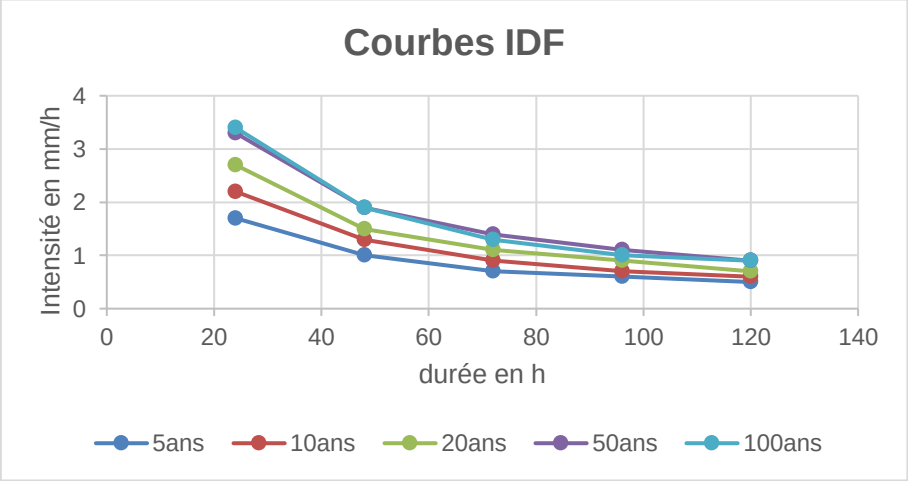


Figure VII-3 : Courbe intensité - durée – Fréquence (IDF)

VII.3.5 Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue)

L'estimation des débits de crue correspondant aux bassins versant naturels du projet est fonction de plusieurs facteurs ayant des effets plus ou moins déterminants sur la formation des crues, notamment, la topographie, la climatologie, la morphologie des bassins versant.

Le calcul des débits de pointe de crue, pour la période de 10ans et 100 ans, est réalisé par l'application de la méthode rationnelle, qui s'appuie sur les données pluviométriques. Cette méthode est applicable aux superficies inférieures à 10 km.

La méthode rationnelle

La formule rationnelle repose sur le principe fondamental selon lequel la pluie à l'origine des crues est celle dont la durée correspond au temps de concentration. Cette approche permet de calculer le débit maximal associé à une période de retour spécifique grâce à la relation suivante :

$$\mathbf{Q_A = \frac{C.I.A}{3.6}}$$

$\mathbf{Q_A}$: Débit de crue de fréquence déterminée en m3/s.

C : Coefficient de ruissellement.

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

Avec : $i = \frac{\mathbf{P(tc,T)}}{\mathbf{tc}}$

P(tc,T) : Pluie de courte durée de fréquence donnée (mm).

$P(tc,T) = P_{jmax}\left(\frac{tc}{24}\right)^b$

P_{jmax}: Pluie journalière de fréquence donnée (mm).

b : exposant climatique. (b=0.18)

A : Surface du bassin versant en (Km)

VII.3.6 Le coefficient de ruissellement

Le ruissellement superficiel correspond à l'eau provenant de la pluie, qui circule par la superficie et qui se concentre dans les lits, Cela représente par conséquent, le reste de pluie qui reste dans la superficie après avoir décompté les phénomènes d'évaporation et d'évapotranspiration, de stockage et d'infiltration dans les couches inférieures, le coefficient de ruissellement est estimé par la méthode préconisée de KENESSEY qui est la somme de trois (03) coefficients partiels :

$$C_r = C_1 + C_2 + C_3$$

- C_1: dépendant de la pente du bassin versant.

- C_2 : dépendant de la nature du sol (perméabilité).

- C_3 : dépendant de la couverture végétale du bassin versant.

-Coefficient C_1 : dépend de la pente du bassin versant

Tableau VII-7 : Coefficient C_1

Pente	C_1		
$\leq 3.5\%$	0.01	0.03	0.05
Entre 3.5 et 11%	0.06	0.08	0.1
Entre 11 et 35%	0.12	0.16	0.2
$> 35\%$	0.22	0.26	0.30

-Coefficient C_2 : dépend de la nature du sol

Tableau VII-8 : Coefficient C_2

Nature du sol	C_2		
Imperméable	0.22	0.26	0.30
Peu perméable	0.10	0.15	0.20
Perméable	0.06	0.08	0.10
Très perméable	0.03	0.04	0.05

-Coefficient C_3 : dépend de la couverture végétale du bassin versant

Tableau VII-9 : Coefficient C_3

Couverture végétale	C_3		
Rocheux	0.22	0.26	0.30
Prairie	0.17	0.21	0.25
Labours champs	0.07	0.11	0.15
Foret et territoire sableux	0.03	0.04	0.05

VII.4 Application à notre projet

Calcul pour le bassin versant 01 avec une période de routeur de 100 ans :

Prenons en compte le bassin versant numéro 01 on a :

S=0.090km²

L=0.32km

I=0,016(m/m)

-Calcule le temps de concentration Tc

On a un bassin versant de surface S=0.090km² donc on utilise la formule de VENTURA :

$Tc = 0.127\sqrt{\frac{S}{I}}$ =$0.127\sqrt{\frac{0.090}{0.016}} = 0.30h$

-calcule le coefficient de ruissèlement :

C=C1+C2+C3

C1 =0.05 la pente est inférieure à 3.5% (I <3.5%)

C2=0.30 qui est associée à un sol imperméable

C3=0.26 correspond à des couvertures végétales rocheux

Alors C_{10}=0.61

-La variabilité du coefficient de ruissellement est fonction de la rétention initiale Po du BV : Pour C (10) < 0,8 on a :

$P_0 = P_{10} * (1 - \frac{C_{10}}{0.8})$ =$50.1 * \left(1 - \frac{0.61}{0.8}\right) = 11.89$

P 10 : hauteur de la pluie journalière décennale (mm).

-Coefficient de ruissellement C(T) pour une période de retour T> 10 ans.

P(T) = pluie journalière de période de retour T

$$C(T) = 0.8 * \left(1 - \frac{P_0}{P(T)}\right) = 0.8 * \left(1 - \frac{11.89}{86.9}\right) = 0.70$$

Donc $C_{100} = 0.70$

VII.4.1 Calcul des débits de projet par la méthode rationnelle

Tels que : $I(t) = \frac{P(tc,T)}{tc}$

$$P_{(tc,T)} = P_{jmax} * (\frac{Tc}{24})^b = 86.9 * (\frac{0.30}{24})^{0.18} = 39.60$$

Avec b : exposant climatique. (b=0.18)

$$I(t) = \frac{P(tc,T)}{tc} = \frac{39.60}{0.30} = 132(mm/h)$$

D'où : $\mathbf{Q_{100}} = \frac{\mathbf{C_{100} \times S \times I}}{\mathbf{3.6}} = \mathbf{2.31 m^3/s}$

VII.4.2 Calcul des débits de projet par la méthode CRUPEDIX

Calcul pour le bassin versant 06 avec une période de routeur de 100 ans :

Prenons en compte le bassin versant numéro 07 on a :

S=24.10km²1

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

$$Q_{10} = R \times (\frac{P_{jmax(10)}}{80})^2 \times S^{0.8} = 1 \times (\frac{50.1}{80})^2 \times 24.1^{0.8} = 4.98 m^3/s$$

Q10 : Débit de crue instantané de fréquence décennale (m3/s).

A : Superficie du bassin versant (km2).

P10 : Pluie journalière de période de retour décennale (mm).

R : Coefficient régional traduisant l'aptitude au ruissellement (R=1).

Évaluation du débit QT de période de retour T :

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

QT = Q10+ ΔQ((y/2,3) -1)

Avec : ΔQ =Q100(R) – Q10(R) Résulte de la différence entre les débits décennal et centennal calculés par la formule rationnelle pour le même bassin.

Et (y) étant la variable réduite de Gumbel souvent tabulée en fonction de la période de retour

y = (ln (-ln (1-1/T))

Donc :

ΔQ =41.05–20.62=20.43m^3/s

$$\mathbf{Q_{100} = 4.98 + 20.43\left(\frac{4.6}{2.3} - 1\right) = 25.41 m^3/s}$$

Résultats du calcul des débits par les 2 méthode : Les débits de pointe, obtenus par le calcule par la méthode RATIONNELLE et CRUPEDIX pour une période de retour de 100 ans :

Tableau VII-10 : Débits des bassins versants

N° du BV	PK	S [km2]	tc [h]	P(tc,T)	C1	C2	C3	C10	C100	I100 (mm/h)	Q100 (m^3/s)
1	115+281.70	0.090	0.30	39 .48	0.05	0.30	0.26	0.61	0.70	131.6	2.30
2	115+591.87	0.170	0.32	39.94	0.05	0.30	0.26	0.61	0.70	124.81	4.13
3	115+691.00	0.320	0.49	43.13	0.05	0.30	0.26	0.61	0.70	88.02	5.47
4	115+894.40	0.240	0.44	42.31	0.05	0.30	0.26	0.61	0.70	96.15	4.48
5	116+062.80	0.040	0.12	33.67	0.06	0.30	0.26	0.62	0.70	280.58	2.18
6	116+761.50	24.100	8.22	71.42	0.05	0.30	0.26	0.61	0.70	8.85	25.41
7	118+686.70	18.190	5.87	67.44	0.05	0.30	0.26	0.61	0.70	11.48	24.17
8	119+538.30	0.030	0.10	32.40	0.06	0.30	0.26	0.62	0.70	324	0.76
9	119+952.70	0.170	0.30	39.48	0.05	0.30	0.26	0.61	0.70	131.6	4.35
10	120+353.00	0.090	0.18	36.01	0.06	0.30	0.26	0.62	0.70	200.05	3.50
11	120+530.90	0.015	0.10	32.40	0.06	0.30	0.26	0.62	0.70	324	0.94

12	120+562.60	0.040	0.14	34.42	0.05	0.30	0.26	0.61	0.70	254.85	1.98
13	120+626.90	0.024	0.09	31.80	0.06	0.30	0.26	0.62	0.70	353.33	1.64
14	121+596.70	0.016	0.11	32.96	0.05	0.30	0.26	0.61	0.70	299.63	0.93
15	121+668.30	0.017	0.12	33.67	0.05	0.30	0.26	0.61	0.70	280.58	0.92
16	122+193.85	0.070	0.48	42.90	0.05	0.30	0.26	0.61	0.70	89.37	1.21
17	122+525.0	1.020	0.99	48.95	0.05	0.30	0.26	0.61	0.70	49.44	9.80
18	122+975.76	0.070	0.37	41.00	0.05	0.30	0.26	0.61	0.70	110.81	1.50

VII.5 Etude hydraulique

VII.5.1 Introduction

L'eau peut avoir des effets néfastes sur le projet, car elle menace le fonctionnement et la sécurité de la voie ferrée. En effet, le tracé ferroviaire prévu perturbe les écoulements naturels d'eau. Il est donc essentiel de ne pas entraver ces écoulements et de les diriger vers un exutoire situé en dehors de l'emprise de la voie.

- Les dimensions choisies pour ces ouvrages doivent respecter la condition suivante :

$$\mathbf{Q100 \leq Qs}$$

Q100 représente le débit de crue centennal en m³/s

Qs est le débit de saturation de l'ouvrage en m³/s.

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

Ce pré dimensionnement est ensuite vérifié en calculant le débit de saturation (Qs) des ouvrages transversaux à l'aide de la formule de Manning-Strickler

VII.5.2 Dimensionnement des ouvrages transversaux Méthode de MANNING STRICKLER

Le principe général consiste à s'assurer que le débit à évacuer, correspondant à une pluie centennale, est inférieur au débit maximal supporté par l'ouvrage choisi, tout au long de l'écoulement. Ce critère garantit que la voie reste en bon état lors d'un événement pluvieux centennal. Par ailleurs, le dimensionnement doit assurer que les vitesses dans les ouvrages en

béton ne dépassent pas 4 m/s. Le débit maximal à pleine section (saturation) d'un ouvrage hydraulique est estimé à l'aide de la relation de MANNING STRICKLER :

$$\mathbf{Q_a = K_S\, S_m\, R_h^{2/3}\, I^{1/2}}$$

I : Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).

S_m : Section mouillée de l'ouvrage b x Hu (m2).

Rh : Rayon hydraulique = $\frac{\text{section mouille}}{\text{perimetre mouille}}$

b : Largeur de l'ouvrage (m).

Hu : Hauteur utile (m).

Ht : Hauteur totale (m).

Ks : Coefficient de rugosité

Valeur de Ks :

Tableau VII-11 : Coefficient de rugosité

Nature des Parois Ks	Valeur
Terre	30
Bétons (dalots)	70
Buses métallique	40
Maçonnerie	50
Bétons (buse préfabriqués)	70

VII.5.3 Vérification des conditions d'auto curage

L'auto curage c'est l'aptitude de conduite d'assainissement à transporter la particule solide, donc une bonne auto curage impose que la capacité de transport des particules solide soit suffisante pour éviter leur sédimentation et leur dépôt Pour vérifier ces conditions il faut vérifier :

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

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

- Vps < 4 m/s.

VII.5.4 Application à notre projet

Nous avons adopté la valeur de Coefficient de rugosité Strickler Ks = 70 (correspond au béton grossier avec coffrage bois). De façon à contrôler les effets de l'érosion, la vitesse maximale de l'écoulement devrait être limitée à 4m/s.

- **Pré dimensionnement d'une buse** : La section et le périmètre mouillés de 80% sont calculés avec les formules suivantes :

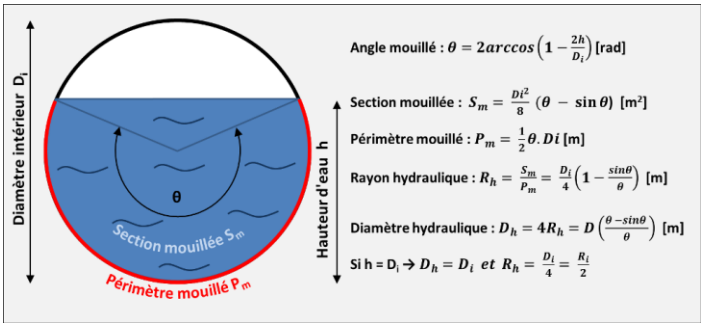


Figure VII-4 : Ouvrage hydraulique (buse)

Exemple de calcul pour BV1 avec Q100=2.30m³/s et buse de Ø=1500 :

$$\text{Angle mouillée : } \theta = 2\arccos\left(1-\frac{2H}{D_i}\right) = 2\arccos\left(1-\frac{2(0.8\times1.5)}{1.5}\right) = 4.428\text{rad}$$

$$\text{Section mouillée : } Sm = \frac{Di^2}{8}(\theta - \sin\theta) = \frac{1.5^2}{8}(4.428 - \sin(4.428)) = 1.52\text{m}^2$$

$$\text{Périmètre mouillée : } Pm = \frac{1}{2}\theta * Di = \frac{1}{2}(4.428) * 1.5 = 3.32\text{m}$$

$$\text{Rayon hydraulique : } Rh = \frac{Sm}{Pm} = \frac{1.52}{3.32} = 0.45\text{m}$$

Avec une pente de 0.59 %

$$Qa = Ks \times I^{1/2} \times Rh^{2/3} \times Sm = 70 \times 0.0059^{1/2} \times 0.45^{2/3} \times 1.52 = 4.80\text{m}^3/\text{s}$$

Pour une buse de Ø=1500 : Qa = 4.80 m3/s > Q100=2.30 m3/s

La condition : Qa > Q100 est vérifié

Vérification d'auto-curage

$$Vps = \frac{Qa}{Sm} = \frac{4.8}{1.52} = 3.15\text{m/s} < 4\text{m/s}$$

Pour $\frac{Q}{Qps} = 0.1$ on a $\frac{V}{Vps} = 0.64 \rightarrow V = Vps \times 0.638 = 3.15 \times 0.638 = 2$ m/s> 0.6 m/s

Pour $\frac{Q}{Qps} = 0.01$ on a $\frac{V}{Vps} = 0.32 \rightarrow V = Vps \times 0.32 = 3.15 \times 0.32 = 1$m/s > 0.3 m/s

Les conditions d'auto-curage sont vérifiées

- **Pré dimensionnement d'un dalot**

Ce sont des ouvrages de sections rectangulaires ou carrées, disposés sous le tracé, identifiés par la largeur (B) et la hauteur (H) Dans notre projet, les dalots sont en béton, le ks est donc de 70

Exemple de calcul pour BV6 avec Q100=25.41m³/s

Avec une Pente de 0.5 %

Notre dalot représente les caractéristiques suivantes :

B : largeur nette du cadre (m).

H : hauteur nette (m).

0.75H : hauteur de remplissage (m).

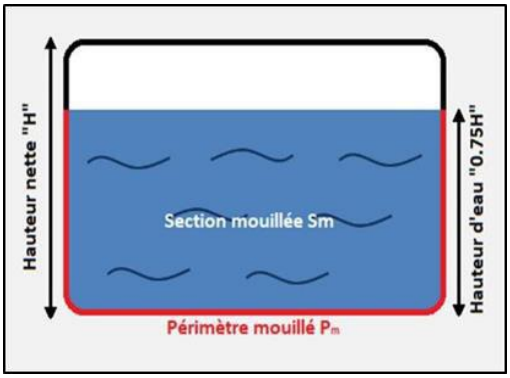


Figure VII-5 : Ouvrage hydraulique (dalot)

Les dimensions des dalots sont obtenues en écrivant l'égalité du débit des crues et le débit d'apport

$$\mathbf{Q_a = Q_{max}}$$

Alors en arriver à une équation où la résolution se fait par la méthode itérative :

$$\mathbf{H_{i+1} = \frac{(1.5H_i + B)^{\frac{2}{5}}}{0.75 \times B}\left(\frac{Qmax}{ks \times I^{1/2}}\right)^{\frac{3}{5}}}$$

Avec $\left[\mathbf{H_0 = \left(\frac{Qmax}{Ks \times I^{1/2}}\right)^{\frac{3}{5}}}\right]$

Le critère d'arrêt : $\mathbf{H_{i+1} - H_i < 10^{-3}}$

Pour ce dalot, on suppose la hauteur totale du dalot est la base B, on pose préalablement que B=2 m 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 :

Avec : I=0.005 b=2m Ks=70

Après le calcul itératif de l'équation précédente on prend H = 3.00 m Donc les valeurs retenues pour cette section de dalot sont : b= 2 m et H = 3 m

Alors :

Section mouillée : $Sm = 0.75Ht * b = 0.75 * 2 * 3 = 4.5m^2$

Périmètre mouillée $Pm = 1.5Ht + b = 1.5 * 3 + 2 = 6.5m$

Rayon hydraulique : $Rh = \frac{Sm}{Pm} = \frac{0.75Ht*b}{1.5Ht+b} = 0.69m$

$Qa = Q = Ks \times (0.75Ht \times b) \times (\frac{0.75Ht \times b}{1.5Ht+b})^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} = 70 \times 4.5 \times 0.69^{\frac{2}{3}} \times 0.005^{\frac{1}{2}} = 17.39 m^3/s$

Alors Pour un dalot de 2(3*2) on :

Qs = 34.78m3/s > Q100=25.41m3/s

La condition : Qs> Q100 est vérifier

Vérification d'auto-curage

$Vps = \frac{Qa}{Sm} = \frac{17.39}{4.5} = 3.86\ m/s < 4m/s$

Pour $\frac{Q}{Qps} = 0.1$ on a $\frac{V}{Vps} = 0.638 \rightarrow V = Vps \times 0.638 = 3.86 \times 0.638 = 2.46m/s > 0.6\ m/s$

Pour $\frac{Q}{Qps} = 0.01$ on a $\frac{V}{Vps} = 0.32 \rightarrow V = Vps \times 0.32 = 3.86 \times 0.32 = 1.23m/s > 0.3\ m/s$

Les conditions d'auto-curage sont vérifier

Tableau VII-12 : Pré dimensionnement des ouvrages d'assainissement transversaux

Débit de crue $\mathbf{Q_{100}\ m^3/s}$	Ouvrage type	Dimension retenues (m)
$Q_{100} < 7$	Buse (circulaire)	Diamètre $1 \leq \emptyset \leq 2$
$7 \leq Q_{100} < 15$	(Rectangulaire)	B/H=2.5/2.5
$15 \leq Q_{100} < 25$	(Rectangulaire)	B/H=3/3
$25 \leq Q_{100} < 35$	(Rectangulaire)	B/H=4/3
$35 \leq Q_{100} < 40$	(Rectangulaire)	B/H=5/3.5
$40 \leq Q_{100}$	Pont et viaduc	/

Tableau VII-13 : Liste globale des ouvrages à projeter

PK	Ouvrage	Sm (m^2)	Pm (m)	Rh (m)	I (m/m)	Q projet (100) (m^3/s)	QS (m^3/s)	VPS (m/s)	Si Q=0.1Qp Alors V > 0.6m/s	Si Q=0.01Qps Alors V > 0.3 m/s
115+281.70	Ø 1500	1.52	3.32	0.45	0.59	2.30	4.80	3.15	2.00	1.00
115+591.87	2×Ø 1500	1.52	3.32	0.45	0.9	4.13	2×5.92	3.89	2.48	1.24
115+691.00	2×Ø 1500	1.52	3.32	0.45	0.9	5.47	2×5.92	3.89	2.48	1.24
115+894.40	2×Ø 1500	1.52	3.32	0.45	0.9	4.48	2×5.92	3.89	2.48	1.24
116+062.80	Ø 1500	1.52	3.32	0.45	0.9	2.18	5.92	3.89	2.48	1.24
116+761.50	2× (3*2)	4.5	6.5	0.69	0.5	25.41	2×17.39	3.86	2.46	1.23
118+686.70	3× (3*2)	4.5	6.5	0.69	0.5	24.17	3×17.29	3.86	2.46	1.23
119+538.30	Ø 1500	1.52	3.32	0.45	0.9	0.76	5.92	3.89	2.48	1.24
119+952.70	2×Ø 1500	1.52	3.32	0.45	0.9	4.35	2×5.92	3.89	2.48	1.24
120+353.00	2×Ø 1500	1.52	3.32	0.45	0.9	3.50	2×5.92	3.89	2.48	1.24
120+530.90	Ø 1500	1.52	3.32	0.45	0.9	0.94	5.92	3.89	2.48	1.24
120+562.60	Ø 1500	1.52	3.32	0.45	0.9	1.98	5.92	3.89	2.48	1.24
120+626.90	Ø 1500	1.52	3.32	0.45	0.5	1.64	4.41	2.90	1.85	0.92
121+596.70	Ø 1500	1.52	3.32	0.45	0.9	0.93	5.92	3.89	2.48	1.24
121+668.30	Ø 1500	1.52	3.32	0.45	0..9	0.92	5.92	3.89	2.48	1.24
122+193.85	Ø 1500	1.52	3.32	0.69	0.9	1.21	5.92	3.89	2.48	1.24
122+525.0	(3*2)	4.5	6.5	0.69	0.8	9.80	16.15	3.58	2.28	1.14
122+975.76	Ø 1500	1.52	3.32	0.45	0.9	1.50	5.92	3.89	2.48	1.24

VII.5.5 Dimensionnement des ouvrages longitudinale

Le bon écoulement des eaux provenant des talus et des pentes voisines vers la plateforme de la voie est essentiel et cela est facilité par un système de drainage longitudinal tel que les fossés.

Ils assurent un drainage efficace des eaux de ruissellement, préservent la stabilité des talus et protègent les infrastructures ferroviaires, garantissant ainsi la sécurité et la durabilité du réseau.

VII.5.6 Dimensionnement des fossés

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

$$\mathbf{Q_S = Ks \times R_h^{2/3} \times S_m \times I^{1/2}}$$

Avec :

La surface mouillée : $S_m = (b + z \times h) \times h$

Le rayon hydraulique : $R_h = Sm/Pm$

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

Z : la pente des berges

I : la pente longitudinale de fossé.

Les hypothèses suivantes ont été émises pour le dimensionnement et les caractéristiques pour le dimensionnement des fossés sont les suivantes :

- Pour les fossés en béton (préfabriqués ou coulés sur place), le coefficient de rugosité Strickler Ks = 70.
- La pente longitudinale des fossés en zone de déblai est la même que celle du profil en long de la voie.
- Les fossés sont construits selon une forme trapézoïdale avec un talus présentant une pente de 3/2 (H/V).
- Notre plateforme est disposée sous forme de toit avec une largeur à de 6.8m droite et 1.2m à gauche (future dédoublement).
- On prend comme référence le fossé droit par ce qu'il représente le cas le plus défavorable.
- Les paramètre à considérer sont les débits à évacuer qui est rapporté par la plateforme, les bermes et les talus : **Qa=Qpf+Qt+Qb**

Chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle :

$$\mathbf{Q = \frac{C.I.A}{3.6}}$$

Avec

Q : Débit de crue correspondant au bassin versant avec une période de retour T (m³/s).

C : Coefficient de ruissellement.

I : Intensité de pluie (mm/h).

A : Surface du bassin versant considérer : la plate-forme / les bermes / les talus, en (km²).

VII.5.7 Application à notre projet

Le système de drainage longitudinal a été dimensionné pour une période de retour de 10 ans (a=27.35 b=0.8).

Tableau VII-14 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de déblai.

		Cas déblai
		Le cas plus défavorable Longueur=310.26 m Hauteur talus=14 m Berme = 2 m Largeur de la plateforme= 6.8 m
Plateforme	Cr	0.8
	P(m/m)	0.04
	A (km^2)	0.00 2109
	Tc(h)	0.029161
	I(mm/h)	462.50
	Qpf (m^3/s)	0.216
Talus	Cr	0.4
	P(m/m)	1/1
	A (km^2)	0.005509
	Tc(h)	0.072296
	I(mm/h)	223.69
	Qpf (m^3/s)	0.136
Berme	Cr	0.4
	P(m/m)	0.04
	A (km^2)	0.001241
	Tc(h)	0.0223696
	I(mm/h)	571.78

	Qpf (m^3/s)	0.078
Qa (m^3/s)(totale)		0.43

Remarque : notre plateforme est disposée sous forme de chapeau chinois avec une largeur À gauche de 6.8m et 1.2m à droite. Donc nous devons faire le dimensionnement de fossé gauche Puisque représente le cas plus défavorable.

Tableau VII-15 : Dimensionnement du fossé proposé

b	B	H	z	$S_m(m^2)$	$P_m(m)$	R_h	Ks	I(m/m)	Qs(m^3/s)
0.5	**1.5**	**0.5**	**0.707**	**0.427**	**1.80**	**0.24**	**70**	**0.02**	**1.632**

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

Qa < Qs En conclusion, les types des fossés adoptés pour notre projet de forme trapézoïdal (b=0.5m, h=0.5 m, pente=1H/1V).

VII.6 Conclusion

En résumé, ce chapitre a abordé l'analyse hydrologique et hydraulique, qui est essentielle à la sécurité et à la stabilité de notre projet. Nous avons évalué les caractéristiques des bassins versants ainsi que les débits d'eau, et dimensionné les infrastructures hydrauliques transversales et longitudinales. Ce chapitre nous a permis d'appliquer les connaissances acquises au cours de notre formation, notamment dans le domaine du calcul hydraulique. Nous avons ainsi souligné l'importance d'une étude hydraulique approfondie pour dimensionner correctement les ouvrages hydrauliques.

Chapitre VIII : ÉTUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Chapitre VIII : Étude géologique et géotechnique

VIII.1 Introduction

L'élaboration et l'exécution d'un projet ferroviaire en site neuf nécessitent une bonne connaissance des terrains traversé À cet effet, la reconnaissance géotechnique et géologique constitue une source d'informations indispensable à chaque étape de la création d'une section ferroviaire. En effet, cette reconnaissance permet :

-Au stade des études, de bien définir le projet : optimisation du mouvement des terres, dimensionnement de la couche d'assise, choix des matériaux.

-Au stade de l'exécution, de réaliser les travaux avec un minimum d'aléas : choix des moyens et matériels adaptés à la nature des sols rencontrés, méthodes d'exécution.

La qualité d'un projet ferroviaire ne se limite pas à l'obtention d'un bon tracé en plan et d'un bon profil en long. Une fois réalisée, la voie ferrée doit résister aux agressions extérieures et aux surcharges d'exploitation : effets des gradients thermiques, pluie, neige, verglas, actions des essieux et de camions lourds Pour cela, il est nécessaire de garantir à la voie ferrée non seulement de bonnes caractéristiques géométriques, mais aussi d'excellentes caractéristiques mécaniques lui permettant de résister à l'ensemble de ces contraintes pendant toute sa durée de vie.

Ainsi, la qualité de la construction ferroviaire joue un rôle primordial dans la pérennité et la fiabilité de l'infrastructure.

VIII.2 L'étude géologique

L'étude géologique vise à prévenir divers risques susceptibles de déstabiliser l'ouvrage, tels que les chutes de blocs, les glissements de terrain, les inondations, la sismicité, les phénomènes de retrait-gonflement des argiles, la remontée de la nappe phréatique et le tassement des sols compressibles.

VIII.2.1 Aperçu géologique régionale

Le tracé étudié est localisé dans le Sud-Ouest algérien, elle fait partie du Sahara Nord occidental, et se trouve limiter au Nord et au Nord-Ouest par la frontière Algéro–marocaine, à

l'Ouest et au Sud-ouest par la Hamada de Guir, à l'Est par le grand Erg Occidental et au Sud par la chaîne de l'Ougarta.

Elle se caractérise par une vaste étendue morphologique, constituée d'un ensemble tabulaire : un plateau désertique connu sous le nom de Hamada.

VIII.2.2 Aspect morphologique de la zone d'étude

Le système tabulaire : Ce système correspond ou Regs (Hamada) qui sont de vastes étendues rocailleuses, Les plus importantes sont celles de Guir qui couvre toute la zone occidentale de la région. Les autres Hamada plus petites, celle d'Oum Es-Sebah dans le bassin de Béchar est, dominée par des buttes ruiniformes appelées (gara). Les plateaux Hamadiens surplombants les dépressions, ils sont érodés et caractérisés par des contours irréguliers.

VIII.2.3 Litho stratigraphie

Les terrains dans la zone d'étude sont caractérisés par une géologie riche et très variée

-Le Paléozoïque

L**es** formations du Carbonifère sont les plus répandues en affleurement dans la région et figurent parmi les mieux étudiées, notamment grâce aux travaux de Deleau (1952) et Pareyn (1961). Ces formations constituent les principaux reliefs du secteur, notamment le Djebel Béchar et la Chabket Mennouna. Elles forment également le soubassement géologique de la ville de Béchar.

Ce système géologique comprend plusieurs étages, dont le Stéphanien, qui est particulièrement remarquable. Le Stéphanien (épaisseur estimée entre 1000 et 1250 mètres) affleure dans la plaine d'Abadla. Il se compose d'une alternance de marnes, de grès, ainsi que de marnes rouges contenant du gypse (marnes gypsifères.

-Le Tertiaire

Une coupe géologique a été réalisée à Garet El Betik à environ 4 km au Nord de Abadla (G. Conrad, 1969), dans les terrains tertiaires, le sondage a révélé que le Néogène Continental repose directement sur le Carbonifère supérieur (Stéphanien) constitué par des marnes rouges

Et des grès rouges intercalés de marnes rouges à gypse. La base du Néogène est constituée par le remaniement des marnes rouges carbonifères.

-Le Quaternaire

Le quaternaire est représenté par des niveaux métriques de conglomérats, par des argiles rougeâtres gypsifères, sableuses, alluvions, calcaires et des limons sableux. Le terrain quaternaire le plus ancien est formé dans toute la région **des hamadas** et dans la zone d'épandage des grands oueds.

VIII.2.4 Contexte géologique de ce tronçon

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 113+000 jusqu'à la fin du tracé, selon les cartes géologiques d'Algérie le tracé traverse des formations Néogène : Mio-plio-quaternaire qui caractérise la Hamada du Guir.

-Du Pk 113+000 environ au Pk 122+650 : Le tracé traverse les formations plio-quaternaires de la Hamada du Guir, caractérisées par des sables limoneux marron rougeâtre et des sables graveleux en surface, suivi par des argiles limoneuses peu sableuse marron rougeâtre des fois intercalées par des niveaux caillouteux ou bien par des argiles sableuses graveleuses caillouteuses marrons verdâtres et des sable moyen à grossier avec présence de dépôt

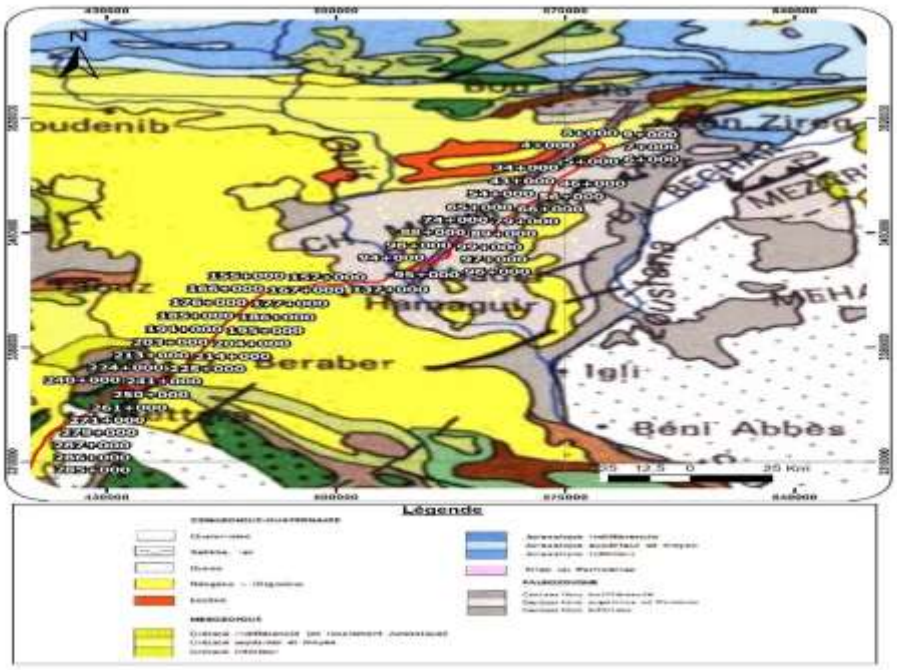


Figure VIII-1: Tracé projeté du Pk 000 au Pk 200 sur carte géologique du Nord-Ouest de l'Afrique 1/5 000 00

caillouteux. Le tout surmonte, la dalle calcaire Hamadienne caractérisée par des calcaires blancs ou calcaires gréseux.

VIII.2.5 Géomorphologie du site du tracé

Du coté géomorphologique, le tracé entre le Pk 113+000 au Pk 122+650 traverses essentiellement les formations Néogène de la Hamada du Guir, où affleurent les calcaires lacustres du Pliocène (au Sud) et les formations quaternaires (au nord).

VIII.2.6 Risque géologique

Le territoire national (RPA 2024) est divisé en sept (07) zones de sismicité croissante, définies sur la carte des zones de sismicité définies ci-dessous

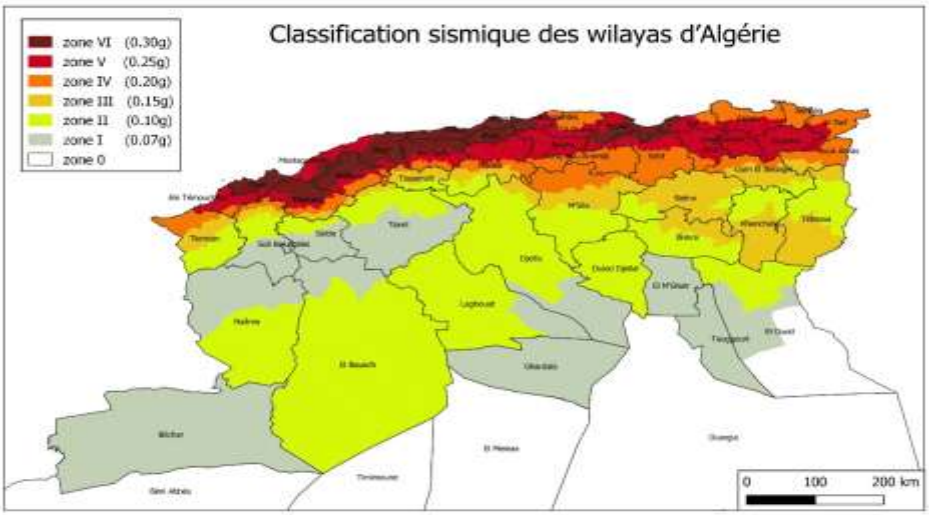


Figure VIII-2: Carte des zones sismique de l'Algérie (RPA 2024)

D'après ce découpage la zone d'étude est située dans la zone I caractérisée par une sismicité faible.

VIII.3 Etude géotechnique

VIII.3.1 Introduction

La géotechnique est une science qui étudie les propriétés physiques et mécaniques des roches et des sols. Elle permet de localiser les différentes couches et de fournir des renseignements sur leurs caractéristiques. L'exécution d'un projet ferroviaire nécessite donc une bonne connaissance des terrains traversés, ce qui exige des reconnaissances géotechniques.

VIII.3.2 Programme d'investigation géotechnique

Après analyse du tracé projeté de la voie ferrée, nous proposons notre plan d'investigation géotechnique le long de la ligne ferroviaire Béchar Tindouf dont les objectifs sont

VIII.3.2.1 Lot tracé

VIII.3.2.1.1 Reconnaissance de portance de la plate-forme

Forages de reconnaissance c'est le seul moyen précis pour identifier l'épaisseur et la nature des couches de sol présentes. Les forages permettent d'évaluer l'épaisseur de la terre végétale et de reconnaître le niveau des nappes éventuelles. Les forages peuvent être réalisés :

-Manuellement

Ce sont des puits creusés à la main ou à l'aide d'une pelle mécanique, avec une profondeur ne dépassant pas 3 à 6 m. Ils permettent la reconnaissance visuelle directe des parois du puits et le prélèvement d'échantillons intacts pour les essais de laboratoire.

-À la sondeuse

On peut atteindre plusieurs dizaines de mètres de profondeur en utilisant des tubes carottiers. Les couches de sol sont identifiées à travers les « crottés » extraits ; ces échantillons remaniés sont prélevés pour les essais de laboratoire (on parle ici de SONDAGES CAROTTES). D'autre part, les sondages carottés restent nécessaires afin de préciser la nature et l'épaisseur des différentes couches de sol traversées.

Tableau VIII-1: Programme d'investigation de Lot tracé

Localisation	Hauteur (m)	Essais géotechniques		
		Essais in situ	Prof	Essai au laboratoire
En section déblais				
119+775	14 m	01 sondage carotté et Prélèvement d'un échantillon Paraffiné par couche.	15m	-Essais d'identification, CBR, Analyses chimiques, Essais œdométriques, Essais cisaillement rectiligne
		01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	06m	
En section remblai				

113+500	1.065m	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	06m	-Essais d'identification, CBR, Analyses chimiques, Essais œdométriques, Essais cisaillement rectiligne
113+975	1.216m	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	06m	Essais d'identification, CBR, Analyses chimiques, Essais œdométriques, Essais cisaillement rectiligne
114+225	1.104m	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	06m	Essais d'identification, CBR, Analyses chimiques, Essais œdométriques, Essais cisaillement rectiligne
115+250	0.973m	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	06m	Essais d'identification, CBR, Analyses chimiques, Essais œdométriques, Essais cisaillement rectiligne
115+775	0.59 m	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	06m	Essais d'identification, CBR, Analyses chimiques, Essais œdométriques, Essais cisaillement rectiligne
116+025	0.145m	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	06m	Essais d'identification, CBR, Analyses chimiques, Essais œdométriques, Essais cisaillement rectiligne
116+925	0.711m	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	06m	Essais d'identification, CBR, Analyses chimiques, Essais œdométriques, Essais cisaillement rectiligne
117+225	1.065m	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	06m	Essais d'identification, CBR, Analyses chimiques, Essais œdométriques, Essais cisaillement rectiligne
118+225	1.216m	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	06m	Essais d'identification, CBR, Analyses chimiques, Essais œdométriques, Essais cisaillement rectiligne
119+225	1.104m	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	06m	Essais d'identification, CBR, Analyses chimiques, Essais œdométriques, Essais cisaillement rectiligne

VIII.3.2.2 Lot Ouvrage

Afin de fournir les données nécessaires pour construite les futur ouvrage d'art, un programme géotechnique sera établi et donné dans le tableau au-dessous, pour cela on prévoit la réalisation des essais suivants :

Tableau VIII-2: Programme d'investigation lot ouvrage

Localisation	Type d'ouvrage	Essais géotechniques		
		Essais in situ	Prof	Essai au laboratoire
113+785	(Passage supérieur)	-Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. -Essai au pénétromètre statique SPT	15m	-Essais d'identification, CBR, Analyses chimiques, Essais œdométriques, Essais cisaillement rectiligne

VIII.3.3 Campagne de reconnaissance géotechnique

Dans cette partie sont énumérés les différents travaux réalisés dans la campagne géotechnique et les essais de laboratoire proposés :

VIII.3.3.1 Puits de reconnaissance

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

- La détermination des agencements lithologiques des strates rencontrées.
- La prise des échantillons remaniés en vue des essais de laboratoire.
- Pour chaque puits creusé, une stratigraphie a été rédigée et un prélèvement des échantillons pour des essais au laboratoire.

Pour chaque puits creusé, une stratigraphie a été rédigée et un prélèvement des échantillons pour des essais au laboratoire les puits de reconnaissance réalisés sont énumérés ci-dessous

Tableau VIII-3 : Les résultats des puits (PR) effectués

N° de puits	PK	La zone	Profondeur	La lithologie	Profondeur creusé	Observation

PU1	**113+500**	Remblai	1.065m	Sable jaunâtre fin, consolidé par endroits		1.4m	Aucune trace d'eau n'a été décelée au fond de ce puits
PU2	**113+975**	Remblai	1.216m	Sable jaunâtre fin, consolidé par endroits		0.8m	Aucune trace d'eau n'a été décelée au fond de ce puits
PU3	**114+225**	Remblai	1.104m	Encroûtement gréso-calcaire beige blanchâtre		1m	Aucune trace d'eau n'a été décelée au fond de ce puits
PU4	**115+250**	Remblai	0.973m	Encroûtement gréso-calcaire beige blanchâtre		0.65m	Aucune trace d'eau n'a été décelée au fond de ce puits
PU5	**115+775**	Remblai	0.59 m	Encroûtement gréso-calcaire beige blanchâtre		0.60	Aucune trace d'eau n'a été décelée au fond de ce puits
PU6	**116+025**	Remblai	0.145m	Encroûtement gréso-calcaire beige blanchâtre		1m	Aucune trace d'eau n'a été décelée au fond de ce puits
PU7	**116+925**	Remblai	0.711m	Encroûtement gréso-calcaire beige blanchâtre		0.8m	Aucune trace d'eau n'a été décelée au fond de ce puits
PU8	**117+225**	Remblai	0.525m	Sable argileux limoneux rougeâtre à cristaux de gypse, alterné des passées argileuses et renfermant des fragments		1.1m	Aucune trace d'eau n'a été décelée au fond de ce puits
PU9	**118+225**	Remblai	2.071m	Argile aspect schisteuses limoneuse rougeâtre renfermant des fragments.		2.5m	Aucune trace d'eau n'a été décelée au fond de ce puits

PU10	**119+225**	Remblai	1.568m	Argile schisteuses verdâtre à ocre vers les profondeurs, renfermant des fragments par endroits		1.1m	Aucune trace d'eau n'a été décelée au fond de ce puits
PU11	**119+775**	Déblai	14m	Argile schisteuses verdâtre devenant ocre vers les profondeurs, compacte et indurée par endroits		1.5m	Aucune trace d'eau n'a été décelée au fond de ce puits
PU12	**121+100**	Remblai	3.354m	Argile schisteuse ocre à quelque tâche verdâtre devenant compacte et indurée vers les profondeurs.		2.1m	Aucune trace d'eau n'a été décelée au fond de ce puits

VIII.3.3.2 Sondage carotté et pressiométriques

Les sondages carottés et pressiométriques réalisés sont énumérés dans le tableau suivant : Les sondages carottés réalisés à l'aide des machines de forage et descendus jusqu'à des profondeurs variantes entre 08 et 20 m de profondeur avaient pour objectif :

- Identifier la lithologie du sol
- Mesurer la profondeur de la nappe d'eau lorsque rencontrée dans les sondages. Vérifier la stabilité des talus.

Aussi, le passage en grands remblais concerne essentiellement les zones à proximité des ouvrages. Il sera exploité les résultats de la campagne pour les fondations d'ouvrages afin de déterminer si le sol en place est apte à supporter ces remblais. Ainsi, aucun essai supplémentaire N'est prévu à cet effet.

Tableau VIII-4 : Résume des sondages carottés effectués

N° de Sondage	PK	Les ouvrages	Profondeur	La lithologie		Observation
SCR01	113+785	Viaduc (passage supérieur)	15m	Argile schisteuses verdâtre vers la somme devenant ocre vers la		Aucune trace d'eau n'a été décelée dans l'ensemble des sondages réalisé et ce

				base, renfermant des fragments par endroits		que jusqu' profondeur prévue
SCR02	116+761	Dalot (3*2)	8m	Grés à grain fin plus au moins dure en état fragmenté		Aucune trace d'eau n'a été décelée dans l'ensemble des sondages réalisé et ce que jusqu' profondeur prévue
SCR03	118+686	Dalot (3*2)	8m	Grés fin friable brunâtre à des passages durs par endroits		Aucune trace d'eau n'a été décelée dans l'ensemble des sondages réalisé et ce que jusqu' profondeur prévue
SCRO4	117+250	Remblai	8m	Argile d'aspect schisteux rougeâtre devenant compacte vers profondeur		Aucune trace d'eau n'a été décelée dans l'ensemble des sondages réalisé et ce que jusqu' profondeur prévue
SCR05	119+775	Déblai	15m	Grés calcaires dure peu caverneux en état fragmente à des passages encroutés par endroits		Aucune trace d'eau n'a été décelée dans l'ensemble des sondages réalisé et ce que jusqu' profondeur prévue
SCR06	121+050	Remblai	8m	Argile rougeâtre compacte vers les profondeurs		Aucune trace d'eau n'a été décelée dans l'ensemble des sondages réalisé et ce que jusqu' profondeur prévue

VIII.3.3.3 Essais de standard pénétration TEST (S.P.T)

Principe de l'essai : On rappelle que le S.P.T est un essai de pénétration dynamique, réalisé à l'aide d'un carottier normalisé. Au niveau de chaque essai, le carottier est d'abord enfoncé dans le forage par battage de 15 cm pour éliminer la zone de remaniement du sol, puis on enregistre le nombre de coups "N" nécessaire pour enfoncer le carottier d'une profondeur de 45cm (3 x 15 cm) sous une charge de percussion connue.

N est la valeur S.P.T. A partir de cette valeur obtenue expérimentalement et à l'aide des abaques de Terzaghi et Meyerhoff, on peut estimer les caractéristiques mécaniques de la formation sableuse en place (Densité Relative et Angle de Frottement Interne)

Résultats de l'essai : Les résultats des essais de S.P.T que l'on a peut-être effectué en certains niveaux des formations de sable sont récapitulés dans les tableaux ci-dessus

Tableau VIII-5 : Résume des essais de pénétration dynamique effectués

Sondage carotté	Profondeur (m)	N0	N1	N2	Nspt	N corrige	Formation
SCR4	1.00-1.45	9	13	26	39	27	Moyennement compacté
	2.50-2.85	17	33	50/5cm	83	49	Très compacté
	3.50-3.75	20	50/10cm	-	50	32.5	Très compacté
	5	Refus	-	-	-	-	Très compacté
	6	Refus	-	-	-	-	Très compacté
	7	Refus	-	-	-	-	Très compacté
	8	Refus	-	-	-	-	Très compacté
SCR6	3.00-3.20	22	50/4cm	-	50	32.5	Très compacté
	4.00-4.40	19	33	50/10cm	83	49	Très compacté
	5.00-5.30	20	22	50/2cm	72	43.5	Très compacté
	6.00	Refus	-	-	-	-	Très compacté
	7.00-7.20	37	50/5cm	-	50	32.5	Très compacté

Les sondages révèlent que les formations rencontrées sont très compactes, particulièrement à des profondeurs supérieures à 2 m. Les valeurs élevées de Nspt et de N corrigé témoignent de la résistance importante des sols, justifiant un potentiel porteur élevé. Les couches superficielles sont plutôt compactes à moyennement compactes, mais elles sont rapidement suivies par des couches très compactes ou présentant un refus.

VIII.3.3.4 Analyse du laboratoire

Les essais de laboratoire sont, dans tous les cas, nécessaires pour préciser et compléter la nature et le comportement des sols.

Tous les échantillons prélevés à partir des puits (PR) et les sondages carottés réalisés ont fait l'objet des analyses en laboratoire conformément aux normes en vigueur, ainsi le programme d'essai en laboratoire a consisté à l'exécution des essais suivants :

- Essais d'identification (Granulométrie, Sédimentométrie, Limites d'Atterberg, teneur en eau naturelle, Le poids spécifique γd).
- Analyses chimiques (pH, sulfates, chlorures et carbonates
- Essais de propreté (Equivalent de sable, Essai au Bleu Méthylène VBS).
- Essais mécaniques (PROCTOR et CBR ; pour les fondations des ouvrages et la vérification de la stabilité des remblais hauts, des talus et des traversées des sols compressibles, les essais les plus nécessaires sont : cisaillement rectiligne et essais œdométriques).

VIII.3.3.4.1 Essai d'Identification

-Analyse granulométrique : L'analyse granulométrique permet de détecter les pourcentages des différentes familles de grains constituant l'échantillon, Elle s'effectue par tamisage pour les grains d'un diamètre supérieur à 80 µm et par Sédimentmétrie pour les grains les plus fins.

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

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

% < 2 µm : Pourcentage des passants inférieurs à 2 µm Norme : NF P 94-051 ou NF P 94-052

-Teneur en eau : Représente la quantité d'eau contenu dans un échantillon de sol Norme : NF P 94-050.

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

WL (%) : Limite de liquidité.

WP (%) : Limite de plasticité.

IP (%) : Indice de plasticité

VIII.3.3.4.2 Essais de propreté

- **L'équivalent de sable** est un indicateur caractérisant la propreté d'un sable ou une grave. Il indique la teneur en éléments fins.
- **Essai au bleu méthylène VBS :** L'essai au bleu de méthylène, ou « essai au bleu », est Utilisé pour déterminer l'argilosité d'un sable d'un granulat et plus généralement d'un sol.

VIII.3.3.4.3 Essai mécanique

- **Essai Proctor :** L'essai Proctor est un essai qui permet de déterminer la teneur en eau nécessaire pour obtenir la densité sèche optimale d'un sol par compactage Norme : NF P 94-093.
- CBR immédiat : L'essai CBR immédiat évalue la résistance à la pénétration. Cet essai aide à déterminer la capacité portante du sol, essentielle pour assurer la stabilité et la sécurité.

Les résultats des essais d'identification et de propreté des sols traversés par la nouvelle ligne ferroviaire avec leur classification selon GTR.

Tableau VIII-6 : Résume des résultats des essais de laboratoire sur échantillons de sols remaniés

PUIT	%Fines <80 µ	W (%)	IP (%)	WL (%)	Caco 3 (%)	YdO PM t/m3	WOPM (%)	CBR à 100%	LA (%)	MDE (%)	Classification	
											GTR	UIC719R
PU1	19	6.3	N.m	N.m	32.0	1.81	9.3%	57.3	52.0	47.0	B52s	**QS2**
PU3	23	6.3	N.m	21.5	42.0	1.97	6.4%	97.6	34.0	28.0	B5m	**QS2**
PU5	19	6.8	N.m	22.3	54.0	1.95	7.2%	97.6	36.0	30.0	B5m	**QS2**
PU6	20	7.2	13.7	29.3	61.0	1.91	7.4%	87.0	38.0	31.0	B5m	**QS2**
PU7	20	6.3	N.m	24.0	28.0	1.85	9.3%	68.3	38.0	33.0	B5s	**QS2**
PU8	60	8.9	12.2	27.5	21.0	1.95	8.2%	79.3	62.0	55.0	A1m	**QS1**
PU9	100	10.6	14.2	31.5	21.0	1.85	8.2%	64	66	60	A2m	**QS1**
PU10	61	8.0	11.4	29.0	9.0	1.84	8.6%	62.0	61.0	57.0	B5h	**QS1**
PU12	100	11.2	16.2	38.3	7.0	1.83	9.5%	64.0	68.0	57.0	B5m	**QS1**

- **Interprétation des résultats**

Recommandation de la classe QS2 plutôt que QS1

Concernant l'ensemble des puits, les essais de laboratoire ont montré une teneur en fines (<80µm) supérieur à 15 %. Selon la classification UIC basée uniquement sur ce critère, ces matériaux entreraient dans la classe **QS1**, soit des sols **de faible qualité**. Cependant, il est important de prendre en compte l'ensemble des caractéristiques pour évaluer correctement la qualité d'un sol. Plusieurs autres paramètres sont très favorables **:**

-Les indices de plasticité Ip indiquent une faible plasticité

-Les valeurs de CBR sont très élevée, caractéristique d'un excellent sol pour l'assise

-Les densités sèches OPN sont également des valeurs élevées

De plus, les puits n'ont pu atteindre la formation dominante sous-jacente en raison de refus de pelle. Il est donc probable que les couches sous-jacentes soient plus favorables que ce qu'indique la teneur en fines. C'est pourquoi, par mesure de sécurité et en prenant en compte l'ensemble des bonnes caractéristiques de ce matériau, nous avons recommandé une classification en **QS2** plutôt qu'en **QS1**.

Remarque : Niveau d'eau : Aucune trace d'eau n'a été détectée dans l'ensemble des sondages réalisés, et ce, jusqu'aux profondeurs prévues.

Étant donné la nature du sol en place, seuls les essais chimiques et de résistance à la compression simple (RC) ont pu être réalisés sur les échantillons prélevés lors des sondages.

Tableau VIII-7 : Résume des résultats des essais mécaniques sur échantillons de sols remaniés

Essais	Sondages	SCR4
	Profondeur (m)	6-6.5m
	γd (t/m3)	2.72
	Rc (MPA)	6.13

- Le sondage SCR4 montre globalement des valeurs de résistance à la compression très élevées, suggérant des formations rocheuses plus compactes ou moins altérées.

Tableau VIII-8 : Résume des résultats des essais chimiques sur échantillons de sols remaniés

N° Sondage	Profondeur (m)	M.O (%)	SO4 (mg/kg)	CaCO3 (%)	Classe d'agressivité
SCR04	2.85 - 3.00 m	3.24	7786.10	11.36	XA2
SCR06	4.40 - 5.00 m	3.28	7511.70	27.27	XA2
SCD04	4.20 - 5.00 m	6.30	4321.80	6.82	XA2
SCD06	3.00 - 4.00 m	3.43	5796.70	6.82	XA2

- Selon la norme NA 16002 (2021)

Les quatre échantillons de sol SCR 01, SCR 02, SCD 01 et SCD 02 analysés présentent un taux de sulfate (SO42- >3000 et ≤12000 mg/kg) caractérisent des sols de classe d'exposition XA2 correspond à des environnements d'agressivité chimique modérée vis à-vis du béton.

Les précautions nécessaires à prendre pour la confection du béton au contact de ces sols sont :
-Ciment résistant aux sulfates.
-La teneur minimale en ciment : 320 kg/m3.
-Le rapport (e/c) maximal : 0,50.
-La classe de résistance minimale : C30/37.

VIII.3.4 Gites d'emprunts et carrières

Aux abords du tracé, une recherche de matériaux d'emprunt et des carrières a été effectuée en fonction de la géologie locale. En effet, sur la base de l'examen de la carte géologique et des observations de terrain, il a été constaté la présence de formations géologiques porteuses de gites d'emprunts pour matériaux de remblais. Il s'agit de terrains sédimentaires formés de sables et graves très compacte ainsi que des grès et des grès graniteux pour les carrières.

Tableau VIII-9 : Gite d'emprunt proposé

Zone	PK	Caractéristique	Classe GTR	Classe UIC	Capacité du gite(m3)
Zone d'emprunt	130+050	Grés calcaire	B4	QS2	1 685 727

Les gîtes de matériaux analysés sont les plus courants dans la région. Ils sont généralement utilisés dans les ouvrages en terre, notamment pour les remblais. D'après les puits et les sondages réalisés, les épaisseurs de ces couches de classe variant entre B4 et B5 se situent entre 2,80 m et 3,80 m.

VIII.4 Conclusion

L'étude géotechnique et géologique de la ligne ferroviaire Béchar - Tindouf - Gara Djebilet montre une variété de formations géologiques, nécessitant des méthodes de construction adaptées. La capacité portante des sols, allant de faible à élever, permet de supporter des charges lourdes dans certaines sections. Bien que les matériaux d'emprunt soient en dehors de la zone d'étude, leur disponibilité est un atout pour la construction. Un programme d'investigation rigoureux, comprenant des reconnaissances sur le terrain, des échantillonnages et des tests en laboratoire, garantit la sécurité et la durabilité de l'infrastructure

Chapitre IX : ASSISE FERROVIAIRE

Chapitre X : ASSISE FERROVIAIRE

IX.1 Introduction

Par définition, la couche d'assise se compose de la couche de ballast, de la sous-couche et de la plate-forme. Ses rôles principaux sont les suivants :

-Amortir les vibrations importantes générées par le contact entre les rails et les roues.

-Répartir les charges des traverses de manière quasi uniforme sur la plate-forme.

-Contribuer à la stabilité longitudinale et transversale de la voie ferrée.

-Assurer l'évacuation des eaux de ruissellement par le drainage.

Nous avons défini dans ce chapitre constituent de la voie la couche d'assise, et afin de compléter ce dernier, nous présenterons dans ce chapitre le ballast, la sous couche et la plat forme.



Figure IX-1: Vue générale d'une carrière de ballast destinée à l'approvisionnement de la ligne Bechar Tindouf

IX.2 Le ballast

Le ballaste est un granulat utilisé dans la construction de la voies ferrées et dont 100% de la surface des grains est entièrement concassée

Il est considéré comme une composante de la superstructure et offre une résistance élevée aux diverses contraintes subies par la voie.

IX.2.1 Rôle de ballast

Le ballast constitue une couche épaisse répondant aux exigences suivantes :

-Transmettre les efforts engendrés par le passage des trains au sol, sans que celui-ci ne se déforme par tassement.

-Assurer en raison de sa granularité particulière, le drainage et l'évacuation des eaux superficielles.

-Jouer le rôle d'un amortisseur de vibrations très efficace grâce à ses propriétés rhéologiques (dissipation de l'énergie de vibration).

IX.2.2 Matériau

Nous utilisons généralement de la pierre concassée, dont la granulométrie varie entre 31.5 mm et 50 mm Les carrières où ces matériaux sont extraits et transformés sont appelées ballastières.



Figure IX-2: Ballast ferroviaire lors de la visite de terrain

Les éléments du ballast doivent s'imbriquer afin de former une masse compacte tout en restant perméable.

La qualité du ballast est évaluée à l'aide d'essais classique

-Essai de la résistance à l'usure (essai au micro-Deval).

-Essai de la résistance à la fragmentation (essai de Los Angeles).

-Essai de la résistance à la compression.

Le ballast utilisé en chemin de fer doit avoir ou moins les qualités suivantes :

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

-Résistance à la compression : ≥ 12Kn /cm² Maille : 22.4/63 mm

-Limite de maille entre 31.5-50 mm : 50%.

-Résistance à l'érosion avec le coefficient Los Angeles : ≤ 15 %

IX.3 Sous-couche

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

IX.3.1 Une couche sous-ballast

Le sous-ballast est essentiel dans la construction des voies ferrées. Il sert principalement à égaliser et réduire la raideur de l'assise. Composé de gravier propre bien gradué de 0/31.5 mm avec au moins 30% de matériau concassé ayant une DRG ≥ 12.

IX.3.2 Une couche de fondation

La couche de fondation, généralement composée de grave propre bien graduée et compactée supporte la circulation des engins de chantier avant l'installation du sous-ballast. Elle n'est pas nécessaire sur les sols de bonne qualité.



Figure IX-3: Sous couche ferroviaire avec géotextile installé sur le terrain

IX.3.3 Rôle de la sous couche

La sous couche assure plusieurs fonctions comme :

-Amélioration de la portance et meilleure répartition des charges transmises.

-Contribution à l'amélioration de propriétés vibratoire.

-Anticontamination entre la plateforme et la couche de ballast.

-protection contre l'érosion.

-évacuation des eaux de pluie.

IX.4 La plate-forme

IX.4.1 Définition

La plate-forme de la voie constitue l'élément support de la superstructure de la voie ferrée. Elle est constituée de terres rapportées dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai. Afin d'évaluer la qualité de la plate-forme, il est nécessaire :

-d'apprécier la qualité de chaque sol composant la plate-forme, et d'évaluer la qualité de la plate-forme dans son ensemble : couche de forme et sol sous-jacent.

IX.4.2 Classification des sols pour la plateforme

La qualité d'un sol destiné à accueillir une plateforme dépend principalement de deux facteurs

- La nature géotechnique du sol

Celle-ci est évaluée à travers l'identification géotechnique, qui permet de déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques du sol (granulométrie, plasticité, compacité, etc.). Ces propriétés influencent directement la portance du sol, c'est-à-dire sa capacité à supporter des charges sans se déformer de manière excessive.

- Les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales

Les conditions sont dites bonnes si les trois critères suivants sont réunis :

-La nappe phréatique est située sous la couche supérieure du sol, mesurée en période défavorable (climat humide), avant toute intervention de rabattement.

-Aucune percolation naturelle (infiltration d'eau polluée ou non) n'est observée dans le sol, que ce soit verticalement, longitudinalement ou transversalement.

-Les eaux de pluie sont bien évacuées, grâce à des pentes efficaces et à des dispositifs de drainage en bon état de fonctionnement.

Si au moins un de ces critères n'est pas respecté, les conditions sont considérées comme mauvaises, ce qui impacte négativement la qualité du sol pour la plateforme.

Les sols sont classés en quatre catégories de qualité QSi de sols ci-après

Tableau IX-1: Les classes de qualité des sols

Classe	Description	Remarque/traitement possible
QS0	Sols impropres	Inadaptés tels quels. Nécessitent des mesures lourdes : remplacement, traitement aux liants hydrauliques, mise en place de géotextiles, renforcement par pieux, etc.
QS1	Sols médiocres mais acceptables	Doivent impérativement être bien drainés. Possibilité d'amélioration par traitement aux liants (chaux, ciment).
QS2	Sols moyens	Acceptables sans traitement particulier si les conditions sont favorables. Bonne portance modérée.
QS3	Sols bons	Présentent une bonne portance et un comportement stable. Utilisable directement sans renforcement spécifique

A partir de la fiche UIC 719R, nous concluons que la classe de qualité du sol de la plate-forme dans la zone d'étude est de classe **QS2.**

I.1.1 Les classes de la portance de la plateforme

La détermination des types de plateforme dépend des caractéristiques des sols qui composent le sommet des remblais ou des sols en place au niveau de la fondation de la plateforme en excavation. Ces caractéristiques incluent le type et l'état hydrique des sols, ainsi que leur épaisseur. Selon le code UIC 719R, ces facteurs permettent de définir les classes de qualité des sols et donc la classe de portance de la plateforme.

En fonction de ces paramètres sont définis, selon le code UIC719R trois types de plateforme Correspondantes à trois classes de capacité de support :

- P1 : plate-forme de médiocre qualité.
- P2 : plate-forme de moyenne qualité.
- P3 : plate-forme de bonne qualité

Tableau IX-2: La classe la portance de la plate-forme (Normes UIC 719 R)

Classe de qualité de sol	Classe de portance de la plateforme	Couche de forme mettre en œuvre pour avoir cette portance	
		Qualité	Epaisseur min e (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	-

Compte tenu de la qualité du sol en place (QS2), du tonnage journalier important et des exigences de l'UIC il est recommandé de réaliser une **plateforme de type P3**. Pour atteindre cette qualité, une **couche de forme de 35 cm d'épaisseur**, constituée d'un matériau de **classe QS3** doit être mise en place sur le sol existant. Cette solution garantit la stabilité, la performance et la durabilité nécessaires pour l'exploitation ferroviaire.

IX.5 Calcul des épaisseurs minimal de couche d'assise

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

Données d'entrée

- Classe de qualité du sol : QS3
- Classe de Plateforme : P3
- Le classement de la ligne est le groupe 1
- Traverses type UIC 60E L= 2,60m
- Charge à l'essieu de 32.5 tonnes

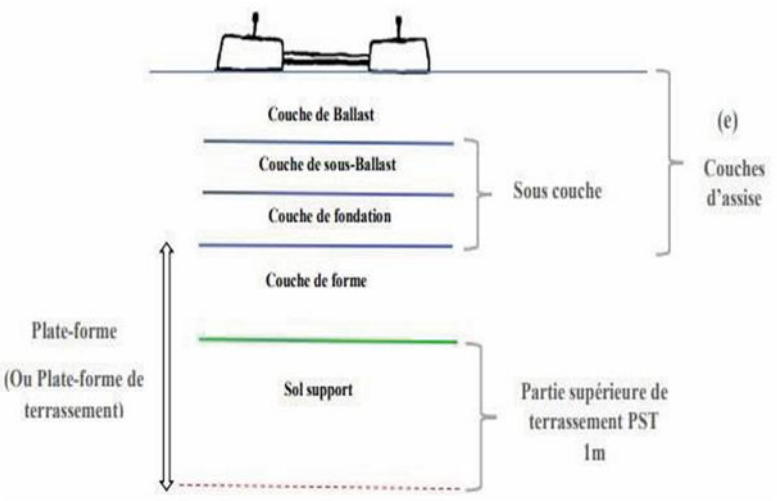


Figure IX-4: Structure d'assise

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

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

Avec :

E : classe de la plateforme P1, P2, P3

a : classe de la voie (groupe de 1 à 6 voir UIC 714)

b : type et longueur de la traverse

c : type de dimensionnement

d : la charge maximale à l'axe

g : Géotextile

Tableau IX-3: Les valeurs des différents paramètres pour le calcul de l'épaisseur

E	**0.77 m**	Pour les plateformes de classe de portance P1.
	0.5 m	Pour les plateformes de classe de portance P2.
	0.45 m	Pour les plateformes de classe de portance P3
a	**0 m**	Pour les lignes des groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V>160 km/h quel que soit le groupe (UIC).
	0.05 m	Pour les lignes de groups UIC (3,4).
	0.10 m	Pour les lignes de groupe UIC (5, 6,7, 8,9) avec voyageurs.

	0.15 m	Pour les lignes de groupe UIC (7, 8,9) sans voyageurs.
b	**0 m**	Pour les travers en bois de longueurs L= 2.6 m
	0.05m	Pour les travers en béton de longueur L. (L et b en mettre si L>2.5, b peut être négatif).
c	**0 m**	Pour un dimensionnement normal (nouvelle ligne).
	0.1 m	À titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que ‘’7, 8 et 9 sans voyageurs’’.
d	**0 m**	Lorsque la charge nominale maximale d’essieu des véhicules remorques est inférieur ou égale à 20 tonne/essieu.
	0.05 m	Lorsque cette charge est de 22 ,5 tonne/essieu.
	0.12 m	Lorsque cette charge est de 25 tonne/essieu.
f	**0 m**	Pour toutes les lignes parcourues à V ≤ 160 Km/h et pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse.
	0.05 m	Pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse.
	0.10 m	Pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse.
g	**0.01 m**	Géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2.
	0 m	(Pas de géotextile), lorsque la couche de forme est en sol QS3.

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

E = 0,45 m pour une plate-forme de classe de portance P3

a = 0 pour le groupe UIC 1 à 4

b = -0.05 m selon la formule b = (2,5-L) /2 dont L est la longueur de traverse L = 2,6 m

c = 0 pour un dimensionnement normal

d = 0.30 m Étant donné que le tonnage est très élevé pour une charge à l’essieu de 325kN

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

g = 0 ; lorsque la couche de forme est en sol QS3

$$e[\mathbf{m}] = \mathbf{0.45 + 0 - 0.05 + 0 + 0.30 + 0 + 0 = 0.7m}$$

L'épaisseur des couches d'assise est alors fixée à 0.7m

Tableau IX-4: Structure de la voie du projet

Classe de portance de plat forme recherché	Couche de forme		Ballast	Sous couche	
	Epaisseur (m)	Classe	Epaisseur (traverse) (m)	Couche sous ballast	Couche de fondation
P3	0.35	QS3	0.30	0.20	0.20

Compte tenu de la charge par essieu élevée de 32.5 tonnes, une amélioration de la portance de la plate-forme a été nécessaire. C'est pourquoi une couche de 1m de remblai de qualité QS3 a été mise en œuvre dans la partie supérieure du remblai. Cette épaisseur permet de mieux répartir les charges verticales importantes et d'assurer une stabilité à long terme de la structure ferroviaire.

IX.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons dimensionné la structure de la voie en tenant compte d'une charge de 32,5 tonnes par essieu, adaptée au transport de marchandises.

La couche d'assise a été renforcée pour assurer une bonne répartition des charges et garantir la stabilité de la voie. L'étude respecte les normes UIC et servira de base pour le profil en travers présenté au chapitre suivant

Chapitre X : PROFIL EN TRAVERS

Chapitre IX : PROFIL EN TRAVERS

X.1 Introduction

Une fois que le tracé en plan et le profil en long sont établis, et après avoir dimensionné l'assise ferroviaire, la prochaine étape consiste à développer le profil en travers. Cette phase est cruciale dans un projet ferroviaire, car elle permet de définir la section type prévue pour le couloir, ainsi que les volumes des déblais et des remblais. Les travaux de terrassement sont ensuite entrepris pour matérialiser les profils transversaux, garantissant ainsi la mise en place de la structure d'assise et du réseau d'assainissement.

X.2 Profil en travers

Le profil en travers est une coupe transversale réalisée selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la voie projetée. Il fournit des informations sur les éléments de la superstructure et de l'infrastructure, les valeurs des pentes des talus, ainsi que sur le système d'assainissement et les éventuels dispositifs de protection de la voie (contre l'ensablement et les éboulements). Il est généralement représenté à une échelle de 1/100, soit un centimètre pour un mètre. Un projet de voie ferrée comprend de nombreux profils en travers.

Pour éviter de reproduire les dimensions sur chacun d'eux, on établit d'abord un profil unique, appelé « profil en travers type », qui regroupe toutes les dimensions et les détails constructifs (largeurs de voie, pentes des surfaces et des talus, dimensions des couches de la superstructure, système d'évacuation des eaux, etc.).

X.2.1 Les éléments du profil en travers

Le profil en travers type doit indiquer les éléments suivants :

- **Éléments de superstructure :**

-Le type de rail utilisé.

-La valeur de l'écartement de la voie.

-La distance entre les axes (dans le cas de plusieurs voies, notre projet comportant une seule voie).

-Le type de traverse utilisé.

-La valeur de dévers en courbe (maximum).

-L'épaisseur de la couche de ballast.

- **Éléments de l'infrastructure :**

-Les épaisseurs et la désignation de chaque couche.

-Les pentes transversales de chaque couche.

-La pente latérale de la plate-forme.

- **Éléments du talus :**

-La pente de chaque talus.

- **Éléments d'assainissement :**

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

X.2.2 Profil en travers de notre projet d'étude

- La superstructure est constituée de rails UIC-60 espacés de 1435 mm, et de traverses monoblocs reposant sur un ballast d'une épaisseur minimale de 0.30 m.

- Le futur dédoublement de la voie sera du côté droit du projet (sens Bechar-Tindouf). La largeur de la plate-forme est de 8.00 m.

- Le profil en travers type en pleine voie correspondant à un profil pour voie unique, présente une largeur de plateforme de 8.00 m, que ce soit en déblais ou en remblai. Ce profil est asymétrique avec une largeur de 4.70 m à gauche et de 3.30 m à droite, mesurées à partir de l'axe de la voie.
- L'infrastructure est constituée d'une couche de sous ballast de 20cm et une couche de fondation de 20cm avec une couche de forme d'une épaisseur de 35cm.
- Pente latérale de la plate-forme : 4%.
- Pente latérale de la couche du ballast : 3H/2V.
- Les pentes de talus : En déblais : 1H/1V si $H \leq 6m$ et en remblais 3H/2V si $H \leq 8m$

Remarque

Lors d'un raccordement en pleine courbe, les épaisseurs de toutes les couches, à l'exception du ballast, resteront fixes. Pour obtenir le dévers requis, l'épaisseur du ballast sera augmentée.

X.3 Calcul des cubatures

Les cubatures de terrassement représentent les variations des volumes de déblais et de remblais nécessaires pour obtenir une surface uniforme et parallèle à la ligne de projet. Les éléments permettant de déterminer ces variations sont les suivants :

- Le profil en long
- Le profil en travers

- La distance entre les profils

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

Tableau X-1: Cubatures de terrassement

Volume de remblai (m3)	Volume de déblai (m3)
48299.21	291755.56

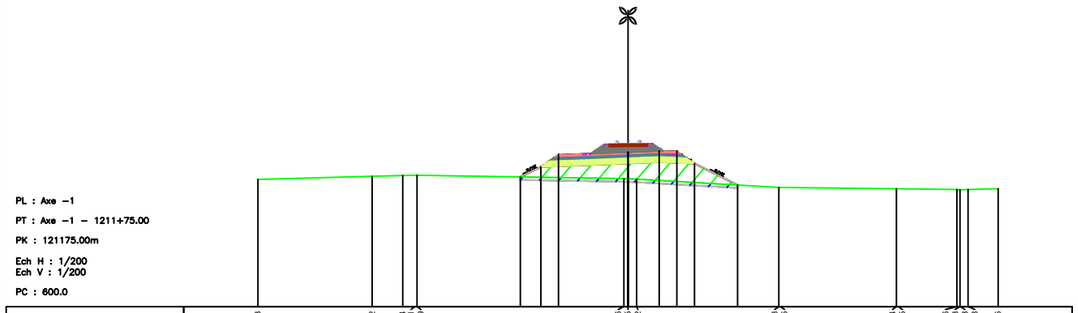
Tableau X-2: Cubatures de la couche d'assise

Nature	Ballast	Sous-ballast	Couche de fondation	Couche de forme
Volume (m3)	20500.13	15446.90	16632.08	31957.99

X.4 Conclusion

Les profils en travers sont essentiels pour garantir la précision de la planification et de l'exécution des projets d'infrastructure. Ils permettent de concilier les impératifs de sécurité, d'efficacité économique et de durabilité.

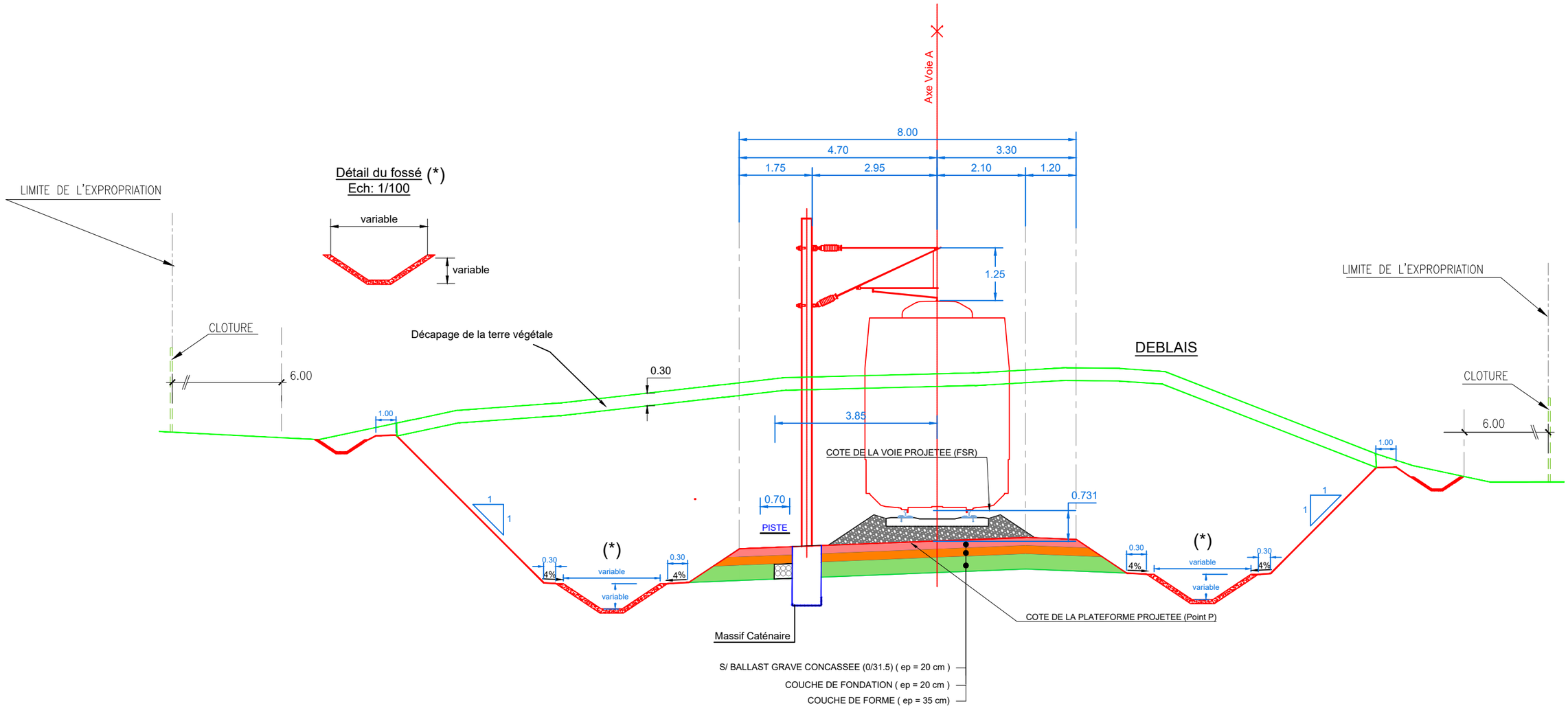
REMBLAI


PL : Axe –1
PT : Axe –1 – 1211+75.00
PK : 121175.00m
Ech H : 1/200
Ech V : 1/200
PC : 600.0

| | | |

PROFIL EN TRAVERS TYPE
PLATEFORME A VOIE UNIQUE -Déblai-
ECH : 1/100

NB:
(**): L'épaisseur de décapage de la terre végétale est déterminée a partir des sondages carottés réalisés dans la campagne géotechnique.
(*): voir details du fossé dans le lot assainisement.



enstp
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES TRAVAUX PUBLICS

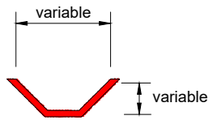
Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz
Tel : (023) 70 19 04 E-mail : enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	ANNEE UNIVERSITAIRE
Etude en APD de la nouvelle ligne minière à voie unique Béchar -Tindouf - Gara Djebilet du PK113+000 au PK120+650 avec la conception d'une gare d'accroissement avec une voie d'évitement	GRINE NAILA	SERIDJI WIDAD	1/100	1/4	2024 / 2025

PROFIL EN TRAVERS TYPE
PLATEFORME A VOIE UNIQUE GRAND Déblai > 6m
ECH : 1/100

NB:
(**): L'épaisseur de décapage de la terre végétale est déterminée a partir des sondages carottés réalisés dans la campagne géotechnique.
(*): voir details du fossé dans le lot assainissement.

Détail du fossé (*)
Ech: 1/100



enstp
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES TRAVAUX PUBLICS

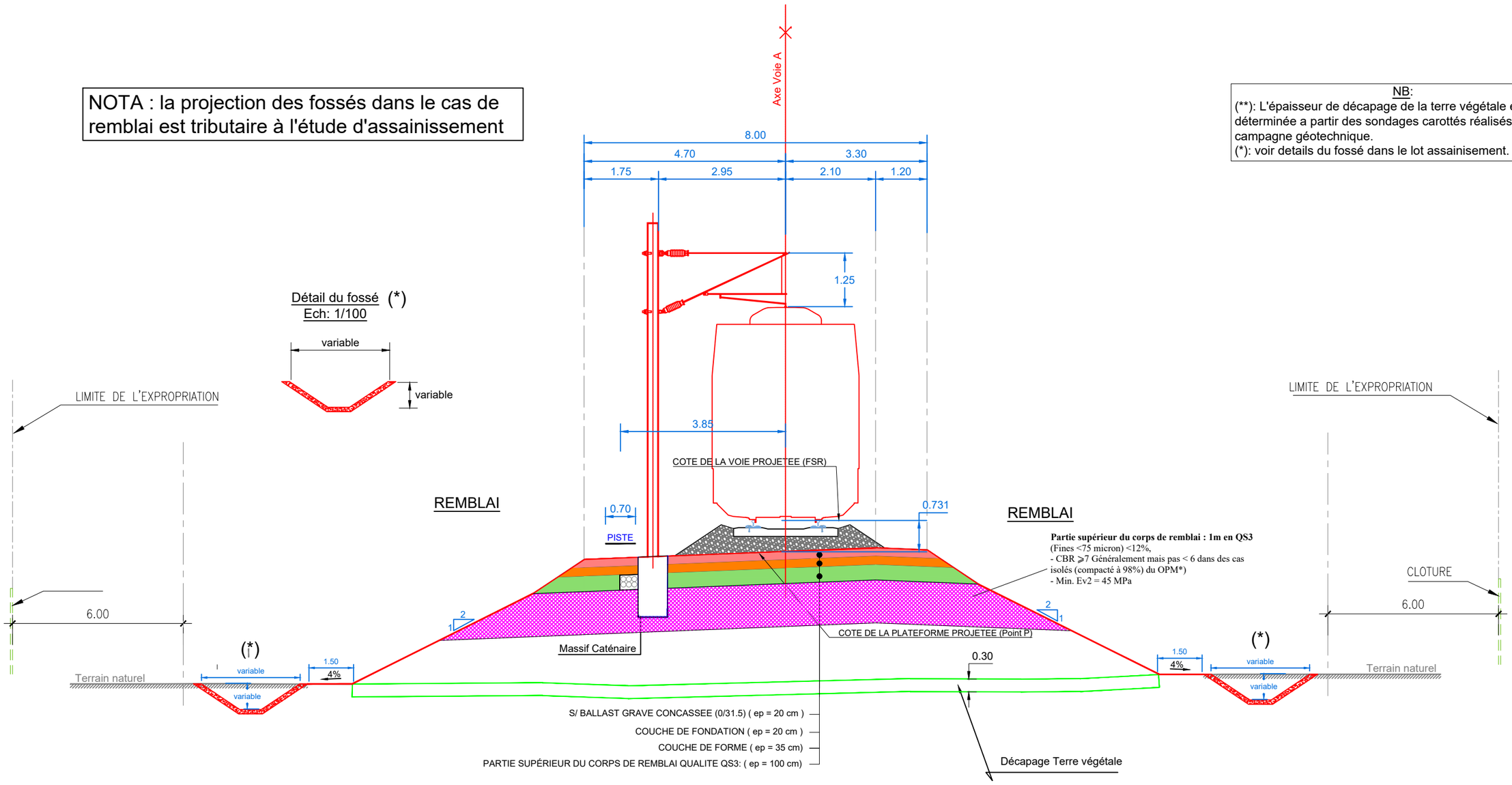
Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz
Tel : (023) 70 19 04 E-mail : enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	ANNEE UNIVERSITAIRE
Etude en APD de la nouvelle ligne minière à voie unique Béchar -Tindouf - Gara Djebilet du PK113+000 au PK120+650 avec la conception d'une gare d'accroissement avec une voie d'évitement	GRINE NAILA	SERIDJI WIDAD	1/100	2/4	2024 / 2025

PROFIL EN TRAVERS TYPE
PLATEFORME A VOIE UNIQUE -Remblai-
ECH : 1/100

NOTA : la projection des fossés dans le cas de remblai est tributaire à l'étude d'assainissement

NB:
(**): L'épaisseur de décapage de la terre végétale est déterminée a partir des sondages carottés réalisés dans la campagne géotechnique.
(*): voir details du fossé dans le lot assainisement.



ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES TRAVAUX PUBLICS

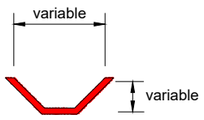
Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz
Tel : (023) 70 19 04 E-mail : enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	ANNEE UNIVERSITAIRE
Etude en APD de la nouvelle ligne minière à voie unique Béchar -Tindouf - Gara Djebilet du PK113+000 au PK120+650 avec la conception d'une gare d'accroissement avec une voie d'évitement	GRINE NAILA	SERIDJI WIDAD	1/100	3/4	2024 / 2025

PROFIL EN TRAVERS TYPE
PLATEFORME A VOIE UNIQUE GRAND Remblai > 8m
ECH : 1/100

NOTA : la projection des fossés dans le cas de remblai est tributaire à l'étude d'assainissement

Détail du fossé (*)
Ech: 1/100



NB:
(**): L'épaisseur de décapage de la terre végétale est déterminée a partir des sondages carottés réalisés dans la campagne géotechnique.
(*): voir details du fossé dans le lot assainissement.

enstp
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES TRAVAUX PUBLICS

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	ANNEE UNIVERSITAIRE
Etude en APD de la nouvelle ligne minière à voie unique Béchar -Tindouf - Gara Djebilet du PK113+000 au PK120+650 avec la conception d'une gare d'accroissement avec une voie d'évitement	GRINE NAILA	SERIDJI WIDAD	1/100	4/4	2024 / 2025

Chapitre XI : CONCEPTION DE LA GARE

Chapitre XI : CONCEPTION DE LA GARE

XI.1 Introduction

Dans le cadre de l'aménagement ferroviaire de la ligne de la nouvelle ligne minière à voie unique Béchar -Tindouf - Gara Djebilet du PK113+000 au PK120+650, il est prévu la réalisation d'une gare technique de type PCVE (Point d'accroissement avec une voie d'évitement) au PK 110+855, située entre les points kilométriques 109+485 et 112+225. Cette infrastructure constitue une composante essentielle de la régulation du trafic sur une voie unique

XI.2 Objectifs de la gare PCVE

Objectifs principaux de conception sont comme suit :

- Permettre le croisement des trains Une gare de croisement permet à deux trains circulant en sens opposé sur une voie unique de se croiser en toute sécurité
- Assurer une capacité suffisante pour l'évitement La voie d'évitement doit être suffisamment longue pour accueillir un train entier, y compris les plus longs susceptibles d'emprunter la ligne.
- Améliorer la régularité du trafic En facilitant le croisement des trains, on réduit les temps d'attente et les risques de retard
- Optimiser l'exploitation ferroviaire Elle permet de mieux gérer les horaires et les croisements, particulièrement sur les lignes à forte densité de trafic
- Préparer l'avenir La conception doit aussi anticiper les évolutions possibles (augmentation du trafic, électrification, doublement de voie).

XI.3 Aménagement de la gare

XI.3.1 Marge de glissement à l'aval des signaux :

La marge de glissement est la section de voie située dans le prolongement d'un parcours du train à l'aval d'un signal fermé, sur laquelle aucune autre circulation de train n'est autorisée. Elle a pour but de minimiser les conséquences d'un accident et même, en cas d'interdiction d'occupation d'éviter une collision lorsqu'un train n'a pas pu être arrêté avant cette marge. Les longueurs de la marge de glissement sont définies selon la norme UIC 739 comme suit :

-LG = 200m pour $V \geq 60$ km/h.

-LG = 100m pour $40\text{km/h} \leq V \leq 60$ km/h.

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

XI.3.2 Garage franc :

De part et d'autre de la voie de stationnement, il marque la partie de voie à occuper par les véhicules garés. Le garage franc est implanté par rapport au cœur de l'appareil de voie à une distance GF qui positionne l'élément.

GF= 3.57 × N + 1 avec N= tan(α). N : varie selon l'ouverture de l'appareil de voie.

XI.3.3 La longueur utile d'une voie de stationnement :

C'est la longueur nécessaire permettant au train de se stationner sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisines. La longueur utile est la distance séparant deux garages francs.

Les valeurs de la longueur utile sont représentées dans la norme SNTF (aménagement et gare et tracé des voies).tel que :

-La longueur utile minimale est : 2400 m.

XI.3.4 Heurtoir :

Matérialise la fin d'une voie de garage ou de sécurité. Les heurtoirs sont placés aux extrémités des voies pour éviter que les véhicules en mouvement continuent leur chemin en dehors de la voie, conçue pour absorber l'énergie cinétique des trains qui les heurtent par l'intermédiaire des tampons.

XI.4 Caractéristiques géométriques de PCVE

XI.4.1 Déclivité dans les gares :

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

XI.4.2 Les appareils de voie

L'exploitation des voies ferrées exige des dispositifs de liaison et d'intersection des itinéraires, que l'on désigne appareils de voie. Appareil de voie c'est un dispositif de guidage permettant le passage d'une voie à une autre, en assurant la continuité des voies par extension. L'appareil de voie se compose de trois parties : aiguillage, la partie intermédiaire et partie cœur (croisement). Les appareils de voie comprennent :

-Les branchements simples.

-Les traversées.

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

XI.4.2.1 Désignation des appareils de voie

Les appareils de voie se distinguent par :

- Leur type : aiguillage simple, branchement double, (T.J.S), (T.J.D).
- Le type de rail.
- Le rayon.
- La tangente : c'est-à-dire l'angle forme par la tangente dans l'axe de la courbe, au talon d'aiguille et l'axe de la voie directe, exprime par le rapport d'inclinaison des deux axes l'un par rapport à l'autre (1 :9, 1 :12, 1 :18. 5, Etc.).
- Le type de lame (articulé, élastique ou flexible).
- Le type de traverses (en bois, acier ou béton).
- Le type de cœur de croisement (pointe élastique).

XI.5 Application à notre Projet :

XI.5.1 Localisation et configuration

-Tronçon concerné : PK 109+485 au PK 112+225

-Centre de la gare : PK 110+855 (Axe PCVE N°04)

-Pente longitudinale : 0 ‰ (zone de gare à profil plat)

-Entraxe entre les voies : 5.00 mètres

XI.5.2 Composition des voies

-Voie principale A : Longueur utile 2610 ml

-Voie d'évitement B : Longueur utile 2417 ml

-Voie de croisement (n°4) : Longueur utile 2360 ml

XI.5.3 Appareils de voie

Les aiguillages utilisés sont du type UIC 60E1 1/9 et UIC 60 E1 1/12 adaptés aux lignes à trafic important :

Tableau XI-1 appareils de changement de voie

Appareil	Coordonnées (X, Y)	Type	PK
1	X=2121242.326 Y=1989751.071	UIC 60-500 1/12 déviation à droite	PK 109+485 (P03)
2	X=2121202.948 Y=1989739.410	UIC 60-200 1/9 déviation à droite	PK 109+596 (P08)
3	X=2121061.790 Y=1989682.015	UIC 60-200 1/9 déviation à droite	PK 109+674(P12)
4	X=214592.564 Y=3200740.504	UIC 60- 500 1/12 déviation à gauche	PK 112+225.00
5	X=214491.464 Y=3200692.995	UIC 60- 300 1/9 déviation à gauche	PK 112+050.00
6	X=214421.164 Y=3200658.310	UIC 60- 300 1/9 déviation à gauche	PK 112+113.50

XI.5.4 Rayon de courbure

Une courbe principale, référencée C2, assure la liaison entre deux alignements droits :

- Rayon de courbure : 500 m

Tableau XI-2 : Les coordonnées de courbe C1

Courbe	pts	COORDONNEES		Rayon
		X(m)	Y(m)	
C1	OC1	214538.364	3200714.393	500.00
	FC1	214500.695	3200696.839	

Tableau XI-3:Les coordonnées de courbe C2

Courbe	pts	COORDONNEES		Rayon
		X(m)	Y(m)	
C2	OC2	X=212119.763	Y=3199707.410	500.00
	FC2	X=212158.760	X=3199721.776	

XI.5.5 Garages francs

Pour les garages francs six ont été installée au niveau de chaque appareil de voie ADV (GF 01, GF03, GFO4, GF05, GF06, GF08) implantés selon des coordonnées précises pour les besoins

Tableau XI-4 : Les coordonnées de garage francs GFO1 GFO3 GFO4

N°	X(m)	Y(m)	PK(m)
GF01	X=214533.590	Y=3200713.983	112+160.23
GF03	X=314446.246	Y=3200672.175	112+063.78
GF04	X=214466.381	Y=3200679.130	112+085.02

Tableau XI-5 : Les coordonnée de garage francs GFO5 GFO6 GFO8

N°	X(m)	Y(m)	PK(m)
GF05	X=212195.498	Y=3199733.650	109+625.00
GF06	X=212214.624	Y=3199743.041	109+653.56
GF08	X=212123.418	Y=3199710.51	109+550.00

XI.5.6 Intérêt fonctionnel et stratégique

Cette gare est conçue pour :

- Accueillir des trains longs, compatibles avec les standards logistiques modernes.

- Permettre un croisement optimisé sans contrainte de temps, même dans un système à voie unique.

- Renforcer la sécurité en maintenant une pente nulle.

- Préparer une future montée en charge de la ligne (trafic fret ou passagers).

XI.6 Assainissement

Pour assurer l'assainissement au niveau des gares ferroviaires, à la gare de PCVE, on a réalisé un système de drainage.

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

XI.6.1 Assainissement longitudinale

Pour assurer un bon drainage longitudinal de la plateforme qui sera réalisé avec des fossés trapézoïdaux

XI.6.2 Assainissement transversal

Assainissement des entrevoies qui sera réalisé avec des drains perforé qui seront connecté par des regards visitable. Les drains disposés longitudinalement avec des pentes de 4‰ permettent de recueillir les eaux de ruissellement qui s'infiltrent dans le ballast et la plate-forme et les évacuer vers le réseau d'assainissement via les regards de visite.

XI.6.3 Eléments de drainage

XI.6.3.1 Fossés

En général on peut distinguer un type des caniveaux en fonction de la situation relative par à la plateforme

-Fossé de pied de remblai :

Le fossé pied de remblai, est toujours placé en terrain contigu collectant les eaux de ruissellement de l'impluvium de la plateforme pour les diriger vers l'exutoire et aussi la collecte et la canalisation des eaux de ruissèlement du terrain naturel pouvant s'infiltrer dans le corps. Des remblais vers un ouvrage de traversée On a conçu un type des caniveaux de forme trapézoïdale revêtus de dimensions de 0.5 à 1.5 m de largeur et de 0.5m à 1.0m de hauteur.

-(T150*50*50).
-(T200*100*50).
-(7300*100*100).

XI.6.3.2 Drain perforé

Des conduites en PVC perforé du diamètre de 300 mm assure l'évacuation des eaux entre-voies, le drain est perforé dans la partie supérieur pour permettre le passage des eaux, ils doivent assurer l'évacuation des eaux sur 80 % de leur surface. Le système de drainage des entre-voies consiste en mise en place des regards de 1,00m x 1.00m, espacés de 50 m le long de la tranchée drainante permettent l'inspection et l'entretien du drain, des collecteurs en béton armée collecte les eaux du drain vers un exutoire naturel.

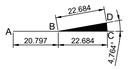
XI.7 Conclusion

La gare PCVE au PK110+855, grâce à ses équipements modernes et ses dimensions généreuses, constitue un atout logistique majeur du projet ferroviaire. Elle assure non seulement la fluidité des circulations, mais permet aussi une exploitation optimale des ressources ferroviaires, en offrant des solutions de régulation et de stationnement sans interruption du service.

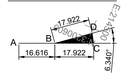
PCVE N°04
DU PK 109+485 AU PK 112+225

VERS HAMAGUIR

APPAREILS DE VOIE 1/12



APPAREILS DE VOIE 1/9



COORDONNES DES GARAGES FRANC

N°	X (m)	Y(m)	PK(m)
GF01	X=214533.590	Y=3200713.983	112+160.23
GF03	X=214446.246	Y=3200672.175	112+063.78
GF04	X=214466.381	Y=3200679.130	112+085.02

COORDONNES DES HAURTOIRES

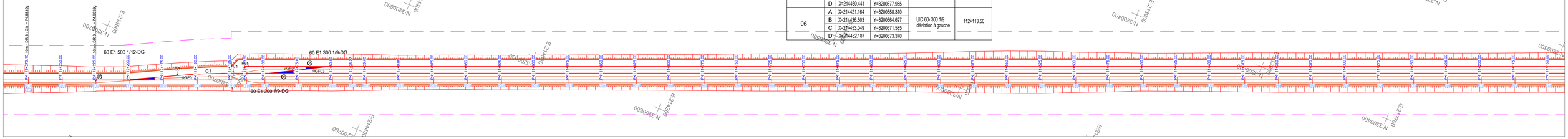
N°	X (m)	Y(m)	PK(m)
H01	X=214494.784	Y=3200688.962	112+115.015

CARACTERISTIQUE DES COURBES DE VOIE

COURBE	Pts	COORDONNEES X(m)	COORDONNEES Y(m)	RAYON
C1	OC1	X=214538.364	Y=3200714.393	500.00
	FC1	X=214500.695	Y=3200696.839	

COORDONNES DES APPAREILS DE VOIES

APPAREILS		COORDONNEES X(m)	COORDONNEES Y(m)	TYPE D'APPAREIL	PK (m)
04	A	X=214592.564	Y=3200740.504	UIC 60- 500 1/12 déviation à gauche	112+225.00
	B	X=214573.364	Y=3200732.511		
	C	X=214552.423	Y=3200723.792		
	D	X=214553.219	Y=3200722.083		
05	A	X=214491.464	Y=3200692.995	UIC 60- 300 1/9 déviation à gauche	112+050.00
	B	X=214476.124	Y=3200686.609		
	C	X=214459.579	Y=3200679.720		
	D	X=214460.441	Y=3200677.935		
06	A	X=214421.164	Y=3200658.310	UIC 60- 300 1/9 déviation à gauche	112+113.50
	B	X=214436.503	Y=3200664.697		
	C	X=214453.049	Y=3200671.585		
	D	X=214452.187	Y=3200673.370		



COORDONNES DES APPAREILS DE VOIES

APPAREILS		COORDONNEES X(m)	COORDONNEES Y(m)	TYPE D'APPAREIL	PK (m)
03	A	X=212242.130	Y=3199751.071	UIC 60- 500 1/9 déviation à droite	109+674.92
	B	X=212226.790	Y=3199744.685		
	C	X=212210.245	Y=3199737.796		
	D	X=212209.586	Y=3199739.665		
02	A	X=212167.892	Y=3199725.619	UIC 60- 300 1/9 déviation à droite	109+596.69
	B	X=212183.334	Y=3199732.006		
	C	X=212199.877	Y=3199738.895		
	D	X=212200.536	Y=3199737.025		
01	A	X=212063.048	Y=3199687.342	UIC 60- 300 1/12 déviation à droite	109+485.99
	B	X=212082.247	Y=3199695.336		
	C	X=212103.189	Y=3199704.055		
	D	X=212103.841	Y=3199702.286		

CARACTERISTIQUE DES COURBES DE VOIE

COURBE	Pts	COORDONNEES X(m)	COORDONNEES Y(m)	RAYON
C2	OC2	X=212119.763	Y=3199707.410	500.00
	FC2	X=212158.760	Y=3199721.776	

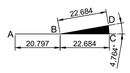
COORDONNES DES HAURTOIRES

N°	X (m)	Y(m)	PK(m)
H02	X=212168.510	Y=3199720.420	109+595.17

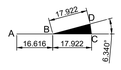
COORDONNES DES GARAGES FRANC

N°	X (m)	Y(m)	PK(m)
GF05	X=212195.498	Y=3199733.650	109+625.00
GF06	X=212214.624	Y=3199743.041	109+653.56
GF08	X=212123.418	Y=3199710.510	109+550.00

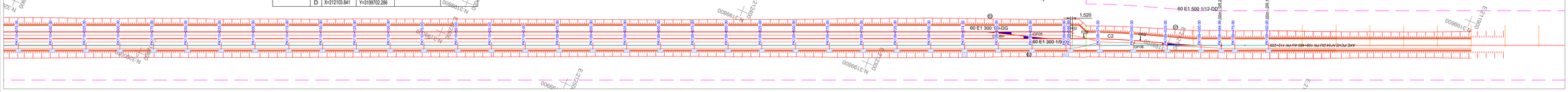
APPAREILS DE VOIE 1/12

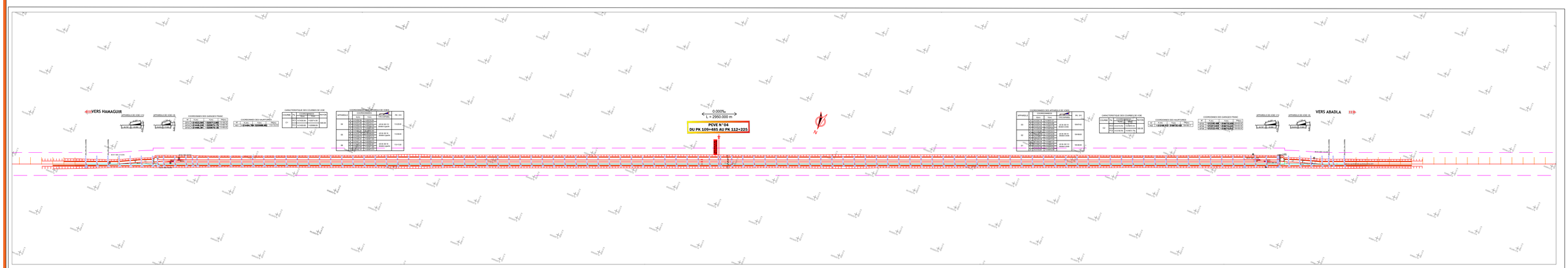


APPAREILS DE VOIE 1/9



VERS ABADLA





ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Built and Ground Works Engineering

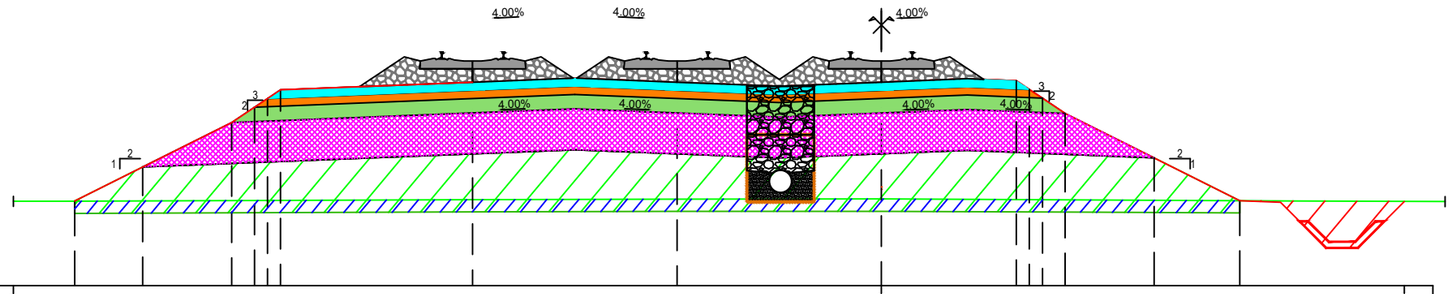
Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz
Tel : (023) 70 19 04 E-mail : enstp@enstp.edu.dz

projet de fin d'étude	Réalisé par	encadré par	Echelle	N°Planche	Annnée universitaire
Etude en APD de la nouvelle ligne minière à voie unique Béchar -Tindouf - Gara Djebilet du PK113+000 au PK120+650 avec la conception d'une gare d'accroissement avec une voie d'évitement	GRINE NAILA	SERIDJI widad	1 / 100	6	2024 / 2025

PCVE N°04
DU PK 109+485 AU PK 112+225

Abscisse : PK110+855.000
Echelle des longueurs : 1/150
Echelle des altitudes : 1/150
Dévers = 0 mm

Ballast *PST*
Sous-ballast *Deblai*
Fondation *Remblai*
Forme *Décapage*



PC : 598.000 m

| | | |

Chapitre XII : SIGNALISATION FERROVIARE

Chapitre XII : SIGNALISATION FERROVIAIRE

XII.1 Introduction

La signalisation ferroviaire regroupe l'ensemble des signaux conventionnels et des équipements techniques du réseau ferré conçus pour assurer la sécurité des usagers du rail et d'en diminuer les conséquences. Elle est gérée depuis différents postes d'aiguillage répartis sur l'ensemble du réseau ferré.

XII.2 Objet de la signalisation ferroviaire

La signalisation ferroviaire a pour objectif principal d'assurer la sécurité et la régularité de la circulation des trains.

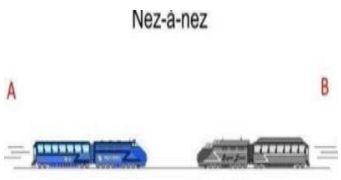
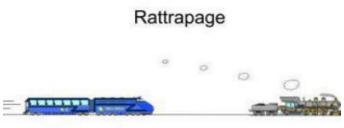
Elle permet de réguler le trafic, éviter les collisions, guider les conducteurs et prévenir tout incident en leur fournissant des informations claires sur l'état des voies, les vitesses autorisées ou les conditions particulières de circulation.

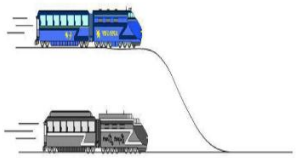
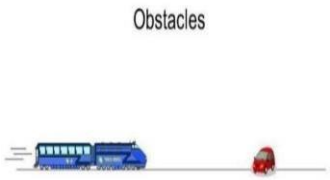
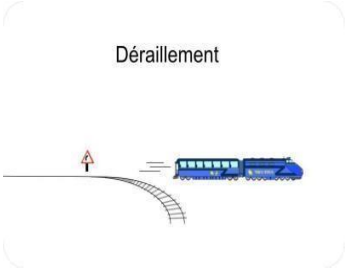
Elle repose sur un ensemble de signaux visuels, sonores ou lumineux, fixes ou automatiques, qui constituent un véritable langage entre l'infrastructure ferroviaire et le conducteur du train.

XII.3 Les principaux risques ferroviaires

Assurer la sécurité des trajets en train que ce soit pour les marchandises ou les passagers est une priorité absolue. Les signaux sur les voies sont vitaux pour guider les techniciens et réduire les risques d'accidents. Dans le tableau ci-dessous, nous examinerons les principaux risques liés au transports ferroviaires.

Tableau XIII-0-1: Les principaux risques ferroviaires

Risque	Configuration	Conséquence
Nez à nez		Il s'agit d'une collision frontale entre deux trains quand ils se retrouvent face à face sur la même voie. Ce risque est pris en charge par les enclenchements.
Rattrapage		C'est le risque de collision par l'arrière lorsqu'un train percute un autre train qui se trouve devant lui. Ce risque est pris en charge par les cantonnements.

La prise en écharpe		Collision latérale entre deux trains qui se produit à une intersection ou à une jonction de voies. Ce risque est pris en charge par les enclenchements internes au poste d'aiguillage (enclenchement d'itinéraires, enclenchement de transit).
La collision avec un obstacle		C'est le risque de rencontre avec un obstacle non ferroviaire (rocher, animal, véhicule…) par exemple le risque de collision sur un passage à niveau entre un train et une voiture. Ce risque est pris en charge par des dispositifs d'annonce des trains
Le déraillement		Incident ou accident dans lequel un véhicule ferroviaire sort des rails, totalement ou partiellement et dont l'origine peut être diverse (l'excès de vitesse, la manœuvre d'un appareil de voie au passage du train, une panne du système d'aiguillage ou au mauvais état de la voie ou du matériel roulant).

Remarque : Le risque de déraillement est pris en charge par la limitation de vitesse, par des systèmes de surveillance des chargements et de la température des boîtes d'essieux.

XII.4 Implantation des signaux en Algérie

En Algérie, la signalisation ferroviaire se divise en deux grandes catégories : les feux et les panneaux.

Les panneaux en particulière sont généralement implantés à gauche de la voie, conformément au sens habituel de circulation des trains, qui roulent à gauche.

Cependant, dans certains cas spécifiques, lorsque l'implantation à gauche s'avère impossible (par exemple à cause d'un obstacle ou d'un manque d'espace), les signaux peuvent être exceptionnellement placés à droite.

Ce positionnement respecte des normes précises afin de garantir leur visibilité optimale pour les conducteurs. Cette disposition permet une lecture claire et cohérente des indications, essentielle pour la sécurité et la fluidité du trafic ferroviaire.

XII.5 Principe da signalisation ferroviaire

La signalisation ferroviaire comprend une variété de signaux, chacun ayant des fonctions spécifiques :

- Signalisation d'arrêt : Elle indique aux conducteurs de train qu'ils doivent s'arrêter complètement avant de continuer leur trajet.
- Signalisation de limitation de vitesse : Elle informe les conducteurs de train de la vitesse maximale autorisée sur une portion particulière des voies.
- Signalisation de direction : Elle oriente les conducteurs de train en leur indiquant la voie à suivre ou les changements de direction à effectuer.

Chaque type de signalisation comporte en général une phase d'annonce suivie d'une phase de rappel ou d'exécution, assurant ainsi une transmission claire des instructions aux conducteurs. Certains signaux lumineux peuvent rester éteints en temps normal et ne s'activent que dans des situations particulières, comme l'approche d'un train.

XII.6 Les différents types de blocs ferroviaires

Les systèmes de bloc sont des dispositifs essentiels pour assurer la sécurité et la régulation du trafic sur les voies ferrées. Ils permettent d'éviter les collisions en contrôlant la circulation des trains grâce à la séparation des itinéraires en sections appelées cantons. Voici les principaux types de blocs utilisés :

- **Le block manuel (BM) :** le block manuel est utilisé principalement sur les lignes à faible trafic. Il repose sur la communication téléphonique entre les postes d'aiguillage.

Lorsqu'un train quitte une section de voie, le poste d'aiguillage informe manuellement le poste suivant pour libérer le canton.

Ce système, bien que simple et économique, présente des limites en termes de sécurité et de capacité de gestion du trafic, car il dépend entièrement de l'intervention humaine.

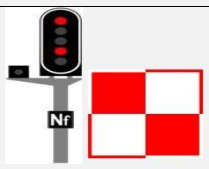
- **Le block automatique à permissivité restreinte (BAPR)** : Le BAPR est adapté aux lignes à trafic moyen. Il fonctionne grâce à des circuits de voie et des signaux automatiques situés aux extrémités de chaque canton. Ces derniers détectent la présence des trains et permettent une régulation semi-automatisée du trafic. Bien que plus sécurisé que le block manuel et moins coûteux que d'autres systèmes, le BAPR peut limiter le débit des trains sur la ligne, en raison de la longueur des cantons et du nombre Restreint de signaux.
- **Le block automatique lumineux (BAL) :** Le BAL est employé sur les lignes à fort trafic. Ce système utilise des signaux lumineux pour indiquer aux conducteurs la présence ou non d'un train dans le canton suivant.

Grâce à des cantons plus courts, le BAL permet une réduction de l'intervalle entre les trains, ce qui améliore considérablement la capacité et la régulation du trafic. Toutefois, ce système est plus coûteux en raison du nombre important de signaux nécessaires.

XII.7 Aspects des signaux

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

Tableau XIII-0-2: Les principaux signaux ferroviaires et leur indication

Signal	Indication	Signalisation lumineuse et mécanique
Signal ouvert voie libre	Le Voie Libre indique au conducteur que la circulation en marche normale est autorisée	
Le feu vert clignotant (VL)	Il commande au Mécanicien de réduire la vitesse à 160 km/h	
Carré fermé + feux de nuit	Le carré commande l'arrêt et ne doit en aucun cas être franchi.	

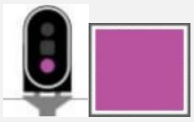
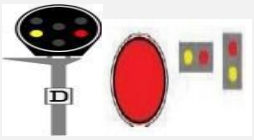
Feu violet ou Carré Violet fermé + feu de Nuit	Commande l'arrêt, il est installé sur les voies de service, son ouverture seule.	
Feu rouge clignotant	Marche sans dépasser la vitesse de 15 km/h au franchissement de ce signal	
Feu blanc	Il commande ou confirme au conducteur l'observation de la marche en manœuvre	
Feu blanc clignotant	Il interdit dans tous les cas le départ en ligne d'un train	
Les feux de heurtoir	Ils servent à repérer de nuit, ou en gare, les heurtoirs de fin de voie	
L'avertissement/feu jaune	Il commande au mécanicien de pouvoir s'arrêter avant les signaux suivants : Carré, sémaphore, carré violet, un rouge clignotant	
Le feu jaune Clignotant (A)	Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal annoncé à distance réduite par le signal suivant.	
Le disque D	Il commande au mécanicien de marquer l'arrêt au premier signal ou aiguillage rencontré	

Tableau 0-3 : Plaque d'identification indication

Plaque d'identification Indication	Plaque d'identification Indication
	Le TIV fixe indique la vitesse à respecter à distance.
	La pancarte indique la sortie de la zone à vitesse limitée (Reprise de vitesse).
	La pancarte indique le point d'arrêt des trains sur le quai concerné (Tête de Train).
	Cette pancarte pour annonce une zone à gabarit limite (pont, tunnel).

XII.8 Principe de base de cantonnement

Le canton est une portion de voie ferrée qui est la base du système permettant l'espacement des trains, ce qui permet d'éviter les rattrapages.

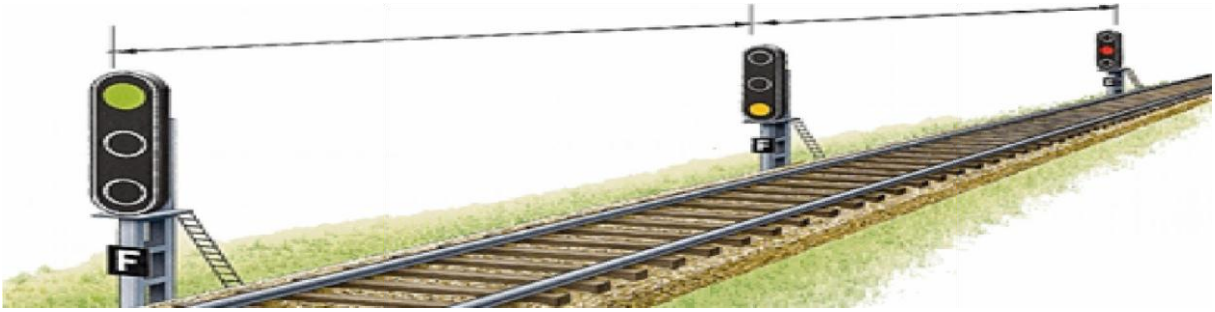


Figure 0-1 : Cantonnement

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.

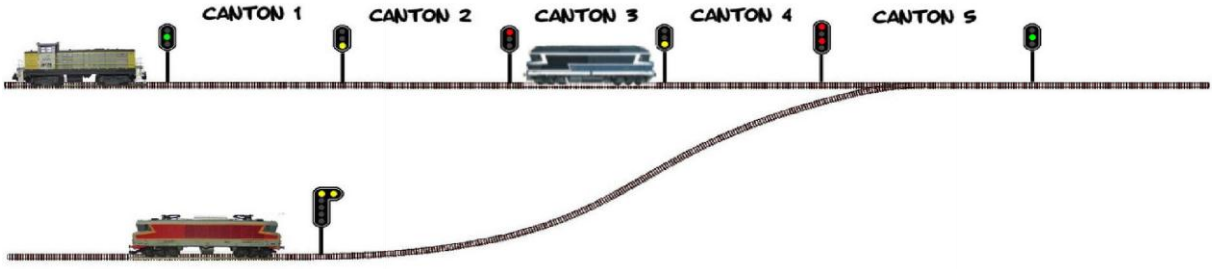


Figure 0-2: Le système de cantonnement

On n'admet que la présence d'un seul train dans un canton donné. Lorsqu'un train entre dans un canton, les essieux du train engendrent un court-circuit entre les deux fils du rail. Cela provoque la fermeture du signal à l'entrée du canton, il présente donc un feu rouge. Lorsque le train pénètre dans le canton suivant, le signal protégeant présente à son tour un feu rouge, alors que le signal du premier canton présente désormais un feu orange. Lorsque le train pénètre dans le troisième canton, le signal le protégeant donne l'indication feu rouge. Le signal du second canton donne l'indication feu jaune, et le signal du premier canton donne désormais l'indication voie libre. (Feu vert). Pour ce type de signalisation, il n'y a donc pas d'intervention humaine.

XII.9 Système de contrôle et de protection ERTMS

Européen Railways Traffic Management System signifie en Français système européen de la gestion de la circulation ferroviaire. C'est un système de contrôle et de commande Assurant un trafic ferroviaire standardisé et interopérable.

XII.9.1 Les fonctions d'ERTMS

ERTMS assure les fonctions suivantes :

- Contrôler l'aspect de la signalisation latérale par la balise standard qui communique avec un autre système à bord de train.
- Donner l'autorité de déplacement jusqu'au prochain système de signalisation latérale en basant sur le principe de blocage fixé.
- Transformer les informations de signalisation latérale à travers l'Unité de contrôle latéral (LEU) afin de transmettre par la balise jusqu'au train.
- Permet au train de transmettre via une antenne sa position et sa vitesse de façon continue à n'importe quel moment.
- Protection des trains : Communication discontinue voie-train via les balises

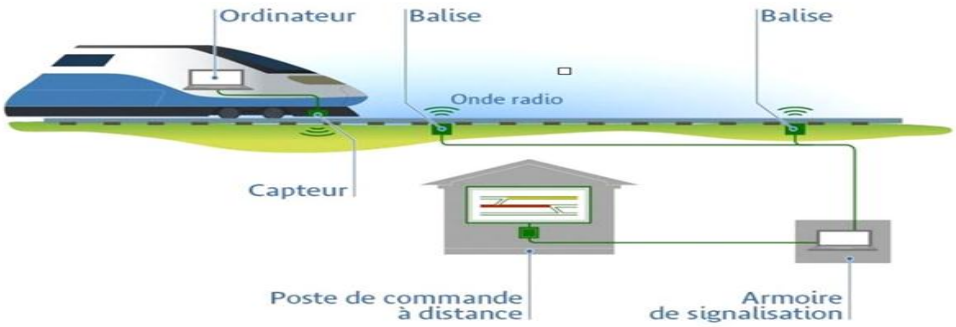


Figure 0I-0-3: Le système ERTMS

XII.10 Système de signalisation proposé pour notre projet

Dans le cadre de notre projet ferroviaire, plusieurs choix techniques ont été retenus afin d'assurer la sécurité, la fluidité du trafic et la conformité aux standards modernes en matière de signalisation.

- **Vitesse de conception :** La ligne a été conçue pour permettre une vitesse maximale de 160 km/h pour les trains de voyageurs et 70 km/h pour les trains de marchandises, en tenant compte des spécificités de l'infrastructure et des exigences d'exploitation.
- **Signalisation en gare :** Les gares seront équipées de signaux lumineux latéraux, facilitant la visibilité pour les conducteurs et assurant un contrôle efficace des mouvements ferroviaires.
- **Système de protection des trains :** Le projet intègre le système ERTMS/ETCS niveau 1, permettant une supervision continue de la vitesse des trains et garantissant un haut niveau de sécurité dans l'exploitation.
- **Détection des trains :** La détection des circulations sera assurée par des compteurs d'essieux, une technologie fiable et adaptée aux conditions variées de la voie.
- **Commande centralisée :** La gestion de la ligne sera assurée par des Postes de Commande Centralisée (PCC). Chaque zone d'enclenchement disposera également d'un poste local autonome, avec un code PCC attribué à chaque gare pour une gestion structurée et hiérarchisée.
- **Mode de cantonnement :** Le système retenu est le block automatique lumineux (BAL) sur voie unique, offrant une régulation efficace du trafic même en configuration de voie unique, grâce à des cantons courts et un pilotage précis par signalisation lumineuse.

XII.11 Conclusions

La signalisation ferroviaire constitue un pilier fondamental de la sécurité et de la performance des réseaux de transport ferroviaire. Elle permet de garantir un contrôle rigoureux des circulations, tout en assurant une gestion fluide et optimisée du trafic.

Grâce à des systèmes évolués comme le cantonnement (manuel ou automatique), à la diversité des moyens de signalisation (signaux lumineux, panneaux, tableaux indicateurs), et à l'intégration de technologies modernes telles que l'ERTMS/ETCS, il est aujourd'hui possible de concilier haute sécurité, ponctualité et efficacité opérationnelle.

Ainsi, la signalisation ne se limite pas à prévenir les collisions : elle constitue un véritable outil stratégique pour le développement et la modernisation du transport ferroviaire.

Chapitre XIII : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Chapitre XIII : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XIII.1 Introduction

L'impact des infrastructures sur l'environnement constitue une première étape cruciale de l'évaluation environnementale. Cette étape vise à analyser les effets, qu'ils soient directs ou indirects, des infrastructures sur l'environnement à court, moyen et long terme. L'objectif est d'identifier des solutions permettant d'éliminer, de réduire ou de compenser les impacts négatifs, tout en maximisant les effets positifs du projet sur l'environnement.

XIII.2 Objectifs de l'étude d'impact sur l'environnement

L'étude d'impact sur l'environnement a pour objet :

-D'évaluer de manière méthodique et préalable, les répercussions éventuelles, les effets directs et indirects temporaires et permanents du projet sur l'environnement.

-De poser des mesures contre les répercussions négatives du projet.

-De mettre en valeur et d'améliorer les impacts positifs du projet sur l'environnement.

-D'informer la population concernée sur les impacts négatifs du projet.

XIII.3 Délimitation de la zone d'étude

XIII.3.1 Aperçu général

Abdala est une commune de la wilaya de BECHAR, située à 90 km au sud-ouest de BECHAR et à 150 km au nord-ouest de BENI ABBES.

XIII.4 Description de l'état initial de la zone d'étude

XIII.4.1 Milieu naturel

XIII.4.1.1 L'environnement physique

XIII.4.1.1.1 Climat

La région d'étude présente un climat désertique et extrêmement sec, avec des températures très élevées (température annuelle moyenne > à 18 °C).

XIII.4.1.1.2 Géologie et lithologie

La wilaya de ABADLA se caractérise par une géologie dominée par des formations sédimentaires issues principalement des ères paléozoïques, mésozoïque et cénozoïque. On y retrouve principalement des grès, calcaires, marnes et argiles, témoignant d'un passé marin et continental varié.

XIII.4.1.1.3 Hydrologie et hydraulique

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

XIII.4.1.1.4 Sismologie

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

XIII.4.1.2 L'Environnement Biologique

XIII.4.1.2.1 La flore

Le paysage végétal de la commune d'ABADLA est typique des zones sahariennes du sud-ouest algérien. Il est principalement constitué de formations steppiques et pseudo-steppiques, adaptées aux conditions arides. On y trouve également des zones de dépressions (bas-fonds) où poussent des végétations arbustives et ripicoles, telles que le palmier dattier (dans les oasis) et l'Acacia raddiana, espèce résistante à la sécheresse.

XIII.4.1.2.2 La faune

Dans cette région, deux types de faune se distinguent :

-La faune domestique : Elle est essentiellement constituée de cheptels caprins (chèvres) et camelins (chameaux), avec une forte présence de dromadaires adaptés au milieu désertique.
-La faune sauvage : Elle comprend une variété d'espèces typiques des milieux sahariens : reptiles, scorpions, ainsi que plusieurs mammifères (comme les gazelles et le renard fennec).

XIII.4.2 Milieu humain

XIII.4.2.1 L'Environnement socioculturel

XIII.4.2.1.1 Population et Habitat

La commune d'ABADLA compte une population bien plus réduite comparée à la ville de Béchar. Selon les dernières estimations, elle abrite environ 15 000 à 20 000 habitants, avec une densité de population très faible par rapport à la moyenne de la wilaya. L'habitat est majoritairement traditionnel ou rural, avec des noyaux villageois dispersés.

XIII.4.2.1.2 Agriculture

Dans la commune d'ABADLA, l'activité agricole repose principalement sur la culture oasienne, notamment la palmeraie, et sur l'élevage traditionnel (caprins et camelins). Les terres agricoles sont limitées et réparties autour des zones irriguées, avec la présence de quelques pâturages.

XIII.5 Évaluation des impacts du projet sur l'environnement

Identification des impacts L'identification des impacts du projet est basée sur l'analyse des relations conflictuelles possibles entre le milieu traversé et l'infrastructure à implanter. On doit chercher des aspects et les impacts associés aux phases de pré-construction, de construction et d'exploitation d'une voie ferrée et les différentes composantes du milieu susceptibles d'être affectées.

XIII.5.1 Impacts positifs

Les principaux avantages du mode ferroviaire sont :

-La réduction des temps de transport est une des principales raisons pour laquelle la ligne ferroviaire sera réalisée.

-Le gain de temps est suivi par un gain économique lié aux coûts du transport par rapport au transport par camions.

-De grands volumes peuvent être transportés à la fois et sur de grandes distances.

-La sécurité et l'amélioration des transports de la matière première (fer) après extraction de la mine de Gara Djebilet.

-Sauvegarde de l'environnement par élimination de la consommation de carburants (gasoil). Modernisation des moyens de transport.

XIII.5.2 Impacts négatifs

Ces impacts sont généralement temporaires et peuvent affecter directement ou indirectement la santé de la population ainsi que l'environnement naturel.

Tableau XIII-1: Identification des impacts négatifs du projet

L'élément affectée	Impact
Géologie et géomorphologie	Les principales causes des altérations géologiques et géomorphologiques locales sont les terrassements, l'exploitation de carrières et d'emprunts, la création de décharges et l'occupation de l'espace par l'infrastructure elle-même : augmentation des risques d'instabilité des versants et changements dans la géomorphologie locale.
Sur les eaux superficielles	Le fonctionnement des engins lors des travaux nécessite des carburants, des huiles et des graisses, qui dans le cas de déversement accidentel de ces derniers peuvent causer une contamination des eaux souterraines.
Qualité de l'air	Les gaz d'échappement des engins et des camions, ainsi que les émissions de poussières résultant des matériaux de terrassement de la plateforme, entraîneront une augmentation des odeurs suite aux travaux de débroussaillage, d'excavation, de remblayage et de circulation de machines. De plus, des risques de dispersion accidentelle de produits chimiques.
Parcellaire	Déstructuration du parcellaire : Lors de l'implantation de la ligne, des parcelles peuvent être morcelées (création de petites parcelles) ou peu accessibles, des délaissés peuvent être créés, ces terrains peuvent alors être incultivables ou peu rentables du fait de leurs tailles trop réduites
	La principale nuisance liée au transport ferroviaire est le bruit généré par la circulation des trains. Ce bruit résulte de l'interaction avec l'air

Bruit	ainsi que du contact entre les roues et le rail. La gêne occasionnée est de plus en plus ressentie, notamment dans les zones à forte densité d'habitation, surtout pendant la nuit. Toutefois, la problématique du bruit ferroviaire n'est pas perçue de la même manière dans toutes les régions. Dans le cadre de ce projet, la population exposée au bruit du transport ferroviaire est principalement située à Bechar particulièrement dans les zones proches de la gare.
Les vibrations	La circulation des trains sur une voie ferrée engendre des vibrations qui se propagent par le sol sur des distances relativement importantes. Ces vibrations proviennent principalement de la succession des charges roulantes, des phénomènes de glissement entre les roues et le rail, ainsi que des imperfections géométriques du rail et de la roue.
Végétation et foret	Les principales altérations sur la végétation sont dues aux interventions pendant la phase de réalisation, compte tenu du débroussaillage effectué sur les zones que le tracé occupera, sur les emprunts, les forêts etc. L'ampleur de cette altération dépendra du type de végétation affectée et de la largeur qu'occupera l'infrastructure
Faune	Les impacts de la construction et de la mise en service de la voie ferrée sur la faune sont variés : destruction ou dégradation des biotopes adaptés à la faune, effet barrière, qui entrave les mouvements des animaux en raison des obstacles physiques. Ces contraintes les obligent à fuir, en raison d'altérations causées par le bruit, la pollution et les déchets.

XIII.6 Les mesures prises pour réduire ou compenser les impacts

Les mesures compensatoires se définissent comme l'ensemble des moyens envisagés pour prévenir ou réduire l'importance des impacts sur l'environnement. Cette étude fournie une liste d'actions, dispositifs et modes de gestions alternatifs qui peuvent être appliqués pour prévenir, atténuer ou éliminer les impacts négatifs issus des phases de réalisation et d'exploitation de la nouvelle ligne ferroviaire.

Tableau XIII-2: Les mesures prises pour réduire les impacts

Impact	Mesure dégénération
La faune et la flore	Création des passages à faune : Inférieurs ou supérieurs, ces ouvrages assurent les axes de déplacement des animaux Création des passages pour animaux (Passage à Faune) au PK Re-végétalisation et transplantation d'espèces végétales. Les arbres doivent être déplacé et non pas déboisé.
La population	Réalisation des mures acoustiques (Le mur anti-bruit est un mur extérieur destiné à isoler un espace des nuisances sonores qu'un autre espace induit par son activité. Ou des merlons afin de minimiser l'impact du bruit dans la Phase exploitation Arrosage des pistes lors des travaux afin d'éviter l'envol des poussières qui sont une source de Nuisance pour la santé des travailleurs et des populations riveraines.
Qualité de l'air	Pour diminuer la pollution de l'air à cause de la génération de poussière durant la circulation des camions de transport, engins de terrassements, l'exécution des travaux, etc., il est recommandé l'irrigation des accès et des zones auxiliaires de chantier de façon régulière, surtout, durant la saison sèche de l'année et au cours des jours à vent fort.
Impact sur les eaux superficielles	Drainage et collecte des eaux de ruissellement issues des terrassements dans des bassins de décantation avant rejet dans le cours d'eau. Stockage du carburant, confinement et maintenance du matériel sur des aires aménagées à cet effet. Mise en œuvre d'une toile ou grille de protection dans les secteurs sensibles à l'érosion.

XIII.7 Conclusion

Afin de minimiser les impacts environnementaux liés à la réalisation et à l'exploitation de la ligne ferroviaire, il est impératif d'adopter une approche intégrée fondée sur une planification

rigoureuse, l'application de mesures préventives et correctives, ainsi qu'un suivi régulier permettant d'évaluer l'efficacité des actions mises en œuvre.

Cependant, malgré ces précautions, ce type de projet engendre inévitablement des effets négatifs, parfois irréversibles, sur l'environnement, tant durant la phase de construction que celle de l'exploitation. Ces impacts se traduisent notamment par des perturbations du fonctionnement naturel et urbain telles que la perturbation de la circulation routière, Les entraves aux déplacements des agriculteurs, Ainsi que la gêne occasionnée au déplacement des animaux, qu'ils soient domestiques ou sauvages.

Chapitre XIV : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

N° DES PRIX	DESIGNATIONS	UNITE	QUANTITE Prévu	PRIX UNITAIRE	MONTANT Prévu
LOT 01 : INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER					
1-1	Amenée du matériel et installation générale de chantier	F	1.00	340 000 253.96	340 000 253.96
1-2	Repli du matériel	F	1.00	80 832 626.98	80 832 626.98
1-3	Fourniture et installation de laboratoire de chantier	F	1.00	77 416 313.49	77 416 313.49
1-4	Repliement de laboratoire de chantier	F	1.00	20 138 771.16	20 138 771.16
TOTAL INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER					**518 387 965.59**
LOT 02 : DEGAGEMENT DES EMPRISES					
2-1	Provision pour travaux de dégagement des entreprises (protection ou déviation de réseaux divers)	-	1.00	100 000 000.00	100 000 000.00
2-2	Abattage d'arbres	U	80.00	6 000.00	480 000.00
2-3	Démolition de Construction	M2	900.00	15 000.00	13 500 000.00
TOTAL DEGAGEMENT DES EMPRISES					**113 980 000.00**

LOT 03 : TERRASSEMENTS GENERAUX					
3-1	Décapage de terre végétale	M3	33 478.33	550.00	18 413 081.50
3-2	Déblais meuble	M3	233 404.45	670.00	156 380 980.16
3-3	Déblais rocheux	M3	58 351.11	2 500.00	145 877 780.00
3-4	Traitement des surfaces d'assise des remblais	M2	112 000.00	327.47	36 676 640.00
3-5	Remblai provenant des zones d'emprunt agréent	M3	48 299.21	778.32	37 592 241.13
3-6	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme	M3	31 957.99	3 619.06	115 657 883.29
3-7	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation	M3	16 632.08	3 722.22	61 908 260.82
3-8	Fourniture et mise en œuvre de la couche de sous ballast	M3	15 446.90	3 722.22	57 496 760.12
TOTAL TERRASSEMENTS GENERAUX					**630 003 627.01**

Lot 4 : DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT					
4-1	Fourniture et pose buses en béton armé diamètre 1500mm	ML	235.20	176 479.97	41 508 088.94
4-2 Ouvrage dalots					
4-2-1	Coffrage métallique	M2	2 430.99	2 251.02	5 472 207.11
4-2-2	Acier	KG	87 814.17	351.72	30 885 999.87
4-2-3	Béton classe 25/30 pour dalot	M2	731.79	15 194.39	11 119 102.66
4-2-4	Fossés trapézoïdaux en béton armé Profondeur 0.50 m	ML	5 800.00	13 500.00	78 300 000.00
TOTAL DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT					**167 285 398.58**
Lot 5 : TAVAUX DE VOIE ET DE GARE					
5-1	Fourniture et pose de Ballast	M3	20 500.16	8 000.00	164 001 280.00
5-2	Fourniture des rails neufs UIC 60 (60.34 kg/m)	T	1 200.00	265 000.00	318 000 000.00
5-3	Pose des rails neufs UIC 60 (60.34 kg/m)	ML	20 000.00	8 200.00	164 000 000.00

5-4	Fourniture Traverses monobloc	U	15 152.00	24 000.00	363 648 000.00
5-5	Pose Traverses monobloc	U	15 152.00	13 500.00	204 552 000.00
5-6	Fourniture des appareils de voie simples UIC 60 500-1/12	U	6.00	25 000 000.00	150 000 000.00
5-7	Pose des appareils de voie simples UIC 60-300-1/9	U	6.00	1 000 000.00	6 000 000.00
5-8	Fourniture et Pose de garage franc	U	6.00	266 340.35	1 598 042.10
5-9	Soudage aluminothermique	U	70.00	21 000.00	1 470 000.00
5-10	Soudage électrique	U	1 120.00	19 500.00	21 840 000.00
5-11	Fourniture Attache pour Rail UIC 60	U	30 304.00	1 500.00	45 456 000.00
5-12	Pose Attache pour Rail UIC 60	U	30 304.00	1 500.00	45 456 000.00
TOTAL TRAVAUX DE VOIE ET DE GARE					**1 486 021 322.10**
MONTANT TOTATL DES TRAVAUX				**2 915 678 313.29**	

MONTANT TOTAL EN LETRRE : Deux milliards neuf cent quinze millions six cent soixante-dix-huit mille trois cent treize dinars et vingt-neuf centimes.

Chapitre XV : PLANIFICATION DU PROJET

Chapitre XV : PLANIFICATION DU PROJET

XV.1 Introduction

La réussite d'un projet de construction repose en grande partie sur une organisation de chantier rigoureuse et méthodique. Cette organisation ne se limite pas à l'exécution des travaux, mais englobe une vision globale qui commence bien avant l'arrivée sur le terrain. Elle consiste à planifier, structurer et coordonner l'ensemble des ressources humaines, matérielles et financières, afin de garantir une réalisation efficace, sécurisée et conforme aux délais et aux exigences de qualité.

Une préparation minutieuse en amont permet d'anticiper les imprévus, d'optimiser les coûts et d'assurer une exécution fluide et maîtrisée du projet. Ainsi, une bonne organisation de chantier n'est pas seulement un avantage : c'est une condition indispensable pour le succès de toute opération de construction

XV.2 Objectifs de la planification

La planification d'un chantier a pour but principal d'assurer une exécution fluide, maîtrisée et efficace des travaux. Elle permet de structurer l'ensemble du projet en anticipant chaque étape, tout en tenant compte des contraintes de temps, de budget et de qualité. Parmi les objectifs clés, on peut citer :

Améliorer la rentabilité du projet en optimisant l'utilisation des ressources humaines, matérielles et financières disponibles, et en limitant les pertes de temps ou de matériaux.

Assurer une bonne compréhension des tâches à réaliser, des exigences techniques, des délais et des niveaux de qualité attendus par toutes les parties concernées (entreprises, sous-traitants, maîtrise d'ouvrage, etc.).

Organiser les travaux de manière logique, en suivant un ordre d'exécution cohérent qui permet d'éviter les chevauchements inutiles et d'assurer un enchaînement fluide des activités.

Prévoir les imprévus, en identifiant les risques potentiels à l'avance (retards, problèmes techniques, météo...) et en mettant en place des solutions de rechange (plans de contingence) pour limiter leur impact.

XV.3 Le diagramme de Gantt

Parmi les langages graphiques utilisés dans la planification d'un chantier est le diagramme de GANTT.

Le Diagramme de Gantt est un outil de gestion de projet qui représente les tâches et activités sur une période donnée à l'aide de barres horizontales. Chaque barre correspond à une tâche sa longueur indique sa durée et sa position, son placement dans le temps. Cet outil permet de visualiser les dates de début et de fin de chaque tâche, ainsi que les tâches critiques qui influencent le calendrier global.

Voici les éléments importants à considérer lors de la création d'un planning Gantt :

- Le diagramme de Gantt offre une vue d'ensemble claire du projet, permettant aux membres de l'équipe de comprendre rapidement les étapes et les délais à respecter.
- De plus, il facilite le suivi de l'avancement du projet en comparant les tâches prévues avec celles réalisées, ce qui aide à détecter les retards et à appliquer les corrections nécessaires.
- Enfin, le diagramme de Gantt optimise l'utilisation des ressources en identifiant les périodes de surcharge ou de sous-utilisation, ce qui permet une réaffectation efficace.

XV.4 Résumé de notre projet

Sur notre projet nous avons réalisé le diagramme de GANTT en utilisent le logiciel PRIMAVERA.

Le délai d'exécution du présent projet est arrêté à **129** Jours reparti conformément au planning et qui se résume comme suit :

- L0T 1 INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER Durée : 129 jours (Du 01 juillet au 06 novembre 2025)

Tâches clés : Amène du matériel + installation : lancement du chantier. Installation du laboratoire : indispensable pour le contrôle qualité (béton, granulats, géotechnique). Repliement en fin de projet.

Interprétation : Ce lot représente la mobilisation initiale. Il démarre le tout et reste actif jusqu'à la clôture. La durée longue inclut les opérations de mise en place et repliement. C'est la colonne vertébrale du projet.

- LOT 2 DEGAGEMENT DES EMPRISES Durée : 91 jours (Du 02 juillet au 30 septembre 2025)

Tâches clés : Protection des réseaux, abattage d'arbres, démolition.

Interprétation : C'est une phase préparatoire critique. Elle libère physiquement le terrain pour permettre aux terrassements et aux ouvrages de démarrer.

- LOT 3 TERRASSEMENTS GENERAUX Durée : 60 jours (Du 30 août au 30 octobre 2025)

Tâches clés : Décapage, déblais meubles/rocheux, traitement, couches de forme, couche de fondation, couche de sous-ballast.

Interprétation : C'est le cœur technique du projet. Le terrassement donne la forme géométrique à la voie. Il est fondamental pour garantir la stabilité du rail. Les couches successives assurent la portance et le drainage.

- LOT 4 DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT Durée : 109 jours (Du 05 juillet au 21 octobre 2025)

Tâches clés : Construction de fossés, dalots, ouvrages busés.

Interprétation : Le drainage protège la voie contre l'érosion, l'inondation et garantit sa durabilité. Il est exécuté en parallèle avec le terrassement, donc bonne coordination nécessaire.

- LOT 5 TRAVAUX DE VOIE ET DE GARE Durée : 106 jours (Du 14 octobre au 03 novembre 2025)

Tâches clés : Fourniture de ballast, pose de rails UIC 60, traverses, appareils de voie, soudage aluminothermique et électrique.

Interprétation : C'est la dernière étape visible : le rail est mis en place. Elle nécessite que tout le reste (terrassement, drainage) soit parfaitement achevé. C'est une phase à haute précision où les tolérances géométriques sont très serrées.

-Plusieurs tâches s'enchaînent logiquement :

- Les terrassements doivent précéder les travaux de voie.
- Le drainage est parallèle à certains terrassements.
- La pose des rails commence immédiatement après la fin des terrassements.

Le schéma explicatif de programme proposé est présenté en format A3

XV.5 Conclusion

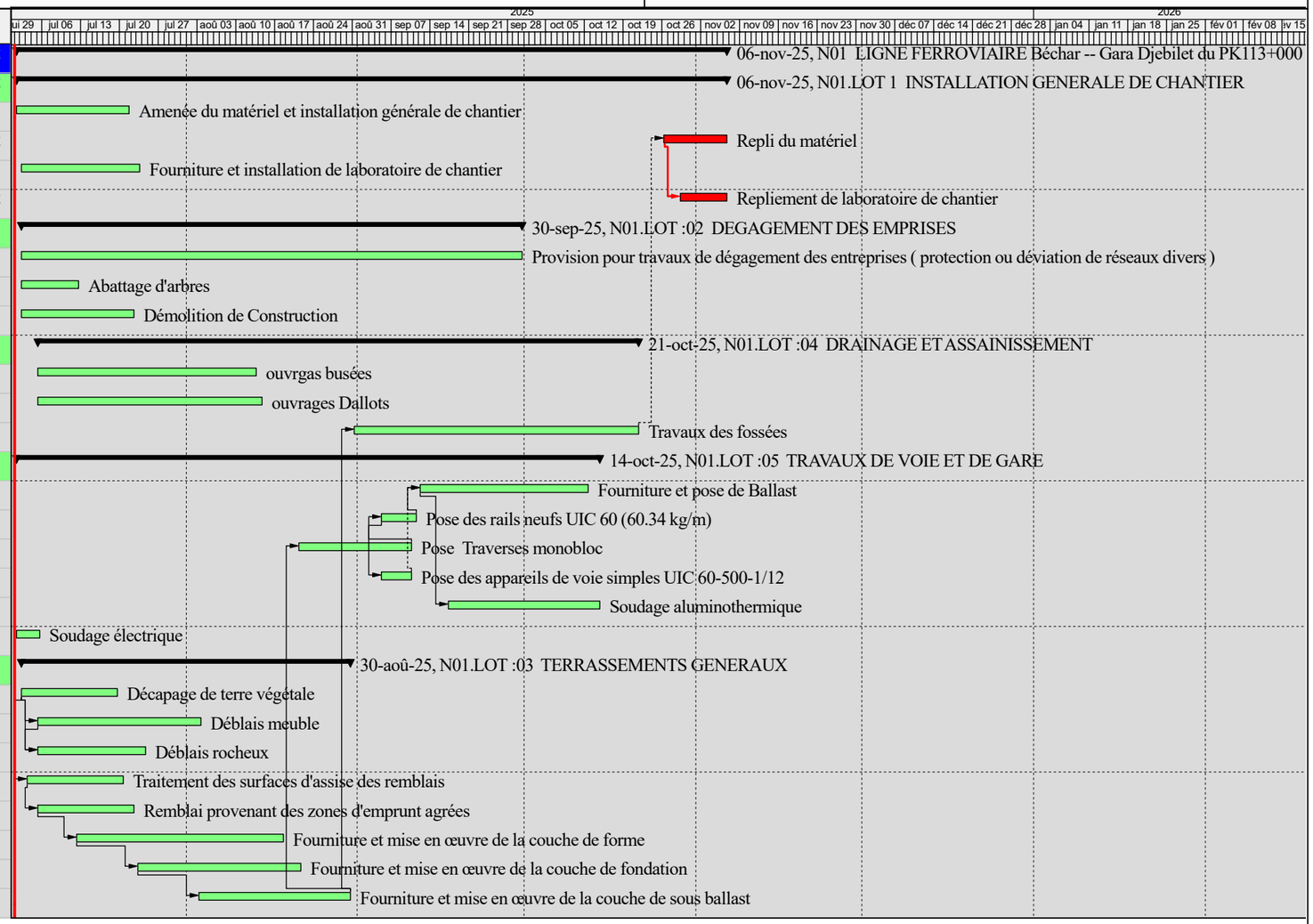
Le planning montre une organisation claire, compacte et bien séquencée des travaux sur une période de 4 mois (juillet à novembre 2025). Le projet semble réaliste et réalisable, avec une bonne gestion des lots.

PROJET DE FIN D'ETUDES:

Etude en APD de la nouvelle ligne minière à voie unique Béchar-Tindouf - Gara Djebilet du PK113+000 au PK120+650 avec la conception d'une gare d'accroissement avec une voie d'évitement

Réalisée par : GRINE Naila

ID tâche	Nom de la tâche	Début	Durée restante	Fin
	N01 LIGNE FERROVIAIRE Béchar -- Gara Djebilet du PK113+000 au PK120+650	01-jul-25	129	06-nov-25
	N01.LOT 1 INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER	01-jul-25	129	06-nov-25
1.(	Amenée du matériel et installation générale de chantier	01-jul-25	21	21-jul-25
1.(	Repli du matériel	26-oct-2	12	06-nov-25
1.(	Fourniture et installation de laboratoire de chantier	02-jul-2:	22	23-jul-25
1.(	Repliement de laboratoire de chantier	29-oct-2	9	06-nov-25
	N01.LOT :02 DEGAGEMENT DES EMPRISES	02-jul-25	91	30-sep-25
2.(	Provision pour travaux de dégagement des entreprises (protection ou dév	02-jul-2:	91	30-sep-25
2.(	Abattage d'arbres	02-jul-2:	11	12-jul-25
2.(	Démolition de Construction	02-jul-2:	21	22-jul-25
	N01.LOT :04 DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT	05-jul-25	109	21-oct-25
4.(	ouvrgas busées	05-jul-2:	40	13-aoû-25
4.(	ouvrages Dallots	05-jul-2:	41	14-aoû-25
4.(	Travaux des fossées	31-aoû-2	52	21-oct-25
	N01.LOT :05 TRAVAUX DE VOIE ET DE GARE	01-jul-25	106	14-oct-25
5.(	Fourniture et pose de Ballast	12-sep-2	31	12-oct-25
5.(	Pose des rails neufs UIC 60 (60.34 kg/m)	05-sep-2	7	11-sep-25
5.(	Pose Traverses monobloc	21-aoû-2	21	10-sep-25
5.(	Pose des appareils de voie simples UIC 60-500-1/12	05-sep-2	6	10-sep-25
5.(	Soudage aluminothermique	17-sep-2	28	14-oct-25
5.(	Soudage électrique	01-jul-25	5	05-jul-25
	N01.LOT :03 TERRASSEMENTS GENERAUX	02-jul-25	60	30-aoû-25
3.(	Décapage de terre végétale	02-jul-2:	18	19-jul-25
3.(	Déblais meuble	05-jul-2:	30	03-aoû-25
3.(	Déblais rocheux	05-jul-25	20	24-jul-25
3.(	Traitement des surfaces d'assise des remblais	03-jul-25	18	20-jul-25
3.(	Remblai provenant des zones d'emprunt agrées	05-jul-25	18	22-jul-25
3.(	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme	12-jul-25	38	18-aoû-25
3.(	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation	23-jul-25	30	21-aoû-25
3.(	Fourniture et mise en œuvre de la couche de sous ballast	03-aoû-2	28	30-aoû-25



Actual Level of Effort
Actual Work
Remaining Work
Critical Remai...
Milestone
summary

ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Built 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**

Année universitaire : 2024/2025

Conclusion générale

Les projets ferroviaires jouent un rôle stratégique essentiel dans le développement économique d'un pays en facilitant la mobilité des biens et des personnes, en stimulant les échanges commerciaux et en renforçant l'intégration régionale.

Notre étude s'est focalisée sur plusieurs aspects essentiels pour la réalisation de ce projet. Nous avons mené des études géométriques approfondies pour déterminer avec précision le tracé du nouveau tronçon en prenant en compte les caractéristiques topographiques de la région étudiée. Des études géologiques et géotechniques ont également été menées pour estimer les conditions du sol et les complications possibles de construction. De plus, des études hydrauliques ont été réalisées pour concevoir les structures nécessaires pour gérer les eaux pluviales et souterraines pour s'assurer de succès et de durabilité du projet.

Différents logiciels comme AutoCAD, CIVIL 3D, InfraWorks et Geo5.0 ont permis de modéliser et simuler différentes parties du projet. Ils nous ont aidé à produire des dessins précis ainsi que des visualisations réalistes pour faciliter la prise de décision en plus d'interagir avec les intervenants.

L'application des règles de l'UIC (Union Internationale des Chemins de fer) et de la SNTF (Société Nationale des Transports Ferroviaires) était une étape incontournable dans le but d'assurer un projet conforme et sécurisé. Toutes nos opérations étaient guidées par ces lignes directrices depuis le premier croquis jusqu'aux plans de construction.

En conclusion L'étude et la conception de la ligne minière ferroviaire pour exploiter la mine de GHAR DJEBILET, couvrant le tronçon du PK 113+000 au PK 122+650 et incluant la gare de PCVE, constituent un projet d'envergure aux répercussions significatives pour le développement industriel de l'Algérie. À travers ce Projet de Fin d'Études, nous avons démontré l'importance d'une planification rigoureuse et d'une approche méthodologique exhaustive pour répondre aux exigences techniques, économiques et environnementales d'un projet ferroviaire de cette ampleur.

Bibliographie

[1] IN 0272 (EF 2 C 32) Conception du tracé de la voie courante V ≤ 220 km/h, Version 01

[2] SNTF : REFERENTIEL TECHNIQUE SNTF Chapitre 6 Géométrie de la voie. Version 2

[3] Cour voie ferrée de Mr. MORSLI "enseignent à ENSTP "

[4] Cours hydraulique et assainissement de RAHMANI Daoudi ENSTP

[5] UIC 719 R a et b, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2e Edition.

[7] SETIRAIL, « Rapport de l'étude géologique et géotechnique ».

[8] SETIRAIL, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».

[9] Mémoires de voie ferrée école nationale des travaux publics.

[10] Manuel d'exploitation ferroviaire Didier Janssoone

ANNEXE

ANNEXE A : Listing de la géométrie de l'axe en plan

Client : ENSTP Préparé par : GRINE Naila

LOGICIEL : CIVIL 3D Date : 06/06/2025 à 13 :32 :00

Axe en plan : Axe -1
Description :
Plage d'abscisse : Début : 113+000, Fin : 122+265

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			113+000	522473.6532	3426664.6973
DR1	ANG=236.8934 (g)	702.839			
			113+703	522088.7624	3426076.6141
CLO2	A=479.583				
	R=2300.000	100.000			
			113+803	522033.3964	3425993.3423
ARC3	XC=520136.7620				
	YC=3427294.4103				
	R=2300.000	1654.193			
			115+457	520706.5089	3425066.0951
CLO4	A=479.583				
	R=2300.000	100.000			
			115+557	520609.2788	3425042.7306
DR5	ANG=285.4480 (g)	474.424			
			116+031	520147.1951	3424935.2273
CLO6	A=479.583				
	R=2300.000	100.000			
			116+131	520049.9651	3424911.8628
ARC7	XC=520619.7120				
	YC=3422683.5477				
	R=2300.000	823.884			
			116+955	519304.8844	3424570.6694
CLO8	A=479.583				
	R=2300.000	100.000			
			117+055	519223.6744	3424512.3211
DR9	ANG=259.8756 (g)	1776.397			
			118+832	517788.5813	3423465.3760

CLO10	A=479.583				
	R=2300.000	100.000			
			118+932	517708.2255	3423405.8570
ARC11	XC=519103.8334				
	YC=3421577.6671				
	R=2300.000	2742.365			
			121+674	516889.3504	3420956.3260
CLO12	A=479.583				
	R=2300.000	100.000			
			121+774	516917.7571	3420860.4478
DR13	ANG=181.2015 (g)	509.837			
			122+284	517066.1266	3420372.6770

ANNEXE B : Profil : Abscisse Sommets et Raccordements

Client : ENSTP Préparé par : GRINE Naila

LOGICIEL : CIVIL 3D Date : 06/06/2025 à 13 :32 :00

Profil en long : FSR
Description :
Plage d'abscisse : Début : 113+000, Fin : 122+284
LONGUEUR DE L'AXE : 9284.000m

Elément	**Caractéristiques des éléments**	**Longueur**	**Abscisse**	**Z**
			113+000	577.221
D1	PENTE= 0.24%	2014.621		
			115+015	582.065
PAR1	S= 115+114 Z= 582.305 Point bas= 582.065m (115+015)			
	R= 50000.000	198.963		
			115+214	582.940
D2	PENTE= 0.64%	669.743		
			115+883	587.215
PAR2	S= 115+931 Z= 587.522 Point élevé= 587.675m (115+979)			
	R= 30000.000	96.040		

			115+979	587.675
D3	PENTE= 0.32%	1343.542		
			117+323	591.950
D4	PENTE= 0.41%	1669.000		
			118+992	598.779
PAR4	S= 119+034 Z= 598.951 Point bas= 598.779m (118+992)			
	R= 55000.000	83.842		
			119+076	599.186
D5	PENTE= 0.56%	1587.368		
			120+663	608.101
PAR5	S= 120+705 Z= 608.336 Point bas= 608.101m (120+663)			
	R= 220000.000	83.544		
			120+747	608.586
D6	PENTE= 0.60%	1537.276		
			122+284	617.803

Profil en long : PLATEFORME
Description :
Plage d'abscisse : Début : 113+000, Fin : 122+284
LONGUEUR DE L'AXE : 9284.000m

Elément	**Caractéristiques des éléments**	**Longueur**	**Abscisse**	**Z**
			113+000	576.490
D1	PENTE= 0.24%	2014.621		
			115+015	581.334
PAR1	S= 115+114 Z= 581.574 Point bas= 581.334m (115+015)			
	R= 50000.000	198.963		
			115+214	582.209
D2	PENTE= 0.64%	669.743		
			115+883	586.484
PAR2	S= 115+931 Z= 586.791 Point élevé= 586.944m (115+979)			
	R= 30000.000	96.040		
			115+979	586.944
D3	PENTE= 0.32%	1343.542		
			117+323	591.219

D4	PENTE= 0.41%	1669.000		
			118+992	598.048
PAR4	S= 119+034 Z= 598.220 Point bas= 598.048m (118+992)			
	R= 55000.000	83.842		
			119+076	598.455
D5	PENTE= 0.56%	1587.368		
			120+663	607.370
PAR5	S= 120+705 Z= 607.605 Point bas= 607.370m (120+663)			
	R= 220000.000	83.544		
			120+747	607.855
D6	PENTE= 0.60%	1537.276		
			122+284	617.072

ANNEXE C : Listing de volume déblai et remblai

Groupe de tabulations : Groupe de tabulations - 1
Abscisse curviligne de départ : 113+000.00
Abscisse curviligne de fin : 122+283.940

Abscisse	Surface de déblai (m2)	Volume de déblai (m3)	Surface de remblai (m2)	Volume de remblai (m3)	Vol. déblai Cum. (m3)	Vol. remblai Cum. (m3)
113+000.000	0.77	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
113+025.000	0.48	15.60	2.17	52.07	15.60	52.07
113+050.000	0.43	11.36	2.59	59.40	26.97	111.48
113+075.000	0.55	12.31	1.89	56.01	39.28	167.49
113+100.000	1.15	21.26	1.03	36.51	60.54	204.00
113+125.000	1.28	30.33	0.85	23.50	90.87	227.50
113+150.000	0.86	26.75	1.88	34.23	117.62	261.73
113+175.000	0.39	15.64	3.52	67.56	133.26	329.28
113+200.000	0.33	9.07	4.21	96.60	142.33	425.88
113+225.000	0.35	8.51	3.64	98.10	150.85	523.99
113+250.000	0.38	9.09	3.56	89.95	159.94	613.94
113+275.000	0.31	8.67	3.58	89.25	168.61	703.18
113+300.000	0.24	6.97	3.38	87.01	175.58	790.19
113+325.000	0.00	3.06	6.98	129.41	178.64	919.60
113+350.000	0.38	4.70	4.27	140.55	183.35	1060.15
113+375.000	3.69	50.78	0.04	53.85	234.12	1114.00
113+400.000	3.04	84.01	0.04	0.99	318.14	1115.00
113+425.000	1.56	57.44	0.66	8.73	375.57	1123.73
113+450.000	1.36	36.48	1.21	23.36	412.05	1147.09
113+475.000	1.32	33.48	1.24	30.64	445.53	1177.73
113+500.000	1.15	30.83	1.36	32.56	476.36	1210.30
113+525.000	0.56	21.39	2.11	43.38	497.75	1253.68
113+550.000	0.96	19.09	1.53	45.45	516.84	1299.13
113+575.000	1.08	25.60	1.19	34.05	542.43	1333.18
113+600.000	1.22	28.85	1.74	36.63	571.29	1369.81
113+625.000	0.43	20.69	2.31	50.60	591.98	1420.41
113+650.000	0.40	10.44	2.32	57.88	602.42	1478.29
113+675.000	0.39	9.87	2.66	62.28	612.28	1540.56
113+700.000	0.49	10.89	2.12	59.81	623.18	1600.37
113+702.839	0.49	1.39	2.05	5.91	624.57	1606.28
113+725.000	0.61	12.24	1.60	40.37	636.81	1646.66
113+750.000	0.44	13.19	2.48	50.92	650.00	1697.57
113+775.000	0.46	11.35	2.46	61.75	661.35	1759.32
113+800.000	0.56	12.81	2.09	56.90	674.15	1816.23
113+802.839	0.60	1.64	2.05	5.87	675.80	1822.10
113+825.000	1.14	19.21	1.32	37.38	695.01	1859.48
113+850.000	0.44	19.76	2.49	47.63	714.78	1907.11

113+875.000	0.35	9.88	3.43	73.97	724.66	1981.08
113+900.000	0.41	9.45	2.63	75.71	734.10	2056.79
113+925.000	0.42	10.32	2.88	68.77	744.42	2125.56
113+950.000	0.30	8.89	3.62	81.25	753.31	2206.81
113+975.000	0.34	7.98	3.19	85.12	761.29	2291.93
114+000.000	0.29	7.93	3.19	79.75	769.22	2371.69
114+025.000	0.27	7.01	4.50	96.17	776.23	2467.86
114+050.000	0.46	9.05	2.44	86.76	785.28	2554.62
114+075.000	0.39	10.55	2.57	62.67	795.84	2617.29
114+100.000	0.39	9.71	3.15	71.51	805.55	2688.80
114+125.000	0.39	9.77	3.26	80.11	815.32	2768.91
114+150.000	0.36	9.37	3.23	81.12	824.68	2850.02
114+175.000	0.45	10.08	2.58	72.63	834.76	2922.66
114+200.000	0.65	13.78	1.94	56.48	848.54	2979.14
114+225.000	0.62	15.86	1.85	47.29	864.41	3026.43
114+250.000	1.22	22.93	1.40	40.57	887.34	3067.00
114+275.000	1.55	34.57	0.99	29.86	921.91	3096.86
114+300.000	1.47	37.79	1.05	25.45	959.70	3122.31
114+325.000	0.97	30.55	1.58	32.81	990.25	3155.12
114+350.000	1.27	27.94	1.05	32.87	1018.19	3187.99
114+375.000	1.19	30.68	1.12	27.17	1048.87	3215.16
114+400.000	1.11	28.72	1.23	29.40	1077.58	3244.56
114+425.000	1.38	31.13	0.93	27.05	1108.71	3271.61
114+450.000	1.34	33.99	1.22	26.97	1142.70	3298.59
114+475.000	1.11	30.55	1.45	33.40	1173.26	3331.99
114+500.000	1.26	29.65	0.87	29.02	1202.90	3361.00
114+525.000	1.38	33.12	0.79	20.82	1236.02	3381.83
114+550.000	2.43	47.73	0.30	13.69	1283.75	3395.52
114+575.000	3.01	68.04	0.05	4.44	1351.79	3399.95
114+600.000	3.40	80.07	0.04	1.16	1431.86	3401.12
114+625.000	6.90	128.71	0.04	1.00	1560.57	3402.12
114+629.936	7.12	34.60	0.04	0.20	1595.17	3402.32
114+650.000	8.08	152.47	0.04	0.80	1747.64	3403.12
114+675.000	4.96	163.00	0.04	1.00	1910.63	3404.12
114+700.000	3.95	111.40	0.04	1.00	2022.03	3405.12
114+725.000	4.14	101.19	0.04	1.00	2123.22	3406.12
114+750.000	5.26	117.61	0.04	1.00	2240.83	3407.12
114+775.000	5.07	129.23	0.04	1.00	2370.06	3408.12
114+800.000	5.24	128.99	0.04	1.00	2499.05	3409.12
114+825.000	5.28	131.57	0.04	1.00	2630.63	3410.12
114+850.000	2.75	100.40	0.18	2.80	2731.02	3412.93
114+875.000	1.03	47.27	1.82	25.04	2778.30	3437.97
114+900.000	0.90	24.18	1.28	38.73	2802.47	3476.70
114+925.000	1.29	27.39	0.88	26.99	2829.86	3503.69
114+950.000	1.79	38.54	0.56	18.05	2868.40	3521.74
114+975.000	1.98	47.15	0.44	12.56	2915.56	3534.30

115+000.000	1.94	49.00	0.86	16.28	2964.56	3550.58
115+025.000	0.64	32.25	5.31	77.08	2996.81	3627.67
115+050.000	0.00	7.97	6.21	143.96	3004.78	3771.63
115+075.000	0.00	0.00	6.30	156.43	3004.78	3928.06
115+100.000	0.00	0.00	6.71	162.71	3004.78	4090.77
115+125.000	2.55	31.91	0.96	95.89	3036.69	4186.66
115+150.000	5.57	101.59	0.85	22.61	3138.28	4209.27
115+175.000	10.57	201.74	0.12	12.20	3340.02	4221.47
115+200.000	7.87	230.44	0.05	2.14	3570.47	4223.62
115+225.000	7.79	195.78	0.04	1.07	3766.24	4224.69
115+250.000	1.24	112.91	0.86	11.20	3879.15	4235.89
115+275.000	0.85	26.08	2.50	41.96	3905.23	4277.85
115+300.000	6.58	92.80	0.04	31.74	3998.03	4309.59
115+325.000	11.81	229.89	0.04	0.99	4227.92	4310.57
115+350.000	14.09	323.77	0.04	0.99	4551.69	4311.56
115+375.000	17.15	390.48	0.04	1.00	4942.16	4312.56
115+400.000	19.63	459.79	0.04	1.00	5401.95	4313.56
115+425.000	19.75	492.32	0.04	0.99	5894.27	4314.55
115+450.000	17.59	466.79	0.04	1.00	6361.06	4315.55
115+457.032	16.78	120.84	0.04	0.28	6481.91	4315.83
115+475.000	14.17	278.01	0.04	0.72	6759.92	4316.54
115+500.000	12.79	336.94	0.04	1.00	7096.86	4317.54
115+525.000	7.12	248.88	0.04	1.00	7345.74	4318.54
115+550.000	2.96	126.02	0.04	1.03	7471.75	4319.58
115+557.032	2.85	20.43	0.05	0.32	7492.18	4319.89
115+575.000	1.23	36.67	0.47	4.63	7528.86	4324.52
115+600.000	0.40	20.39	2.05	31.48	7549.25	4356.00
115+625.000	3.28	46.01	0.04	26.13	7595.26	4382.13
115+650.000	5.42	108.71	0.04	1.01	7703.97	4383.14
115+675.000	6.16	144.68	0.04	1.01	7848.65	4384.15
115+700.000	4.38	131.68	0.04	1.01	7980.33	4385.16
115+725.000	8.02	155.03	0.04	1.01	8135.35	4386.16
115+750.000	7.15	189.67	0.04	1.00	8325.02	4387.16
115+775.000	6.49	170.46	0.04	1.00	8495.49	4388.16
115+800.000	4.76	140.57	0.04	1.00	8636.06	4389.16
115+825.000	1.10	73.22	0.79	10.32	8709.27	4399.48
115+850.000	0.69	22.37	2.21	37.42	8731.64	4436.90
115+875.000	0.00	8.64	5.18	92.33	8740.28	4529.23
115+900.000	0.00	0.00	8.62	172.47	8740.28	4701.70
115+925.000	0.27	3.34	3.74	154.45	8743.62	4856.16
115+950.000	23.89	301.97	0.04	47.18	9045.59	4903.33
115+975.000	40.17	800.77	0.04	0.94	9846.36	4904.27
116+000.000	15.08	690.59	0.04	0.98	10536.95	4905.25
116+025.000	13.08	351.93	0.04	1.00	10888.89	4906.25
116+031.457	10.00	74.51	0.04	0.26	10963.40	4906.50
116+050.000	3.30	123.33	0.23	2.46	11086.72	4908.97

116+075.000	10.77	175.92	0.04	3.32	11262.65	4912.28
116+100.000	18.16	361.69	0.04	1.00	11624.33	4913.28
116+125.000	25.38	544.20	0.04	1.00	12168.53	4914.28
116+131.457	27.63	171.13	0.04	0.26	12339.67	4914.54
116+150.000	34.49	575.97	0.04	0.75	12915.63	4915.29
116+175.000	48.30	1034.82	0.04	1.01	13950.45	4916.30
116+200.000	95.69	1799.81	0.04	0.99	15750.26	4917.29
116+225.000	152.95	3107.91	0.04	0.95	18858.17	4918.24
116+250.000	169.75	4033.77	0.04	0.94	22891.94	4919.18
116+275.000	185.74	4443.65	0.04	0.94	27335.60	4920.12
116+300.000	159.13	4310.82	0.04	0.97	31646.41	4921.09
116+325.000	188.77	4348.76	0.04	1.00	35995.17	4922.09
116+350.000	233.35	5276.52	0.04	0.98	41271.69	4923.08
116+375.000	211.96	5566.36	0.04	0.97	46838.05	4924.05
116+400.000	197.45	5117.62	0.04	0.98	51955.67	4925.03
116+425.000	187.72	4814.59	0.04	0.99	56770.27	4926.03
116+450.000	185.44	4664.48	0.04	0.99	61434.75	4927.02
116+475.000	176.41	4523.13	0.04	0.99	65957.88	4928.01
116+500.000	166.68	4288.66	0.04	1.00	70246.54	4929.01
116+525.000	158.27	4061.94	0.04	0.99	74308.48	4930.00
116+543.399	136.50	2711.74	0.16	1.86	77020.22	4931.86
116+550.000	135.27	897.02	0.04	0.66	77917.24	4932.52
116+575.000	77.79	2663.30	0.04	0.97	80580.54	4933.49
116+600.000	43.33	1514.05	0.04	1.01	82094.59	4934.50
116+625.000	29.83	914.51	0.04	1.00	83009.10	4935.50
116+650.000	13.74	544.68	0.04	1.00	83553.77	4936.50
116+675.000	2.58	204.04	0.08	1.47	83757.81	4937.96
116+700.000	1.44	50.29	0.59	8.28	83808.11	4946.25
116+725.000	1.00	30.49	1.43	25.15	83838.60	4971.39
116+750.000	0.00	12.45	7.30	109.12	83851.04	5080.51
116+775.000	0.00	0.00	5.07	154.73	83851.04	5235.23
116+800.000	0.44	5.48	2.95	100.31	83856.53	5335.54
116+825.000	0.00	5.48	4.49	93.01	83862.01	5428.55
116+850.000	0.00	0.00	5.86	129.36	83862.01	5557.91
116+875.000	0.00	0.00	6.65	156.30	83862.01	5714.21
116+900.000	15.59	194.90	0.04	83.63	84056.91	5797.84
116+925.000	10.02	320.11	0.04	1.10	84377.02	5798.94
116+950.000	19.92	374.25	0.04	1.06	84751.27	5800.00
116+955.341	25.30	120.76	0.04	0.21	84872.02	5800.21
116+975.000	38.51	627.14	0.04	0.78	85499.16	5800.99
117+000.000	66.01	1306.44	0.04	1.06	86805.60	5802.06
117+025.000	113.13	2239.19	0.04	1.04	89044.79	5803.09
117+050.000	150.86	3299.87	0.04	0.98	92344.66	5804.07
117+055.341	152.12	809.10	0.04	0.20	93153.76	5804.27
117+075.000	158.20	3050.23	0.04	0.71	96204.00	5804.98
117+100.000	128.23	3580.36	0.04	0.91	99784.36	5805.89

117+125.000	77.62	2573.09	0.04	0.96	102357.45	5806.85
117+150.000	35.57	1414.85	0.04	0.97	103772.30	5807.83
117+175.000	21.57	714.32	0.04	0.98	104486.62	5808.81
117+200.000	11.85	417.79	0.04	0.99	104904.41	5809.80
117+225.000	7.60	243.15	0.04	1.00	105147.56	5810.80
117+250.000	6.15	171.95	0.04	1.00	105319.51	5811.80
117+275.000	4.77	136.57	0.04	1.00	105456.08	5812.79
117+300.000	3.14	98.96	0.04	1.00	105555.04	5813.79
117+325.000	3.54	83.59	0.04	1.00	105638.63	5814.79
117+350.000	2.46	75.00	0.17	2.61	105713.63	5817.40
117+375.000	2.65	63.77	0.07	2.99	105777.40	5820.39
117+400.000	2.08	59.09	0.22	3.61	105836.48	5824.00
117+425.000	1.19	40.84	1.08	16.29	105877.32	5840.29
117+450.000	1.09	28.43	1.22	28.81	105905.76	5869.10
117+475.000	0.35	17.96	3.09	53.84	105923.71	5922.95
117+500.000	0.00	4.34	4.15	90.49	105928.05	6013.44
117+525.000	0.00	0.00	4.98	114.12	105928.05	6127.56
117+550.000	0.00	0.00	5.27	128.12	105928.05	6255.68
117+575.000	0.33	4.17	3.08	104.42	105932.23	6360.10
117+600.000	0.00	4.17	4.37	93.17	105936.40	6453.27
117+625.000	0.00	0.00	4.83	115.05	105936.40	6568.31
117+650.000	0.00	0.00	5.43	128.26	105936.40	6696.58
117+675.000	0.38	4.81	2.78	102.59	105941.21	6799.17
117+700.000	1.45	22.93	0.89	45.84	105964.14	6845.01
117+725.000	3.32	59.66	0.05	11.77	106023.80	6856.77
117+750.000	4.08	92.54	0.04	1.17	106116.34	6857.94
117+775.000	3.19	90.88	0.04	1.00	106207.22	6858.94
117+800.000	2.36	69.42	0.11	1.89	106276.64	6860.83
117+825.000	1.84	52.54	0.34	5.59	106329.18	6866.41
117+850.000	0.94	34.78	1.61	24.28	106363.96	6890.69
117+875.000	0.89	22.91	1.55	39.47	106386.87	6930.16
117+900.000	1.31	27.56	0.87	30.29	106414.43	6960.45
117+925.000	2.58	48.70	0.17	13.02	106463.13	6973.47
117+950.000	3.73	78.93	0.04	2.62	106542.05	6976.10
117+975.000	4.27	100.06	0.04	1.00	106642.12	6977.10
118+000.000	4.45	109.01	0.04	1.00	106751.13	6978.10
118+025.000	3.85	103.74	0.04	1.00	106854.87	6979.10
118+050.000	1.05	61.26	0.90	11.69	106916.13	6990.79
118+075.000	0.77	22.79	1.88	34.70	106938.92	7025.49
118+100.000	0.00	9.66	3.58	68.26	106948.58	7093.74
118+125.000	0.00	0.00	10.36	174.28	106948.58	7268.02
118+150.000	0.00	0.00	11.94	278.72	106948.58	7546.74
118+175.000	0.00	0.00	12.91	310.60	106948.58	7857.34
118+200.000	0.00	0.00	13.31	327.74	106948.58	8185.08
118+225.000	0.00	0.00	14.07	342.24	106948.58	8527.33
118+250.000	0.00	0.00	15.67	371.81	106948.58	8899.14

118+275.000	0.00	0.00	15.45	388.98	106948.58	9288.12
118+300.000	0.00	0.00	6.61	275.69	106948.58	9563.80
118+325.000	0.00	0.00	6.77	167.26	106948.58	9731.07
118+350.000	0.00	0.00	6.87	170.60	106948.58	9901.67
118+375.000	0.00	0.00	7.89	184.58	106948.58	10086.24
118+400.000	0.00	0.00	7.76	195.66	106948.58	10281.90
118+425.000	0.00	0.00	7.30	188.24	106948.58	10470.14
118+450.000	0.00	0.00	8.49	197.31	106948.58	10667.44
118+475.000	0.00	0.00	10.11	232.43	106948.58	10899.88
118+500.000	0.00	0.00	12.90	287.63	106948.58	11187.51
118+525.000	0.00	0.00	14.39	341.20	106948.58	11528.71
118+550.000	0.00	0.00	17.15	394.26	106948.58	11922.97
118+575.000	0.00	0.00	17.84	437.29	106948.58	12360.26
118+600.000	0.00	0.00	20.40	477.95	106948.58	12838.21
118+625.000	0.00	0.00	23.16	544.55	106948.58	13382.76
118+650.000	0.00	0.00	23.90	588.29	106948.58	13971.05
118+675.000	0.00	0.00	21.59	568.59	106948.58	14539.64
118+700.000	0.00	0.00	21.99	544.77	106948.58	15084.41
118+725.000	0.00	0.00	22.02	550.11	106948.58	15634.52
118+750.000	0.00	0.00	21.90	549.00	106948.58	16183.52
118+775.000	0.00	0.00	21.33	540.41	106948.58	16723.93
118+800.000	0.00	0.00	20.12	518.11	106948.58	17242.05
118+825.000	0.00	0.00	19.36	493.54	106948.58	17735.59
118+831.738	0.00	0.00	18.84	128.70	106948.58	17864.29
118+850.000	0.00	0.00	17.82	334.75	106948.58	18199.03
118+875.000	0.00	0.00	17.38	439.98	106948.58	18639.02
118+900.000	0.00	0.00	16.25	420.30	106948.58	19059.32
118+925.000	0.00	0.00	13.52	372.14	106948.58	19431.46
118+931.738	0.00	0.00	14.52	94.47	106948.58	19525.92
118+950.000	0.00	0.00	14.52	265.17	106948.58	19791.10
118+975.000	0.00	0.00	12.58	338.80	106948.58	20129.90
119+000.000	0.00	0.00	9.04	270.26	106948.58	20400.16
119+025.000	0.00	0.00	14.31	291.84	106948.58	20691.99
119+050.000	0.00	0.00	11.51	322.73	106948.58	21014.72
119+075.000	0.00	0.00	13.12	307.91	106948.58	21322.63
119+100.000	0.00	0.00	13.27	329.84	106948.58	21652.47
119+125.000	0.00	0.00	13.79	338.15	106948.58	21990.62
119+150.000	0.00	0.00	13.38	339.54	106948.58	22330.16
119+175.000	0.00	0.00	13.10	331.02	106948.58	22661.18
119+200.000	0.00	0.00	9.78	286.02	106948.58	22947.19
119+225.000	0.00	0.00	8.09	223.35	106948.58	23170.55
119+250.000	0.00	0.00	6.09	177.26	106948.58	23347.81
119+275.000	0.58	7.30	3.03	113.99	106955.88	23461.80
119+300.000	3.23	47.66	0.13	39.49	107003.54	23501.29
119+325.000	9.46	158.66	0.04	2.13	107162.20	23503.42
119+350.000	22.40	398.35	0.04	1.00	107560.55	23504.42

119+375.000	22.52	561.49	0.04	1.00	108122.04	23505.42
119+400.000	22.02	556.66	0.04	1.00	108678.70	23506.42
119+425.000	22.77	559.90	0.04	1.00	109238.60	23507.42
119+450.000	24.18	586.92	0.04	1.00	109825.52	23508.42
119+475.000	30.48	683.25	0.04	0.99	110508.77	23509.41
119+500.000	56.02	1081.27	0.04	0.98	111590.04	23510.39
119+525.000	13.40	867.77	0.04	1.00	112457.81	23511.39
119+550.000	3.74	214.25	0.04	1.05	112672.06	23512.44
119+575.000	20.98	308.98	0.04	1.04	112981.03	23513.48
119+600.000	29.74	634.04	0.04	0.97	113615.07	23514.45
119+625.000	46.82	957.00	0.04	0.97	114572.07	23515.42
119+650.000	76.64	1543.19	0.04	1.00	116115.26	23516.42
119+675.000	85.41	2025.58	0.04	1.03	118140.84	23517.44
119+700.000	192.75	3476.95	0.04	1.06	121617.79	23518.51
119+725.000	313.12	6323.33	0.04	1.05	127941.12	23519.56
119+750.000	407.82	9011.74	0.02	0.72	136952.86	23520.28
119+775.000	639.62	13093.08	0.03	0.64	150045.94	23520.93
119+800.000	549.91	14869.16	0.03	0.84	164915.10	23521.77
119+825.000	264.19	10176.26	0.02	0.65	175091.36	23522.42
119+850.000	145.42	5120.13	0.04	0.73	180211.49	23523.16
119+875.000	63.85	2615.90	0.04	1.00	182827.39	23524.16
119+900.000	28.12	1149.73	0.04	1.00	183977.12	23525.16
119+925.000	7.68	447.58	0.04	1.00	184424.69	23526.16
119+950.000	0.00	96.02	6.81	85.57	184520.71	23611.73
119+975.000	8.77	109.64	0.04	85.58	184630.35	23697.31
120+000.000	61.86	882.84	0.04	1.04	185513.18	23698.35
120+025.000	251.52	3917.23	0.02	0.72	189430.41	23699.07
120+050.000	337.33	7360.61	0.07	1.03	196791.02	23700.10
120+075.000	274.64	7649.57	0.02	1.06	204440.59	23701.16
120+100.000	166.67	5516.32	0.02	0.45	209956.91	23701.61
120+125.000	149.87	3956.67	0.05	0.83	213913.57	23702.44
120+150.000	138.28	3601.83	0.04	1.11	217515.41	23703.55
120+175.000	105.27	3044.35	0.04	1.02	220559.76	23704.57
120+200.000	78.39	2295.74	0.04	1.02	222855.50	23705.58
120+225.000	52.40	1634.83	0.04	1.01	224490.33	23706.59
120+250.000	35.29	1096.10	0.04	1.02	225586.43	23707.61
120+275.000	20.82	701.41	0.04	1.01	226287.84	23708.63
120+300.000	10.75	394.64	0.04	1.00	226682.48	23709.63
120+302.920	14.95	37.53	0.04	0.12	226720.01	23709.74
120+325.000	10.50	281.00	0.04	0.88	227001.01	23710.63
120+350.000	0.00	131.24	4.08	51.48	227132.26	23762.10
120+375.000	2.61	32.59	0.20	53.46	227164.85	23815.56
120+400.000	6.48	113.60	0.04	2.98	227278.45	23818.54
120+425.000	5.28	146.96	0.04	1.00	227425.41	23819.54
120+450.000	1.20	80.91	0.44	5.96	227506.32	23825.50
120+475.000	0.00	14.97	4.06	56.22	227521.29	23881.72

120+500.000	0.00	0.00	10.12	177.25	227521.29	24058.97
120+525.000	0.00	0.00	21.47	394.89	227521.29	24453.86
120+550.000	0.00	0.00	13.97	443.01	227521.29	24896.87
120+575.000	0.00	0.00	27.19	514.41	227521.29	25411.28
120+600.000	0.00	0.00	20.03	590.16	227521.29	26001.44
120+625.000	0.00	0.00	32.53	656.94	227521.29	26658.38
120+650.000	0.00	0.00	29.59	776.45	227521.29	27434.83
120+675.000	0.00	0.00	29.98	744.55	227521.29	28179.37
120+700.000	0.00	0.00	33.86	797.90	227521.29	28977.27
120+725.000	0.00	0.00	35.78	870.50	227521.29	29847.78
120+750.000	0.00	0.00	45.00	1009.76	227521.29	30857.54
120+775.000	0.00	0.00	45.60	1132.48	227521.29	31990.02
120+800.000	0.00	0.00	45.20	1134.98	227521.29	33125.00
120+825.000	0.00	0.00	37.83	1037.79	227521.29	34162.79
120+850.000	0.00	0.00	37.01	935.50	227521.29	35098.29
120+875.000	0.00	0.00	38.34	941.98	227521.29	36040.27
120+900.000	0.00	0.00	37.45	947.42	227521.29	36987.69
120+925.000	0.00	0.00	36.15	919.95	227521.29	37907.64
120+950.000	0.00	0.00	34.62	884.53	227521.29	38792.17
120+975.000	0.00	0.00	38.25	910.82	227521.29	39702.98
121+000.000	0.00	0.00	41.16	992.63	227521.29	40695.62
121+025.000	0.00	0.00	44.08	1065.45	227521.29	41761.07
121+050.000	0.00	0.00	46.67	1134.37	227521.29	42895.44
121+075.000	0.00	0.00	41.19	1098.34	227521.29	43993.79
121+100.000	0.00	0.00	42.64	1047.86	227521.29	45041.65
121+125.000	0.00	0.00	37.83	1005.79	227521.29	46047.45
121+150.000	0.00	0.00	30.88	858.84	227521.29	46906.28
121+175.000	0.00	0.00	15.87	584.40	227521.29	47490.68
121+200.000	0.00	0.00	11.18	338.14	227521.29	47828.82
121+225.000	0.30	3.78	4.30	193.55	227525.07	48022.37
121+250.000	6.64	86.81	0.04	54.31	227611.88	48076.69
121+275.000	29.55	452.45	0.04	1.02	228064.32	48077.71
121+300.000	87.55	1463.84	0.04	1.06	229528.16	48078.77
121+325.000	133.16	2758.86	0.04	1.01	232287.02	48079.78
121+350.000	142.27	3442.86	0.04	0.95	235729.88	48080.73
121+375.000	147.37	3620.58	0.04	0.96	239350.46	48081.69
121+400.000	132.79	3502.02	0.04	0.97	242852.48	48082.66
121+425.000	116.46	3115.63	0.04	0.97	245968.11	48083.64
121+450.000	113.31	2872.20	0.04	0.99	248840.31	48084.63
121+475.000	115.07	2854.76	0.21	3.17	251695.08	48087.79
121+500.000	106.76	2772.79	0.04	3.16	254467.87	48090.95
121+525.000	102.95	2621.37	0.04	0.99	257089.23	48091.95
121+550.000	98.05	2512.52	0.04	1.00	259601.75	48092.94
121+575.000	87.49	2319.23	0.04	1.00	261920.98	48093.94
121+600.000	75.68	2039.68	0.04	1.01	263960.66	48094.95
121+625.000	76.58	1903.26	0.04	1.02	265863.92	48095.97

121+650.000	69.40	1824.74	0.04	1.00	267688.65	48096.97
121+674.102	52.87	1473.58	0.04	0.96	269162.23	48097.93
121+675.000	53.32	47.66	0.04	0.04	269209.89	48097.97
121+700.000	67.19	1506.41	0.04	0.99	270716.30	48098.96
121+725.000	64.92	1651.33	0.04	1.00	272367.64	48099.96
121+750.000	60.49	1567.57	0.04	1.00	273935.21	48100.96
121+774.102	59.03	1440.37	0.04	0.97	275375.58	48101.93
121+775.000	59.00	52.97	0.04	0.04	275428.55	48101.97
121+800.000	58.57	1469.62	0.04	1.01	276898.18	48102.97
121+825.000	60.71	1490.95	0.04	1.00	278389.13	48103.97
121+850.000	62.39	1538.71	0.04	1.00	279927.84	48104.97
121+875.000	63.27	1570.73	0.04	1.00	281498.57	48105.97
121+900.000	60.89	1551.93	0.04	1.00	283050.50	48106.97
121+925.000	56.81	1471.18	0.04	1.00	284521.68	48107.97
121+950.000	50.44	1340.53	0.04	1.01	285862.22	48108.98
121+975.000	45.54	1199.72	0.04	1.01	287061.94	48109.98
122+000.000	41.63	1089.61	0.04	1.00	288151.55	48110.98
122+025.000	36.04	970.80	0.04	1.00	289122.35	48111.98
122+050.000	27.65	796.10	0.04	1.00	289918.45	48112.98
122+075.000	19.54	589.85	0.04	1.00	290508.31	48113.99
122+100.000	15.81	441.84	0.04	1.00	290950.15	48114.99
122+125.000	10.86	333.37	0.04	1.00	291283.52	48115.99
122+150.000	6.85	221.41	0.04	1.00	291504.93	48117.00
122+175.000	3.03	123.52	0.04	1.04	291628.46	48118.04
122+200.000	1.61	58.02	1.09	14.14	291686.47	48132.18
122+225.000	0.75	29.49	2.18	40.83	291715.97	48173.01
122+250.000	0.70	18.13	1.88	50.74	291734.10	48223.75
122+275.000	0.59	16.23	2.43	53.94	291750.32	48277.69
122+283.940	0.58	5.24	2.38	21.52	291755.56	48299.21

ANNEXE D :Canalisations circulaires partiellement remplie

Q / Q p s	V / V p s	h /D	Q / Q p s	V / V p s	h /D
0, 0 0 1	0,1 4	0,0 2	0, 5 3 4	1, 0 2	0, 5 2
0, 0 0 3	0,2 2	0,0 4	0, 5 6 8	1, 0 3	0, 5 4
0, 0 0 7	0, 2 9	0,0 6	0, 6 0 3	1, 0 5	0, 5 6
0, 0 1 3	0, 3 5	0,0 8	0, 6 3 7	1, 0 6	0, 5 8
0, 0 2 1	0, 4 0	0,1 0	0, 6 7 2	1, 0 7	0, 6 0
0, 0 3 1	0, 4 5	0,1 2	0, 7 0 6	1, 0 8	0, 6 2
0, 0 4 2	0, 5 0	0,1 4	0, 7 4 0	1, 0 9	0, 6 4
0, 0 5 6	0, 5 4	0,1 6	0, 7 7 3	1, 1 0	0, 6 6
0, 0 7 1	0, 5 8	0,1 8	0, 8 0 6	1, 1 1	0, 6 8
0, 0 8 8	0, 6 2	0,2 0	0, 8 3 7	1, 1 2	0, 7 0
0, 1 0 6	0, 6 5	0,2 2	0, 8 6 8	1, 1 3	0, 7 2
0, 1 2 6	0, 6 8	0,2 4	0, 8 9 8	1, 1 3	0, 7 4
0, 1 4 8	0, 7 2	0,2 6	0, 9 2 6	1, 1 4	0, 7 6
0, 1 7 1	0, 7 5	0,2 8	0, 9 5 3	1, 1 4	0, 7 8
0, 1 9 6	0, 7 8	0,3 0	0, 9 7 7	1, 1 4	0, 8 0
0, 2 2 2	0, 8 0	0,3 2	1, 0 0 0	1, 1 4	0, 8 2
0, 2 4 9	0, 8 3	0,3 4	1, 0 2 1	1, 1 4	0, 8 4
0, 2 7 7	0, 8 6	0,3 6	1, 0 3 9	1, 1 4	0, 8 6
0, 3 0 7	0, 8 8	0,3 8	1, 0 5 4	1, 1 3	0, 8 8
0, 3 3 7	0, 9 0	0,4 0	1, 0 6 6	1, 1 2	0, 9 0
0, 3 6 8	0, 9 2	0,4 2	1, 0 7 3	1, 1 2	0, 9 2
0, 4 0 0	0, 9 4	0,4 4	1, 0 7 6	1, 1 0	0, 9 4
0, 4 3 3	0, 9 6	0,4 6	1, 0 7 1	1, 0 9	0, 9 6
0, 4 6 6	0, 9 8	0,4 8	1, 0 5 7	1, 0 6	0, 9 8
0, 5 0 0	1, 0 0	0,5 0	1, 0 0 0	1, 0 0	1, 0 0

ANNEXE E : Classifications des sols selon UIC

Classe de qualités des sols	Classification des sols (identification géotechnique)
QS0 : Sols impropres	0.1 sols organiques. 0.2 sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonné, humides et donc non compactables. 0.3 sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse) 0.5 sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels par exemple). 0.6 sols mixtes « minéraux organique ».
QS1 : Sols médiocres	Sols comportant plus de 40 % de fines (sauf sols0.2). 1.2 Roches très évolutives par exemple : - Craies de ρd <1.7t/m3 et de friabilité forte – Marnes - Schistes altérés. 1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (sauf sols 0.2). 1.4 Roches évolutives par exemple : - Craies de ρd < 1.7 t/m3 et de friabilité faible - Schistes non altérés. 1.5 Roches tendres par exemple : Si Microdeval en présence d'eau (MDE)>40 et Los Angeles LA>40.
QS2 : Sols moyens	2.1 Sol comportant de 5 à 15% de fines. 2.2 Sols comportant moins de 5% de fines mais uniformes (Cu≤6). 2.3 Roches moyennement dures par exemple : Si 25<LA
QS3 : Bons sols	3.1 Sols comportant moins de 5% de fines 3.2 Roches dures par exemples : Si MDE≤25 et LA≤30

ANNEXE F : Classes de qualité des sols selon le code UIC 719R

Type de sol (Classification géotechnique)	Classe de qualité des sols
- Sols organiques ; Sols avec plus de 15% de fins, expansifs, humides, de haute plasticité et pas compactables ; -Sols contaminés avec déchets, matière organique ou résidus ; -Sols avec matériaux solubles (sel-gemme ou plâtre).	QS0
-Sols avec plus de 40% de fins (pas classifiables comme QS0) ; - Roches évolutives.	QS1 (a)
- Sols avec 15% à 40% de fins (pas classifiables comme QS0) ; - Roches friables ; - Roches peu dures (MDE > 40 et LA >40%).	QS1 (b)*
- Sols avec 5% à 15% de fins ; - Sols avec moins de 5% de fins mais uniformes (Cu ≤ 6) ; - Roches moyennement dures (25% < MDE ≤ 40% et 30% < LA ≤ 40%)	QS2
- Sols avec moins de 5% de fins ; - Roches dures (MDE ≤ 25% et LA ≤ 30%)	QS3

ANNEXE G : Conditions générales de réutilisation des matériaux en œuvre ayant pour base le code UIC 719R

Description de les matériaux		classe du sol (code UIC 719R)	Dépôt	Remblais				Couche de forme	Éperons, masques et couches drainants	Bétons	Sous-ballast
				Noyau			Partie inférieur du remblai (ciment) et partie supérieur du remblai (couronnement)				
				Remblai on sols	Sol - enrochement	Enrochement					
Sols avec plus de 15% de fins, contaminés, de comportement hétérogène, haute plasticité, expansifs et / ou saturée (sols impropres)		QS0	X								
Sols avec plus de 15% de fins et roches d'évolutives à très évolutives (sols médiocres)	fins >40%	QS1 (a)	X	X							
	15% < fins <40%	QS1 (b)*		X	X		X				
Sols avec peu de fins (5% < fins <15%) et roches dures 25%< MDE ≤40% et 30%< LA ≤40% (sols moyens)		QS2		X	X	X	X				
Sols sans fins (<5%) et roches très dures (sols bons)	19%≤ MDE≤25% et 26%≤ LA ≤30%	QS3 (a)		X	X	X	X	X	X	X	
	MDE≤18% et LA≤25%	QS3 (b)		X	X	X	X	X	X	X	X