République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة
فرنســيس جانســون

École Nationale Supérieure des Travaux Publics
Francis Jeanson



Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructure de base

Thème

Etude en APD de la ligne à voie unique Tissemsilt - Boughezoul Tronçon Hassi EL Fedoul - Sidi Laadjel y compris la gare Hassi EL Fedoul du PK44+675 au PK57+000

Présenté par :

HAMMOUD Anouar

Encadré par :

Mr KHELIF Aissa
Mr FEDGHOUCHE Ferhat

Promotion 2022 /2023

© ENSTP-FJ – Garidi - Vieux Kouba

REMERCIMENT

Tout d'abord, je tiens à remercier Allah, le clément et le miséricordieux de m'avoir donné la santé et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à remercie mon encadrant Mr KHELIF Aissa, pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.

Je tiens à remercie mon frère et mon amis Mr BRAHIMI Azeddine pour l'orientation, la patience, Tout au long de la période de stage et au- delà.

Je remercie vivement touts les members du groupement IGES, en particulier:
Mr Fouad BOUYOUCEF, Mr Oussama, Mr Abderrazak, Mr Boubaker BOUNAAMA, Mr Krioudj qui m'ont encadré et assisté pendant toute la période de stage
Je remercie également mon co- encadrant Mr. FEDGHOUCHE

Je remercie vivement Mme. SERAJI Widad et Mr HADADOU Tarek pour son encadrement exceptionnel, à sa confiance
Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury d'avoir accepté d'évaluer mon modeste travail.

Mes remerciements vont aussi à tous mes professeurs, enseignants en particulier Mr MORSLI Rabah pour son soutien, ses remarques pertinentes et son encouragement, et toutes les personnes qui m'ont soutenu jusqu'au bout. Sans oublier les merveilleuses assistantes de département infrastructure de base Mme Makoudi et Mme Bourebia.

Dédicace

A Mon cher père

Vous avez toujours été mon école de patience, de confiance et surtout d'espoir et d'amour. Vous êtes et vous resterez pour moi ma référence, la lumière qui illumine mon chemin.

J'implore Dieu, tout puissant, de vous accorder une bonne santé, une longue vie et beaucoup de bonheur.

A ma chère mère

Aucune dédicace très chère maman, ne pourrait exprimer la profondeur des sentiments que j'éprouve pour vous.

Depuis ma naissance jusqu'aù aujourd'hui, ma plus grande fan, mon support de vie, ma confidente, ma tendresse et ma meilleure amie, tu m'as toujours procuré de la douceur et de l'amour, tu es une merveilleuse mère et une femme extraordinaire, qui a toujours été là pour moi.

A ma chère grand- mère

Tu as été mon compagnon toute ma vie Depuis mon enfance jusqu'au ce que je

Grandisse. J'aurais aimé que tu sois avec moi au moment de l'obtention de mon diplôme, rabi yarhmak inchallah.

A mes frères

Achraf et sifou

Pour leur appui et leur encouragement

A toute ma famille

Baki, Lakhdar (zibek), Ahmed, Afnen, zineb

À mes meilleure amis:

Yazid, issam, Hamid, djalel, tarek, nadji, kambou, ghanou, halim, chemsou, abdou, sadek, fares, yanis, raouf, raouf, mohamed halmous, wail, Yasser soudani, alla, brbachi, haytham, Yassin, anis, khirou, Bassam, Walid guesses, Mohamed laghmara, mohamed benmekhlouf, zinou, Aymen, abdou bouzghaya.

RESUME

Le présent projet consiste essentiellement à l'étude avant-projet détaillé (A.P.D) d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire Tissemsilt –Boughezoul (tronçon de 12.325 km), avec conseption de la gare de Hassi El fedoul.

L'identification des Caractéristiques techniques les plus appropriées pour la ligne ferroviaire projetée sera basée sur les recommandations ainsi que les pratiques qui sont suivies par la SNTF et les autres systèmes ferroviaires plus développés normes UIC (union internationale de chemin de fer), la modélisation géométrique du projet a été exécutée sous logiciel COVADIS 2016

مـــلخـــص

تتعلق هذه المذكرة بدراسة تفصيلية أولية لما قبل المشروع لجزء من خط السكة الحديدية الرابط بين بوغزول وتسمسيلت (12.325 كيلومتر). مع تصميم محطة حاسي الفدول.

و سيعتمد تحديد الخصائص التقنية لخط السكة الحديدية المقترح على التوصيات و كذالك الممارسات التي يتبعها

الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية و غيرها من انظمة السكك الحديدية الاكثر تطورا معايير وفق الاتحاد الدولي للسكك الحديدية وقد تم تنفيذ النمذجية الهندسية للمشروع تحت برنامج كوفاديس **2016**

Summary

This project is mainly to study detailed design (ODA) of a section of the new railway line Tissemsilt –Boughezoul (section 12.325 km), with Conception of the station Hassi EL fedoul

The identification of the most appropriate specifications for the proposed railway line will be based on the recommendations and practices which are followed by SNTF (National Railway Transport Company) and other more developed rail systems UIC standards (International Federation of Railways), geometric modeling of the project was carried out under COVADIS 2016 software

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Recherche bibliographique..... 2

I.1 Introduction : 2

I.2 La soudure aluminothermique : 2

I.3 Défauts de soudure : 3

I.4 Effets des défauts de soudure aluminothermique sur le comportement mécanique des rails : 6

I.5 Conclusion : 7

CHAPITRE II. Présentation du projet

Présentation du projet..... 8

II.1 Introduction : 8

II.2 Description générale de projet : 8

II.3 Les objectifs du projet : 9

II.4 Présentation du projet d'étude : 9

II.4.1 Caractéristiques de la ligne : 10

II.5 Présentation de la wilaya de Djelfa : 10

II.5.1 Caractéristiques climatiques : 11

II.5.2 Relief : 12

II.5.3 Sismicité : 12

II.5.4 L'infrastructure de base de Djelfa : 13

II.6 Conclusion : 13

CHAPITRE III. Superstructure de la voie

Superstructure de la voie 14

III.1 Introduction : 14

III.2 La voie : 14

III.2.1 Catégorie de voies : 14
III.2.2 Rôle de la voie : 14
III.2.3 Caractéristiques de la voie : 15
III.3 Les composants de la voie : 15
III.3.1 Le rail : 15
III.3.2 Les traverses : 20
III.3.3 Les attaches travers-rail : 23
III.3.4 Les semelles : 24
III.3.5 Les appareilles de voie (ADV) : 25
III.4 Conclusion : 27
CHAPITRE IV. Trace en plan 14
Tracé en plan 28
IV.1 Introduction : 28
IV.2 Tracé en plan : 28
IV.2.1 Conditions et règles à respecter dans le tracé en plan : 28
IV.2.2 Les éléments de tracé en plan : 29
IV.2.3 Application au projet : 35
IV.3 Conclusion : 37
CHAPITRE V. Profil en long
Profil en long 38
V.1 Introduction : 38
V.2 Règles à respecter dans le tracé du profile en long : 38
V.3 Eléments de composition du profile en long : 39
V.3.1 La déclivité admise varie en fonction de sa longueur : 39
V.3.2 Choix des cercles : 39
V.3.3 Longueur minimale des pentes uniformes : 40
V.4 Application au projet : 40

V.5 Les contraintes le long du tracé : 41
V.6 Conclusion : 41

CHAPITRE VI. Etude hydrologique et hydraulique

Etude hydrologique et hydraulique 42
VI.1 Introduction : 42
VI.2 Etude hydrologique : 42
VI.2.1 Climatologie : 42
VI.2.2 Pluviométrie : 43
VI.3 Bassins versants : 46
VI.3.1 Introduction : 46
VI.3.2 Les caractéristiques des bassins versants : 46
VI.4 Calcul du débit maximal dans le bassin versant (débit de crue) : 49
VI.4.1 Formule de Mallet et Gautier : 49
VI.4.2 Formule rationnelle : 49
VI.4.3 Formule de Crupedix (1980-1982) : 50
VI.4.4 Formule de Turraza : 51
VI.4.5 Résultats : 51
VI.5 Calcule hydraulique et dimensionnement : 52
VI.5.1 Dimensionnement du dalot : 52
VI.5.2 Ouvrages d'assainissement longitudinaux : 57
VI.6 Conclusion : 60

CHAPITRE VII. : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Etude géologique et géotechnique 61
VII.1 L'étude géologique : 61
VII.1.1 Introduction : 61
VII.1.2 La géologie de l'Algérie : 61
VII.1.3 La géologie régionale : 62

VII.1.4 Géologie locale : 64
VII.1.5 La sismicité de la zone d'étude : 64
VII.2 L'étude géotechnique : 65
VII.2.1 Introduction : 65
VII.2.2 Programme d'investigation géotechnique : 65
VII.2.3 Compagne de reconnaissance : 70
VII.3 : Conclusion : 74

CHAPITRE VIII. ASSISE FERROVIARE ET PROFIL EN TRAVERS

Assise ferroviaire et profile en travers 75
VIII.1 Assise ferroviaire : 75
VIII.1.1 Introduction : 75
VIII.1.2 Les couches d'assise : 75
VIII.1.3 Dimensionnement de la couche d'assise : 76
VIII.1.4 Structure d'assise retinue: 80
VIII.2 Profile en travers : 81
VIII.2.1 Les éléments du profile en travers : 81
VIII.2.2 Constituantes de profile en travers type : 81
VIII.2.3 Profile en travers de mon projet : 82
VIII.3 Conclusion : 82

CHAPITRE IX. TERRASSEMENTS ET OUVRAGES

Terrassements et ouvrages 83
IX.1 Terrassements : 83
IX.1.1 Introduction : 83
IX.1.2 Section déblais : 83
IX.1.3 Section remblais : 83
IX.1.4 Etude de stabilité : 84
IX.1.5 Calcul des volumes des terrassements : 84

IX.2 Les ouvrages d'art : 85
IX.2.1 Les croisements avec la route : 85
IX.2.2 Les ouvrages de notre projet : 85
IX.3 Conclusion : 86

CHAPITRE X. CONCEPTION DE LA GARE

Conception de la gare 87
X.1 Introduction : 87
X.2 Types des gares : 87
X.3 ETUDE DU PLAN DE MASSE D'UNE GARE : 87
X.4 Installation d'une gare voyageur : 88
X.5 Garage franc : 88
X.6 Heurtoire: 89
X.7 Caractéristiques géométriques des gares : 89
X.7.1 Longueur utile d'une voie de stationnement : 89
X.7.2 Déclivité dans les gares : 89
X.7.3 Les quais : 89
X.8 Application au projet : 90
X.8.1 Localisation de la gare Hassi Fedoul : 90
X.8.2 Géométrie de trace : 91
X.8.3 Caractéristiques géométriques de la gare : 91
X.9 Profile en travers : 92

CHAPITRE XI. DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT DE LA GARE

Drainage et assainissement de la gare 93
XI.1 Introduction : 93
XI.2 Considération générales et conception du système : 93
XI.3 Calcule des débites affluentes au système de drainage longitudinal : 93
XI.4 Dimensionnement des différents organes : 95

XI.4.1 Dimensionnement des drains : 95
XI.4.2 Dimensionnement des Collecteurs : 97
XI.4.3 Dimensionnement des fossés : 98
XI.5 Bassin de décontation : 100
XI.6 Conclusion : 100

CHAPITRE XII. SIGNALISATION FERROVIAIRE

Signalisation ferroviaire 101
XII.1 Introduction : 101
XII.2 Objectifs de la signalisation : 101
XII.3 Les signaux: 101
XII.4 Implantation longitudinal: 101
XII.5 Les types de signalisation ferroviaire : 102
XII.5.1 Signalisation classique : 102
XII.5.2 Signalisation moderne : 103
XII.6 Conclusion : 105

CHAPITRE XIII. ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Etude d'impact sur l'environnement 106
XIII.1 Introduction : 106
XIII.2 Objectif de l'étude d'impact sur l'environnement : 106
XIII.3 Description du milieu 106
XIII.3.1 Milieu physique : 106
XIII.3.2 Milieu biologique : 107
XIII.3.3 Milieu humain : 107
XIII.4 Analyse des impacts : 108
XIII.4.1 Identification des impacts : 108
XIII.4.2 Activités génératrices des impacts envisages : 108
XIII.4.3 Impacts positifs : 109

XIII.5 Les mesures prises pour minimiser les impacts : 110

XIII.6 Conclusion : 112

CHAPITRE XIV. DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Devis quantitatif et estimatif 113

Conclusion générale

Liste des figures

Figure I. 1 :Soudure aluminothermique d'un rail ……..3

Figure I. 2 :fissuration à chaud ……4

Figure I. 3 :Rupture des rails ……4

Figure I. 4 : Défaut d'adhésion et défaut de soufflures multiples……...7

Figure II. 1 : Image représentative de projet complet……..……....8

Figure *II.* 2 : Situation géographique du tronçon d'étude……9

Figure II. *3* Géolocalisation de la wilaya de Djelfa sur la carte d'Algérie……..*11*

Figure II. 1 : Diagramme ombrothermique……..*12*

Figure III. 1 : La section transversale de rail de Vignole…… ..*16*

Figure III. 2 : rail à gorge ……17

Figure III. 3 : rail à double champignon……..17

Figure III. 4 Profile de rail UIC60 E1 ……..18

Figure III. 5 : Assemblage des rails par éclissage ……...19

Figure III. 6 : soudure des LRS ……..20

Figure III. 7 : Traverse Bi-bloc ……...…21

Figure III. 8 : Traverse Monobloc ……..…21

Figure III. 9 : Traverse en bois ……22

Figure III. 10 : Traverse en acier ……..23

Figure III. 11 : Attache élastique de type NABLA ……..24

Figure III. 12 : Les semelles……...24

Figure III. 13 : Partie Croisement ……25

Figure III. 14 : Constitution d'un Branchement……26

Figure III. 15: Cinématique du Franchissement d'Aiguille……..26

Figure III. 16 : Traverses jonction simples……27

Figure IV. 1 : Les éléments de tracé en plan……29

Figure IV. 2 : force centrifuge et devers……...31

Figure VI. 1 : Carte pluviométrique du site ……41

Figure VI. 2 : Ajustements des pluies maximales journalières Station de Ksar Chellala……45

Figure VI. 3 : Carte de situation de la région d'étude……46

Figure VI. 4 : Délimitation des bassins versants ……..…47

Figure VI. 5 : Dimensions du dalot…….53

Figure VI. 6 : fosse de forme trapézoïdale…….….57

Figure VI. 7: Dimension d'un fossé ……....60

Figure VII. 1 : Carte géologique d'Algérie…….62

Figure VII. 2 : Carte géologique du projet ……63

Figure VII. 3: carte sismique de l'Algérie de la distribution des zones sismiques…….....64

Figure VIII. 1: schéma illustrative qui montre les épaisseurs de couche d'assise……..77

Figure VIII. 2 : profil type des couches d'assise……...….80

Figure X. 1 : Garage franc……...88

Figure X. 2 : longueur utile…….....89

Figure X. 3: Gare voyageurs Hassi Fedoul…….91

Figure XI. 1: Exemple de réalisation d'un drain en pvc perforée à mon lieu de stage……..96

Figure XII. 1 : Schéma illustratif de canton…….….102

Figure XII. 2 : les trois niveaux ERTMS……...104

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II. 1 : Information sur la wilaya de Djelfa……11

Tableau IV. 1 : Longueur minimale des éléments de tracé …….....29

Tableau IV. 2: Valeur limite du dévers pratique ……..……..32

Tableau IV. 3: Variation de dévers dans les courbes de transition…….…… ..34

Tableau IV. 4:Paramètre géométrique de trace en plan (SNTF)…….……..34

Tableau IV. 5: Tableau récapitulative des paramètres de trace……..……...36

Tableau V. 1: Valeurs de rayon verticale minimale……..……...39

Tableau V. 2 *:* Longueur minimale des déclivités…….....*40*

Tableau *V. 3:* Paramètres géométriques de profil en long…….…*40*

Tableau *VI. 1* : Les températures annuelles mensuelles de la willaya de Djelfa…….……*43*

Tableau *VI. 2 :* Caractéristiques statistiques des pluies annuelles…….…...*44*

Tableau VI. 3 : valeurs des pluies journalières selon les fréquences choisies pour la station de Ksar Chellala…….....*45*

Tableau VI. 4: Les débits max d'oued pour une période de 100 ans…….....51

Tableau VI. 5 : Valeurs de Ks selon SETRA…….....52

Tableau VI. 6: Condition d'auto curage du dalot……55

Tableau VI. 7 : Tableau récapitulatif de dimensions du Dalot avec les vérifications des conditions d'auto curage……56

Tableau VI. 8 : Surfaces des sous bassins versants…….……*58*

Tableau VI. 9: Tempes de concentration…….....58

Tableau VI. 10: Débit d'apport……..…..59

Tableau VII. 1: Programme d'investigation de lot voie ferrée…….…66

Tableau VII. 2 : Les puits de reconnaissance ……....70

Tableau VII. 3: tableau récapitulatif des résultats des essais d'identification et de propreté des sols et leur classification GTR……..……71

Tableau VII. 4 : Qualification de la fraction du sol en fonction de l'indice de plasticité …….……72

Tableau VII. 5 : tableau récapitulatif Des Essais mécaniques……..73

Tableau VII. 6 : Tableau récapitulatif des essais chimiques…… ...73

Tableau VII. 7 : Tableau récapitulatif des essais chimiques……73

Tableau VII. 8 : résultats des essais physiques et chimiques……74

Tableau VIII. 1 : épaisseur de la couche de forme (UIC 719R)…….....77

Tableau VIII. 2 : Valeur des coefficients de la formule de calcul d'épaisseur selon UIC719R……..78

Tableau VIII. 3: Application du projet……79

Tableau VIII. 4 : Epaisseurs des différentes couches de la voie……80

Tableau VIII. 5 : les éléments de profile en travers type ……..….81

Tableau IX. 1 : Les différentes déblais de noter projet……...83

Tableau IX. 2 : Les différentes remblais de noter projet……..…..…83

Tableau IX. 3: Tableau Récapitulatif des volumes de terrassement…….…84

Tableau IX. 4: Tableau Récapitulatif des volumes des couches d'assise……..84

Tableau IX. 5 : Liste des ouvrages d'art pour mon projet…….…85

Tableau IX. 6:liste des pistes à supprimer……...86

Tableau X. 1: Les caractéristiques géométriques du quai……90

Tableau X. 2: Les dimensions des Quais…….91

Tableau XI. 1 : Les caractéristiques des sous-bassins versants……94

Tableau XI. 2 : Dimensions des drains……96

Tableau XI. 3: Dimensions des Collecteurs……..…97

Tableau XI. 4 : les paramètres de vérification d'auto curage ……..98

Tableau XI. 5: Condition d'auto curage…….98

Tableau XI. 6 : Dimensions des fossés……99

Tableau XIII. 1 : Les activités génératrices des impacts envisagés…….....108

INTRODUCTION GENERALE

Les systèmes de transport efficaces et les réseaux modernes sont essentiels pour favoriser le développement économique, le bien-être social et la production à grande échelle, ce qui fait du transport l'un des piliers fondamentaux de la prospérité dans n'importe quel pays.

L'infrastructure de transport comprend différents moyens qui visent à reprendre aux besoins de déplacement et de mobilité des citoyens dans les meilleures conditions de confort, de sécurité, de disponibilité, de cout et d'efficacité. En Algérie, le secteur des transports subit actuellement une véritable mutation. De nombreux projets ont été réalisés ou sont en cours de réalisation pour rendre ces secteurs plus performants et plus efficaces en matière de développement économique du pays.

Parmi ces secteurs, de transport ferroviaire a connu un développement remarquable ces dernières années. Le réseau de chemins de fer en Algérie figure désormais parmi les plus modernes d'Afrique. Initialement crée a la fin du XIXe siècle pour le transport de personnes et de marchandises, il avait également pour objectif de désenclaver les régions éloignées du pays et d'assurer une croissance économique et sociale équilibrée.

Parmi ces projets on compte la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique a trafic mixte, qui relie Tissemsilt et Boughezoul de PK [1+165,172]) au PK 129+900 sur un linéaire de 128,734km.

Notre présent projet de fin d'étude consiste à faire une étude avant-projet-détaille d'un tronçon appartenant à cette ligne situe dans la wilaya de Djelfa sur un linéaire de 12,325 km allant du PK 44+675 jusqu'au PK 57+000.

CHAPITRE I. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Recherche bibliographique

I.1 Introduction :

La voie ferrée est l'un des moyens de transport les plus importants et les plus efficaces dans le monde, permettant de transport des marchandises et des voyageurs à grande vitesse et sur de longues distances. Pour garantir la sécurité et la stabilité des trains en circulation, il est crucial que les rails soient correctement assemblés et soudes.

La soudure est donc un élément essentiel de la construction et de l'entretien de la voie ferrée, qui permet de relier les rails entre eux de manier sure et solide. Les soudures enter les rails doivent être réalisées avec une grande précision et une grande qualité pour garantir une résistance élevée aux contraintes de la circulation, aux variations de température, aux vibrations et aux chocs.

Ce présent chapitre est une synthèse sur la soudure aluminothermique, mettant en évidence ses défauts et l'effet de ses défauts sur le comportement mécanique de rail.

I.2 La soudure aluminothermique :

La soudure aluminothermique est une technique de soudure qui consiste à produire une réaction chimique enter l'aluminium et l'oxyde de fer pour produire de l'acier liquide qui remplit l'espace entre les deux pièces à assembler. Cette technique est largement utilisée dans l'industrie ferroviaire pour assembler les rails en créant des soudures d'une qualité exceptionnelle, quasi-inaltérables et durable. La soudure aluminothermique permet également de réaliser des soudures homogènes, exemptes de porosité résistance a l'oxydation. De plus, cette technique ne nécessite pas d'énergie autre que celle produite par la réaction chimique elle-même, ce qui permet de réaliser les soudures sur site en toute.



Figure I. 3 Soudure aluminothermique d'un rail[1]

I.3 Défauts de soudure :

- **Défaut interne :**

Tout défaut découvert suite a une coupe, ou visible sur la surface de rupture après des tests de flexion ou de fatigue, qui n'a pas été préalablement identifie comme un défaut de surface blême.

- **Fissuration à froid :**

La fissuration peut se produire soudainement a basse température ou plusieurs jours après le soudage. Elle survient principalement dans la zone affectée thermiquement et rarement dans la zone fondue. La fissure est très mince, ce qui la rend redoutable.

Origine de la fissure :

- La soudure a une faible ductilité (dureté).
- La présence de martensite liée a la trempabilité du métal. Si le métal dépose a une teneur en carbone de ≥ 0,25% et qu'il subit un cycle de refroidissement rapide.
- Une faible énergie nominale.

[1] https://blogcfl.lu/fr/simplement-explique/la-maintenance-des-voies

- **Fissuration à chaud :**

La fissuration a chaud se produit à des températures très élevées lors du refroidissement du bain de fusion. Lors de la solidification de la soudure, des cristaux se forment à partir de la zone de liaison vers le center et la surface de la soudure. Ces fissures peuvent apparaitre dans la zone fondue ainsi que dans la zone affectée thermiquement, et se développent dans les sens longitudinal ou transversal des soudures. Pendent la solidification, des contractions importantes peuvent séparer les cristaux, créant contraintes de retrait.

Elle est cause par des phénomènes de micro ségrégation aux joints de grains, créant des zones a bas points de fusion associées aux contraintes résultant des déformations thermiques.

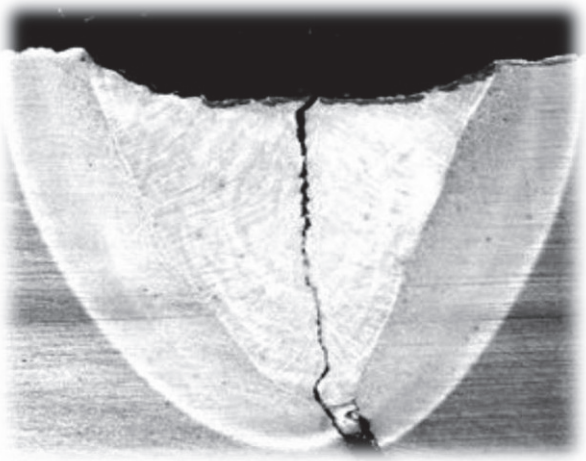


Figure I. 4 fissuration à chaud[2]

- **La porosité :**

La porosité est le résultat de petites bulles de gaz qui ne peuvent pas s'échapper lorsque le bain de fusion est liquide (flocons). Ces bulles peuvent être causées par le dégagement d'hydrogène, d'azote, de CO ou de gaz sulfureux SO2. Pour éviter la porosité, il est important se souder sur des pièces propres, non humides, exemple de rouille, non grasses et exemple de calamine. De plus, il est recommandé d'utilise une énergie de soudage moyenne, car une énergie trop élevée peut augmenter rapidement la quantité de gaz dans le bain de fusion.

[2] https://www.rocdacier.com/wp-content/uploads/2018/09/fissuration-a-chaud

- **Corrosion inter granulaire :**

Elle est principalement observée dans les aciers inoxydables austénitiques en raison de la sensibilisation du matériau après des cycles thermiques provenant de la fonderie, du traitement thermique ou du soudage. La précipitation de composes aux joints de grains appauvrit la teneur en éléments d'alliage dans les régions adjacents, ce qui diminue le comportement anticorrosif.

Cette corrosion se localise préférentiellement aux joints de grains et peut entrainer la défaillance du métal sans perte de masse visible.

- **La fatigue :**

Les procèdes de soudage ont peu d'effet sur la fatigue, à condition qu'il n'y ait pas de porosité ou de défauts tels que des criques, caniveaux ou morsures. Les soudures ont alors de bonnes propriétés de résistance en fatigue du métal de base et améliorant la résistance a propagation des fissures. En général, la rupture survient en dehors de la zone soudée.

- **Rectitude du joint soude :**

Il est essentiel de s'assurer que les sections des rails en contact pour le soudage soient parfaitement alignées, en particulier au niveau de leurs extrémités. Si cette condition n'est pas respectée, il y aura un décalage qui causera une contrainte localisée, entrainant ultérieurement des fissures et des ruptures du patin au rail.

- **Rupture de la soudure aluminothermique :**

Ce défaut se produire généralement lorsque la soudure n'a pas été correctement réalisée, en particulier lorsque les rails ne sont pas bien alignés ou que la soudure n'a pas été remplie de manière uniforme. Cela peut entrainer une faiblesse dans la soudure, ce qui peut causer une rupture sous la pression du trafic ferroviaire.



Figure I. 5 Rupture des rails[3]

I.4 Effets des défauts de soudure aluminothermique sur le comportement mécanique des rails :

- **Défaut d'adhésion :**

Le défaut d'adhésion est un défaut majeur dans les chemins de fer. Ce défaut génère 75% des rupture transversale au niveau de l'interface rail/ soudure et qui pourrait être génère par une insuffisance en préchauffage.

En effet, au niveau des bords de ce défaut, des pics ont été développés pour toutes les composantes. La valeur maximale de ces pics a été obtenue pour la composante S_{zz} à proximité de la surface libre du patin est de l'ordre de 290 MPA.[4]

- **Défaut de soufflures multiples :**

Au moment de l'exécution d'un soudage, l'emprisonnement de gaz lors du moulage génère un défaut sur le métal d'apport, qui s'appelle le défaut de soufflures multiples.

Les soudures affectées ont été caractérisées après rupture par une grande abondance de soufflures donnant au métal allure a l'intérieure de la soudre.

Ce défaut résulte généralement de l'utilisation d'une charge humide ou d'une coulée dans un creuset ou un moule insuffisamment étuvé.

[3] https://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/rail/1999/r99h0010/r99h0010.html

[4] Mouallif et al. : M´ecanique & Industries 12, 343–351 (2011)

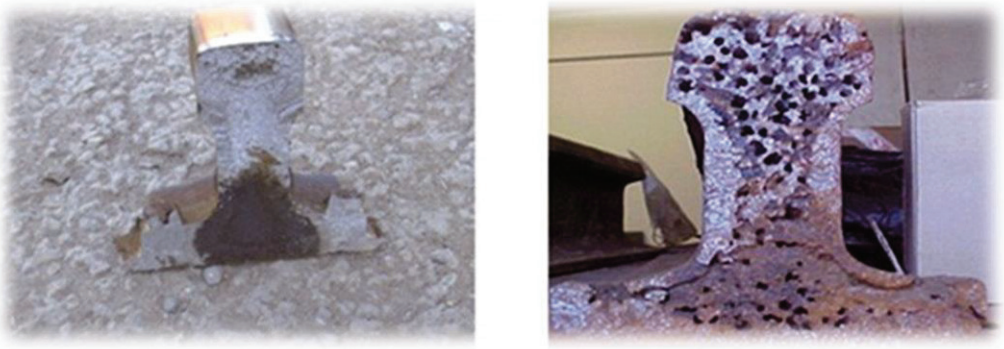


Figure I. 6 : défaut d'adhésion et défaut de soufflures multiples

I.5 Conclusion :

Le soudage aluminothermique est actuellement la méthode la plus courante pour joindre les rails dans les chemins de fer. Cependant, il a été constaté que l'endommagement des rails se produit le plus souvent dans les zones soudées, ce qui peut avoir de graves conséquences sur la sécurité et le confort au cours du fonctionnement.

CHAPITRE II. Présentation du projet

Présentation du projet

II.1 Introduction :

L'Agence Nationale d'Etude et de suivi des Réalisations des Investissements Ferroviaires « ANESRIF » a mis en place un programme visant à développer économiquement les zones des hauts plateaux dans le cadre du développement du réseau ferroviaire en Algérie. Dans ce contexte, le chemin de fer Tissemsilt-Boughezoul est l'un des projets importants qui contribueront à la relance de la mobilité économique dans ces zones.

II.2 Description générale de projet :

Le projet de la nouvelle ligne Tissemsilt-Boughezoul est un projet stratégique à la fois sur le plan économique et social. Son objectif est de construire un tronçon dans le cadre de la réalisation de la rocade des Hauts Plateaux et de créer des interconnexions avec la rocade ferroviaire est-ouest. Ce projet vise également à offrir un transport rapide et confortable aux voyageurs.

Cette ligne ferroviaire est conçue comme ligne de grande vitesse (LGV), elle prend naissance à la gare de Tissemsilt, reliant la ville de Tissemsilt à la ville de Boughezoul, en traversant les communes de Colonel Bougara, Hassi Fedoul, Sidi Ladjel et Chahbounia, sur un L= 128.734 Km.

Les caractéristiques géométrique et techniques sont basées sur des normes et des règles ferroviaires nationales, les normes **SNTF** et les recommandations du **UIC.**

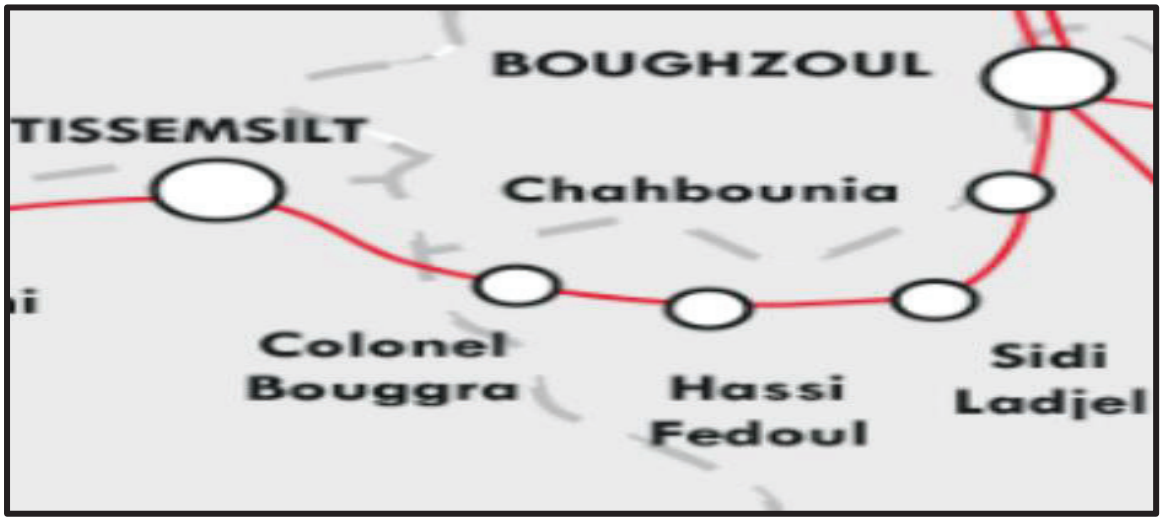


Figure II. 2 : Image représentative de projet complet[5]

[5] L'Agence Nationale d'Etude et de suivi des Réalisations des Investissements Ferroviaire

II.3 Les objectifs du projet :

- ✓ Relie les zones isolées aux grandes villes.
- ✓ Gagner du temps en déplacement et réduise les risques.
- ✓ Faire inclure le tronçon dans le réseau ferré national et dans la ligne des hauts plateaux précisément.

II.4 Présentation du projet d'étude :

Le présent projet a pour objet l'étude avant-projet détaille (APD) d'une section de 12+325 km de la nouvelle ligne ferroviaire reliant Tissemsilt à Boughezoul, précisément enter les point kilométriques PK 44+675 et PK 57+000. Avec la conception de la gare de Hassi Fedoul.

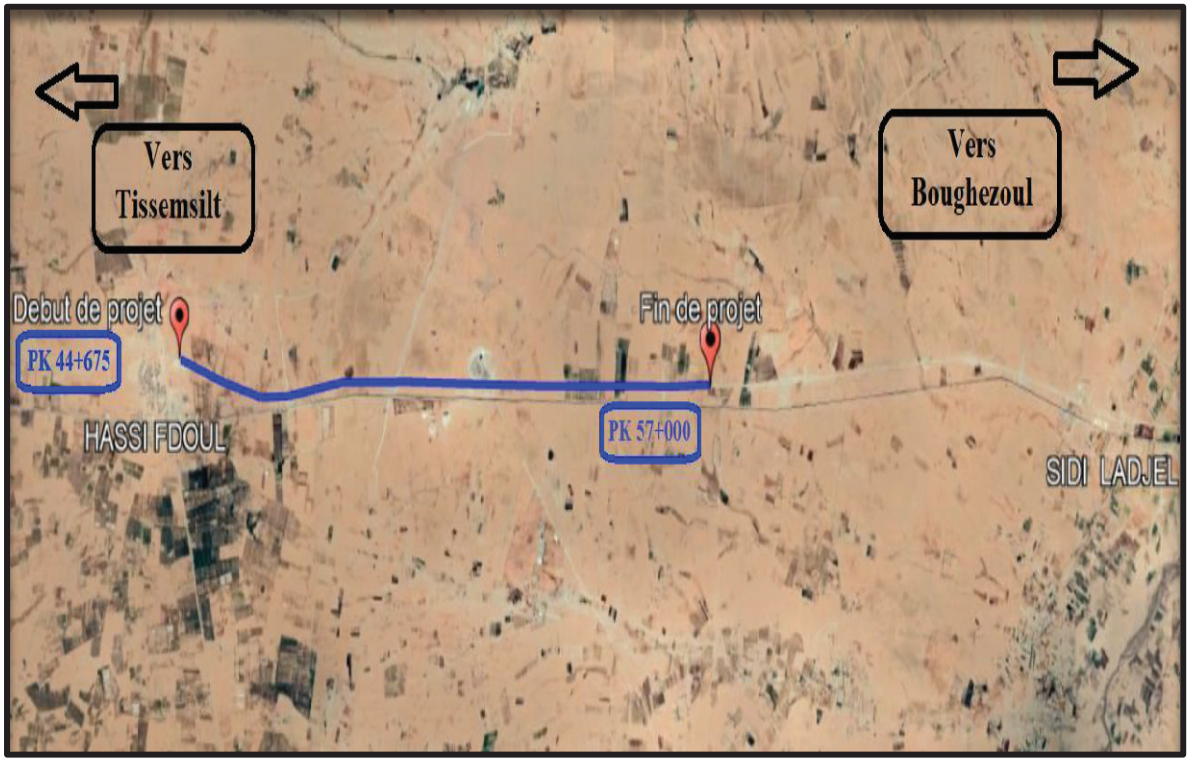


Figure II. 3 : Situation géographique du tronçon d'étude

Ainsi, comme on peut le voir sur la figure ci-dessus, le projet se situe exactement enter les communes de Hassi Fedoul et Sidi Ladjel dans la Wilaya de Djelfa.

II.4.1 Caractéristiques de la ligne :

La nouvelle ligne est conçue comme suite :

- Caractéristiques géométriques selon SNTF et les standards UIC.
- Longueur de trace 12+325 km.
- Ligne à voie unique posée sur une plateforme de 8 m.
- Mode de traction prévue : Diesel, avec prévision d'une électrification future.
- Une vitesse des trains voyageurs de 160 km/h.
- Traffic marchandises en pleine voie et zones montagneuse de 100 km/h.
- Le rail utilise sera du type UIC 60 E1, en pleine voie et en gares.
- Les traverses en béton armée bi-bloc type VAX U31
- Ecartement : La voie sera construite avec une écartement normale e= 1435 mm.
- Gabarit : le gabarit a dégagé est celui ligne à grande vitesse c'est-à-dire le gabarit GC de l'UIC.
- Charge à l'essieu : pleine voie : 20 tonnes, et 25 tonnes dans les ouvrages d'arts.
- Système d'attache : Attache élastiques type Nabla.
- La gare de Hassi Fedoul.

II.5 Présentation de la wilaya de Djelfa :

La wilaya de Djelfa occupe une position stratégique en Algérie en tant que porte de Sahara, reliant le nord et le sud du pays. Elle s'étale sur de vastes plaines steppiques qui s'étendent jusqu'au piémont de l'Atlas tellien.

Les limites de la wilaya sont définies par les wilayas voisines suivantes :

- Médéa et Tissemsilt au Nord.
- M'Sila et Ouled-djellal à l'Est.
- Laghouat et Tiaret à l'Ouest.
- Ghardaïa et Ouargla au sud.

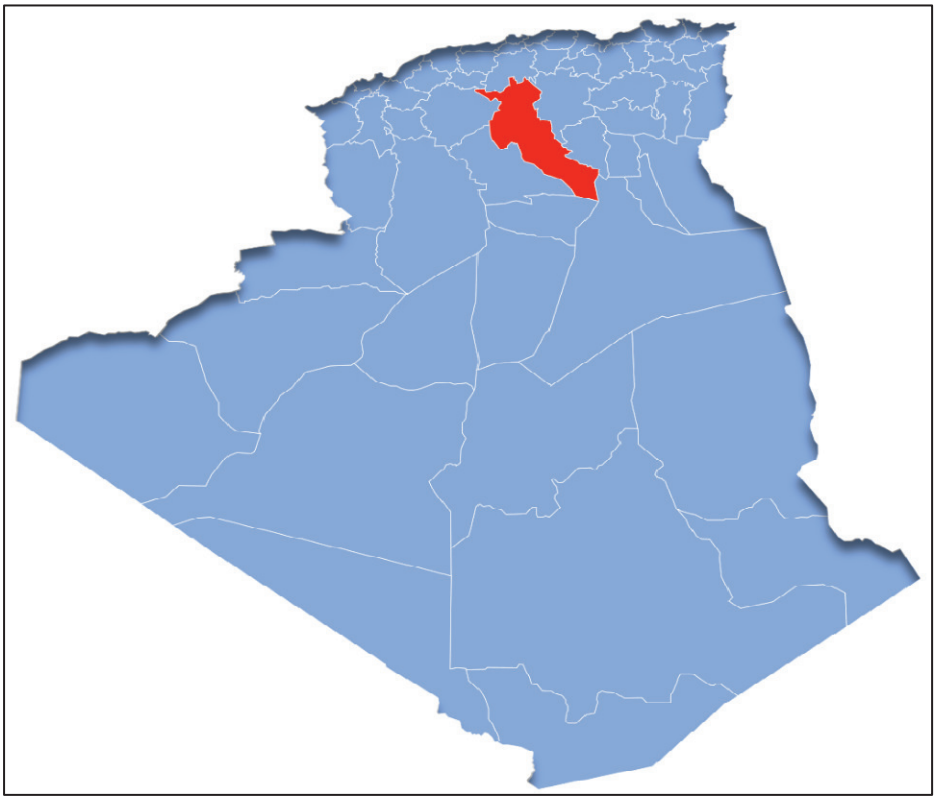


Figure II. 4 : Géolocalisation de la wilaya de Djelfa sur la carte d'Algérie[6]

Tableau II. 2 Information sur la wilaya de Djelfa

Superficie	**66 415 Km2**
Population	**490 248 hab**
Altitude	**1140 m**

II.5.1 Caractéristiques climatiques :

Le climat de Djelfa peut être défini comme méditerranéen continentalise, puisque les températures sont similaires à celles du climat méditerranéen, mais l'hiver est assez froid, tandis que l'été est très chaud.

Les précipitations ne sont pas abondantes.

6 https://fr.wikipedia.org/wiki/Djelfa

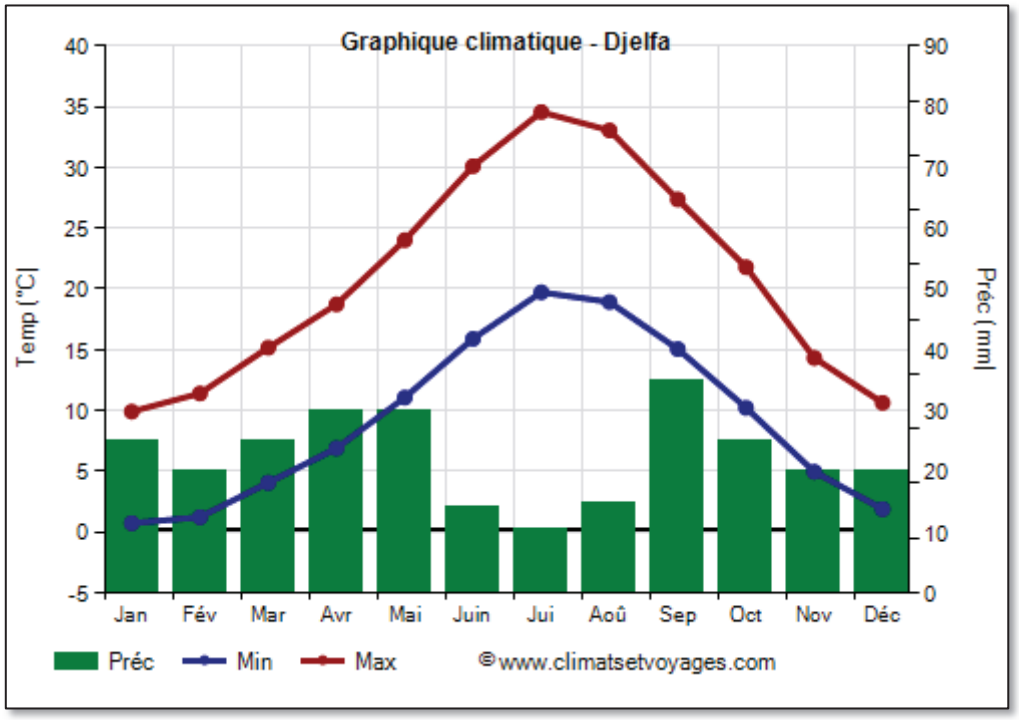


Figure II. 5 : Diagramme ombrothermique[7]

- La température moyenne du mois le plus froid (janvier) est de 5.3 °C, celle du mois le plus chaud (juillet) est de 27,1 °C.
- Le cumul annuel des précipitations s'élevé à 275 millimètres, révélant une faible pluviosité. En juillet, le niveau de précipitation est de 11 mm, tandis qu'en septembre, mois le plus humide, il atteint 35 mm.

II.5.2 Relief :

Située dans la partie septentrionale de la région des hauts-plateaux, la wilaya de Djelfa présente une altitude moyenne de 690 mètres. Quant au relief du site étudie, il est généralement plat.

II.5.3 Sismicité :

Selon le règlement parasismique Algérien « RPA 99/version2003 », le territoire national est divisé en cinq régions sismiques. La wilaya de Djelfa, tout comme la plupart des régions des hauts plateaux algériens, est considérée comme une zone de faible sismicité, classée en zone 1.

7 https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie/djelfa

II.5.4 L'infrastructure de base de Djelfa :

La position géographique de la wilaya de Djelfa lui confère des atouts considérables en termes d'infrastructure économique et de logistique, ce qui la place dans une position idéale pour un développement économique emportant.

- **Infrastructures routières**

Il s'agit d'un réseau compose de

- 1010,50 km de routes nationales (RN 01 et RN 46).
- 446,5 km de chemins de wilaya.
- 819,6 km de chemins communaux.
- Et 167 ouvrages d'art.

- **Infrastructures ferroviaires**

La wilaya traverse l'un des deux projets ferroviaires les plus importante

- La nouvelle ligne Tissemsilt-Boughezoul.
- La nouvelle ligne Djelfa Boughezoul.

- **Infrastructure aéroportuaire**

  Un aéroport national de 553 hectares avec deux pistes de (1800 × 45 mètres et 1400× 45 mètres).

II.6 Conclusion :

Actuellement, d'importance investissements sont prévus par le pays pour relancer ce secteur, ce qui entrainera l'émancipation de nombreuses régions qui sortiront simultanément de leur isolement géographique.

CHAPITRE III. Superstructure de la voie

Superstructure de la voie

III.1 Introduction :

L'ensemble des éléments fixes de l'infrastructure ferroviaire assurent la trajectoire des véhicules en garantissant la portance, le guidage et l'évitement des obstacles. Les équipements de sécurité sont également indispensables pour remplir cette fonction.

Les éléments constitutifs de la superstructure de la voie sont : le ballast, les traverses, les rails ainsi que leurs accessoires.

III.2 La voie :

Le transport ferroviaire utilise le terme "voie " pour désigne l'ensemble des éléments qui permettent la circulation des trains en supportant les efforts transversaux, longitudinaux et verticaux résultant de l'interaction entre les rails et les essieux.

Ce qui caractérise essentiellement le chemin de fer, c'est la capacite de guider mécaniquement les véhicules avec un roulement en acier sur acier, offrant ainsi une faible résistance à l'avancement.

III.2.1 Catégorie de voies :

Les voies sont catégorisées en plusieurs types, chacun ayant un objectif spécifique réserve pour son utilisation, on distingue ainsi :

- Les voies principales, affectées à la circulation des trains
- Les voies de circulation, affectées à desserte interne des grande complexes ferroviaires
- Les voies de service, affectées aux manœuvres, elles sont constituées en général par des anciennes principales déclassées
- Les voies d'évitement, qui permettent à deux trains circulant à conter sens sur une voie unique de se croiser
- Les voies de garage, affectées au stationnement du matériel roulant

III.2.2 Rôle de la voie :

Deux fonctions principales sont assurées par la voie :

- Assurer le support et le guidage du matériel roulant
- Transmettre et guider les charges des essieux au sol naturel

III.2.3 Caractéristiques de la voie :

Grace aux progrès technologique, il est possible de construire une voie moderne qui répond aux normes internationales. Pour atteindre cet objectif, la SNTF a pris en compte les éléments constitutifs suivants :

- L'écartement de la voie (écartement normale 1435 mm)
- Le mode de fixation des rails aux traverses (attaches élastiques)
- Type de rail utilise
- Type de traverses et sont densité
- Le support (ballast au béton)
- La vitesse des trains (voyageurs, marchandises)

III.3 Les composants de la voie :

III.3.1 Le rail :

Le rail est un élément en acier de forme unique qui s'étire de manière linéaire pour former une voie ferrée lorsque deux rails sont disposés en parallèle. Pour maintenir le centrage des roues du train, les rails sont légèrement inclinés vers l'intérieur avec une pente de 1/20 en position normale. Les rails sont disponibles en deux longueurs différentes : 18 m ou 36 m.

Le rail a pour rôle d'assurer les fonctions suivantes :

- Réaliser le guidage des roues et ces mouvements
- La transmission des charges verticale des roues aux traverses
- Il joue également un rôle important dans la transmission du courant électrique, permettant ainsi d'assurer la signalisation et la traction des trains sur les ligne électrifiées

III.3.1.1 Les types de rail :

Il existe 3 types sont :

- **Le rail Vignole**
- **Rail a gorge**
- **Les rails à double champignon**

❖ Le rail Vignole :

Ce type de rail, appelé « rail de Vignole » où « rail a patin », c'est un choix privilège pour les voies ferrée ballasté. Ce type de rail comprend trois parties essentielles :

- **Le patin** permettant l'appui sur la traverse
- **L'Âme** assurant l'inertie verticale pour supporte la charge
- **Le champignon,** a forte inertie transversale comprenant la table de roulement et les joues

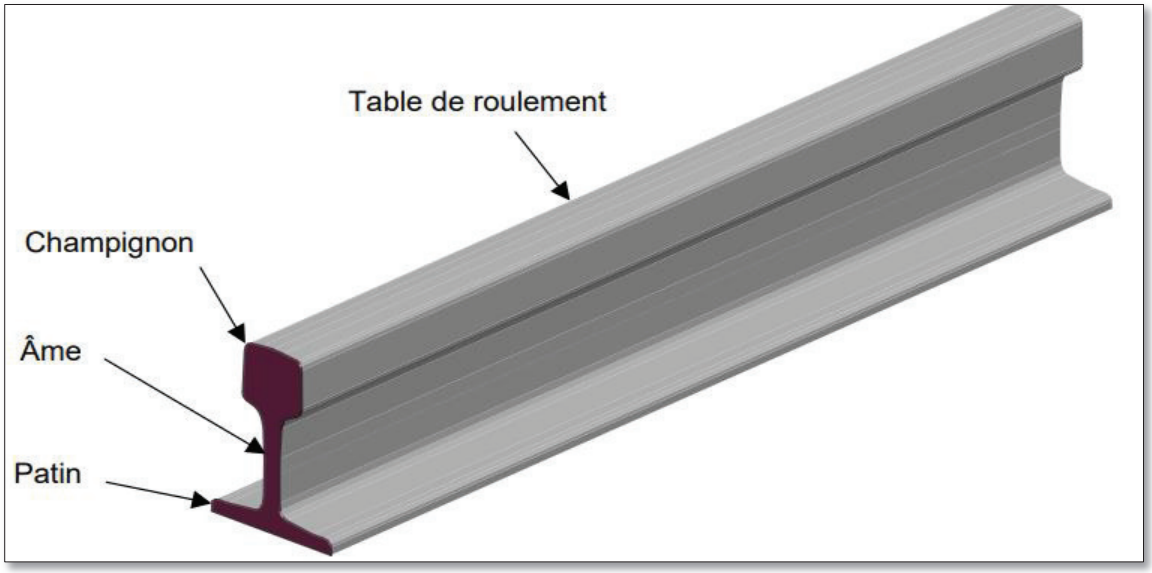


Figure III. 6 : La section transversale de rail de Vignole[8]

❖ Le rail à gorge :

Appelé « rail a gorge » ou « rail- tramway » destine à la pose en chaussée, noyé dans le revêtement. Son utilisation est réservée aux voies urbaines, industrielles ou portuaires, compatibles avec la circulation automobile.

8 Cours de traction ferroviaire de Pierre Chapas Edition 2001

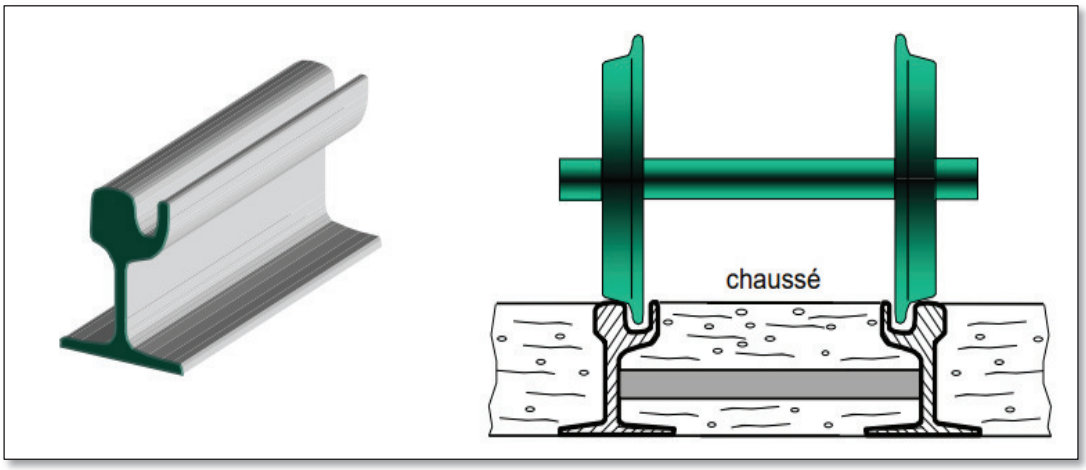


Figure III. 7 : rail à gorge [9]

❖ **Le rail à double champignon :**

Le rail a double champignon symétrique avait été conçu dans le but de prolonger sa durée de vie en le retournant lorsqu'il était usé. Cependant, ce système présentait un défaut majeur : lorsqu'il était retourne, le rail était déjà endommagé en raison des poinçonnements causes par l'écrasement au niveau des berceaux. Par conséquent, ce principe a finalement été abandonné.



Figure III. 8 : rail à double champignon[10]

9 Cours de traction ferroviaire de Pierre Chapas Edition 2001

10 https://boowiki.info/images/b540_29/220px-DB_Museum_double-headed_rail_1.jpg

- **Remarque** : Dans le cas de notre projet on utilise des rails de type **Vignole UIC 60E1.**

III.3.1.2 Caractéristiques de rail Vignole UIC 60 E1 :

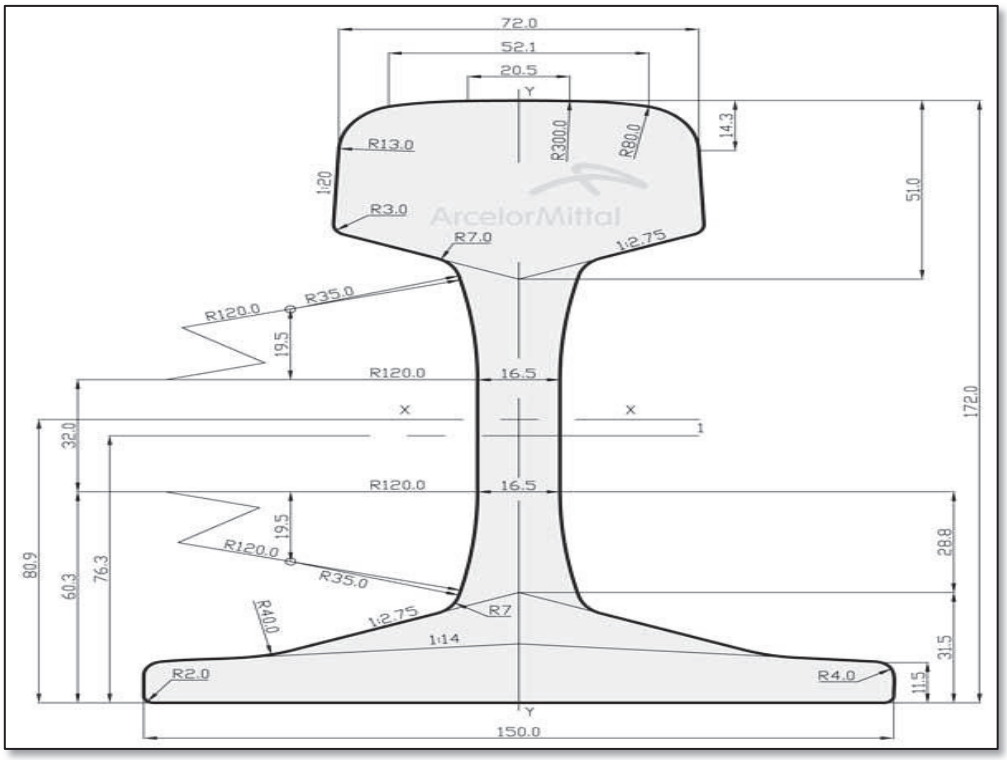


Figure III. 9 Profile de rail UIC60 E1[11]

Selon norme Européen standard EN 13674-1 :

- Masse par mètre : 60.21 kg/m
- Surface de la section : 76.7 cm^2
- Hauteur de rail : 172 mm
- Épaisseur de patin : 150 mm
- Épaisseur d'âme : 16.5 mm
- Épaisseur de champignon : 72 mm
- Moment d'inertie (axe x-x) : 3038.3 cm^4
- Moment d'inertie (axe y-y) : 512.3 cm^4
- Resistance à la traction : $R \geq 880$ N/mm^2
- Allongement ≥ 10%
- Dureté au milieu de table de roulement entre 260 et 300 HBW
- Nuance : 260 (carbone- manganèse)

11 https://rails.arcelormittal.com/types-rails/transport-rails/european-standards/rail-uic60-60e1

III.3.1.3 Assemblage des rails :

Il y a deux façons de joindre les rails, l'utilisation d'éclisses ou la soudure (LRS) :

❖ **L'éclissage :**

L'éclissage dans la voie ferrée consiste à assembler deux rails de manière mécanique en utilisant une pièce appelée éclisse. L'éclisse est une pièce métallique en forme de U qui placée entre les deux rails et boulonnée a ces derniers.

Cette technique est utilisée pour joindre les rails lorsqu'il nécessaire de les remplace ou de les réparer, ou pour assembler des rails de diffèrent longueurs.

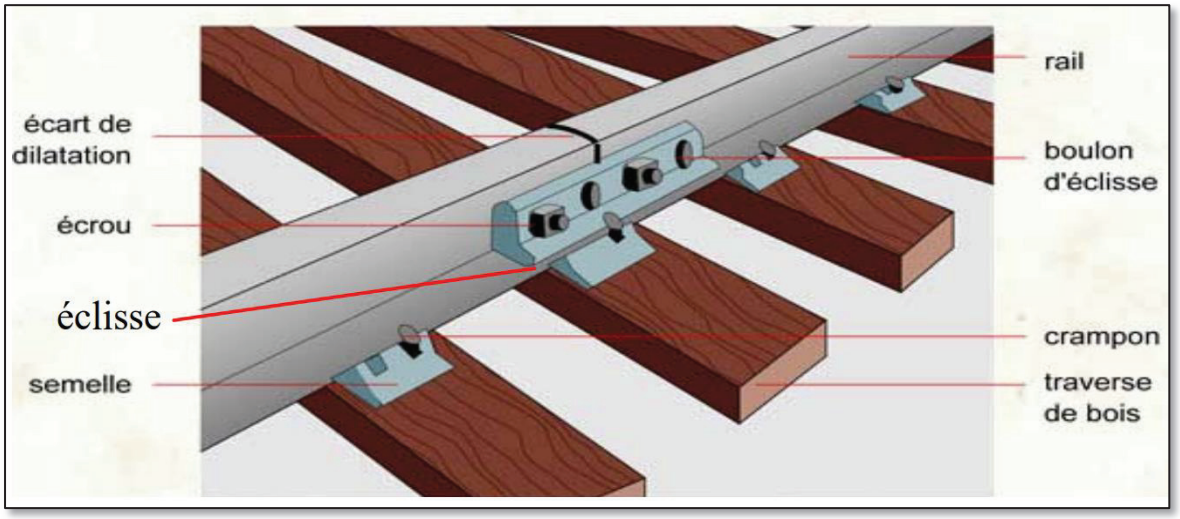


Figure III. 5 : Assemblage des rails par éclissage [12]

❖ **Longs rails soudes (LRS) :**

Les longs rails soudés ou « longue barres » sont une technique de construction de voies ferrée ou des rails de longueurs plus importantes que les rails traditionnels sont soudes bout a bout pour former des sections continues longues.

Les LRS, sont transportées par des véhicules spéciaux tels que des trains. Ces rails soudes constituent des unités élémentaires de grande longueur, atteignant souvent 400 mètres ou plus.

12 https://www.cerema.fr/system/files/documents/2022/07/modernisation_des_infrastructures_ferroviaires

- **Les avantages de LRS :**
  - Réduire le nombre de joints de rails
  - Améliorer la sécurité, la fiabilité et le confort
  - Augmentation la capacite des charges
  - Réduction des couts d'entretien
  - Permis l'augmentation de la vitesse des trains



Figure III. 6 : soudure des LRS[13]

III.3.2 Les traverses :

Les traverses, également appelées "sleepers" ou " rails ties " en anglais, sont des éléments structuraux essentiels pour le maintien et la stabilité des rails sur lesquels circulent les trains.

Elles sont fabriquées en bois, en béton précontraint ou en acier, et sont placées perpendiculairement aux rails. Les traverses sont fixées au ballast pour maintenir les rails dans leur position correcte et pour repartir les charges sur la voie ferrée.

Les traverses jouent un rôle dans :

- Transmission des charges au ballast
- Maintien de l'écartement de deux files de rails
- Maintien l'inclinaison de rail
- Assurer la stabilité du rail

13 https://www.dobbit.be/fr/dossier/EMTbe1915W00_00/souder-des-rails

III.3.2.1 Les déférent type des traverses :

❖ **Traverse en béton :**

Les traverses en béton sont largement utilisées dans les voies ferrées en raison de leur prix compétitif, de leur longévité allant jusqu'à 40 à 50 ans et de la variété des types d'attaches disponibles. Il existe deux types de traverses en béton :

- **Bi bloc en béton :**

Deux blocs en béton armée relient par une entretoise en acier pour maintenir l'écartement et transmettre les efforts au ballast.



Figure III. 7 : Traverse Bi-bloc [14]

- **Monobloc en béton précontrainte :**

La traverse Monobloc est une poutre en béton précontrainte offrant une résistance accrue a la flexion par rapport a la traverse bi-bloc. Elle assure également une répartition uniforme des charges verticales.



Figure III. 8 : Traverse Monobloc

14 https://www.stradal-ferroviaire.fr/gamme-ferroviaire-urbain/ferroviaire/traverse-bi-blocs-en-beton-arme/

❖ **Traverses en bois :**

Les traverses en bois sont généralement constituées de bois dur, traditionnellement du chêne, et ont dimensions courantes de 2,6 m de longueur, 25 cm de largeur et 15 cm d'épaisseur.

Utilise généralement dans les gares, exactement dans les appareils de voie.



Figure III. 9 : Traverse en bois [15]

❖ **Traverse métallique :**

Les traverses en acier sont des produits industriels utilises dans la construction des voies ferrées. Elles sont constituées d'un laminé en forme U renversé qui enfonce dans le ballast pour contrer les déplacements transversaux de la voie. Bien que légères (environ 80 kg) et faciles à poser, les traverses en acier ne sont plus largement utilisées en raison de leur cout élevé et des difficultés qu'elles présentent pour l'entretien du nivellement et du dressage de la voie.

15https://www.actu-environnement.com/ae/news/creosote-toxique-chemin-fer-traverses-anses-bois-31130.php4

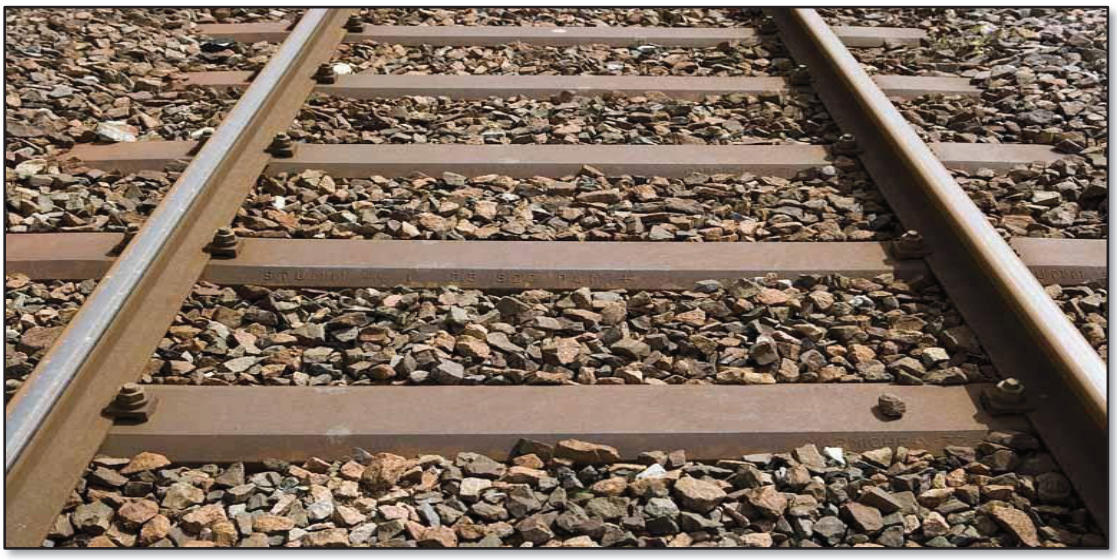


Figure III. 10 : Traverse en acier [16]

III.3.3 Les attaches travers-rail :

Les attaches sont des outils de fixation utilises pour fixer les rails sur les traverses à l'aide de tire-fond. Elles offrent une certaine élasticité dans les sens vertical et horizontal. Pour absorber les vibrations dans les rails, une semelle en élastomère cannelé d'une épaisseur de 9 mm est placée entre le rail et la traverse.

III.3.3.1 Le rôle des attaches :

- Assure le serrage du rail sur la traverse
- Absorber les vibrations dans les rails
- Garantir la stabilité et la sécurité de réseaux ferroviaire
- Absorber les efforts longitudinaux et dynamique au passage des trains

III.3.3.2 Les types d'attaches :

Diverses techniques et variétés d'attaches sont utilisées en fonction du type de traverse :

- Fixation pour les traverses en béton
- Fixation pour les traverses en bois
  - **Remarque :** pour noter projet l'attache utilise est une attache élastique de type **NABLA**.

16 http://garesettrains.canalblog.com/archives/2013/02/06/26348839.html

❖ **L'attache de type NABLA :**

L'attache NABLA est un système couramment utilisé et se compose d'un crapaud (lame-ressort) maintenu par un écrou (tirefond) visse sur une tige filetée, qui est insérée dans des encoches accrochées dans le blochet.



Figure III. 11 : Attache élastique de type NABLA [17]

III.3.4 Les semelles :

Les semelles sont disposées directement sous le patin du rail et sur la traverse, ce qui garantit une répartition optimale des charges sur celle-ci. Elles permettent également de maintenir une pression verticale constante du rail sur la traverse, assurant ainsi la stabilité du rail et jouant un rôle d'amortisseur.

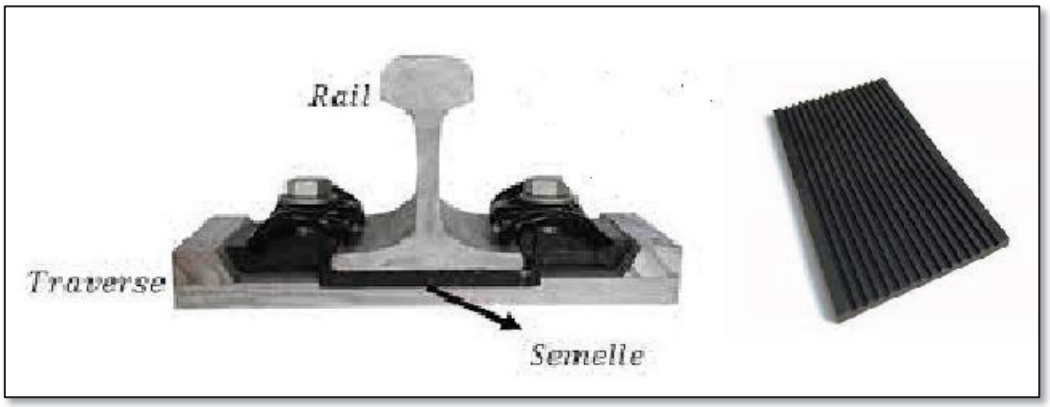


Figure III. 12 : Les semelles[18]

17 http://www.netactif-com.fr/blog/2018/09/17/nabla/

III.3.5 Les appareilles de voie (ADV) :

Lorsque l'on souhaite changer la voie, il est nécessaire d'installer des branchements qui sont commandes électriquement ou manuellement. Ces derniers sont définis par leur angle de déviation au niveau de cœur. Comme les appareils de voie ne peuvent pas être installes en devers et qu'il est impossible de créer une courbe de raccordement pour la voie déviée, leur rayon minimum doit être calculé en fonction de la vitesse souhaitée.

III.3.5.1 Types d'appareils de voie :

Il existe différents types d'appareils de voie, notamment :

- **Les branchements :**

Il est possible de créer une nouvelle direction appelée "voie déviée" à partir d'une direction de départ nommée "voie directe ". L'angle de déviation entre les deux directions est exprimé en tangent et le rayon de la courbe en voie déviée est considéré comme la caractéristique principale d'un appareil de voie.

Le branchement simple se compose à 03 parties :

- **Aiguillage :** Se compose de deux parties mobiles appelées "aiguilles" qui permettent aux roues de passer ou de se diriger vers les rails adjacents.
- **Partie intermédiaire :** Assimilable à la voie courante.
- **Croisement :** C'est un ensemble constitue d'une pointe de cœur encadrée par une de lièvre et des deux rails extérieures munis de contre-rail.



Figure III. 13 : Partie Croisement[19]

18 http://www.railfasteners.fr/1-11-rail-pad.html

19 Cour traction ferroviaire Pierre Chapas Edition 2001

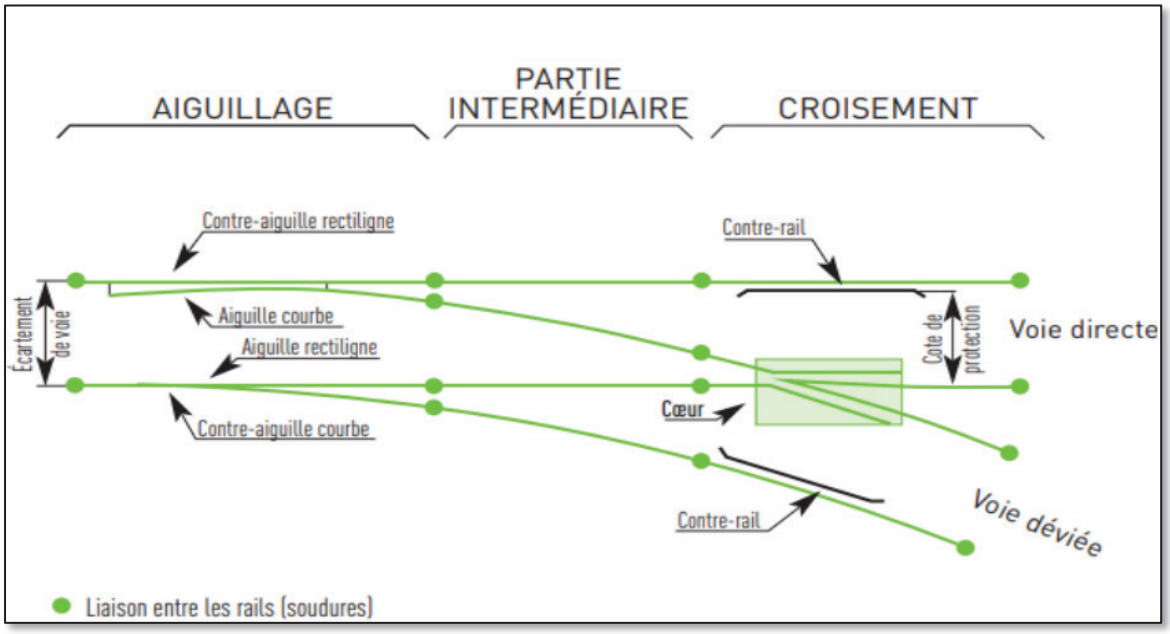


Figure III. 14 : Constitution d'un Branchement [20]

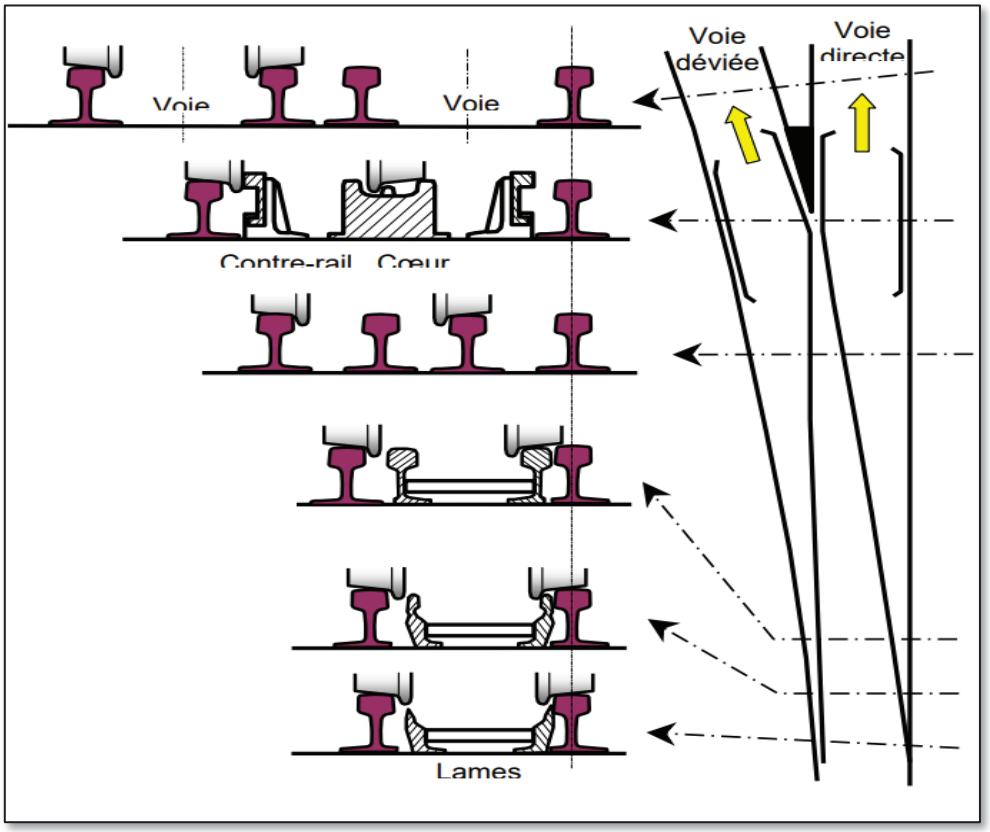


Figure III. 110: Cinématique du Franchissement d'Aiguille [21]

20 https://www.lajauneetlarouge.com/lappareil-de-voie-element-cle-du-transport-a-grande-vitesse/

21 Cour traction ferroviaire Pierre Chapas Edition 2001

❖ **Les traversées :**

Les traversées sont des équipements permettant le passage d'une voie à une autre. On distingue :

- **Les traversées simples** autorisent la traversée d'une voie par une autre à niveau, sans qu'il soit possible de modifier la direction des trains.
- **Les traversées en jonction** ont pour fonction de permettre la croisée a niveau d'une voie par une autre et également la jonction des deux voies. On peut les distinguer en :
  - Les traversées jonction simples (TJS) sont des éléments qui assurent la liaison de rails dans un seul sens de circulation.
  - Les traversées jonction doubles (TJD) sont des éléments qui assurent la liaison de rails dans les deux sens de circulation.

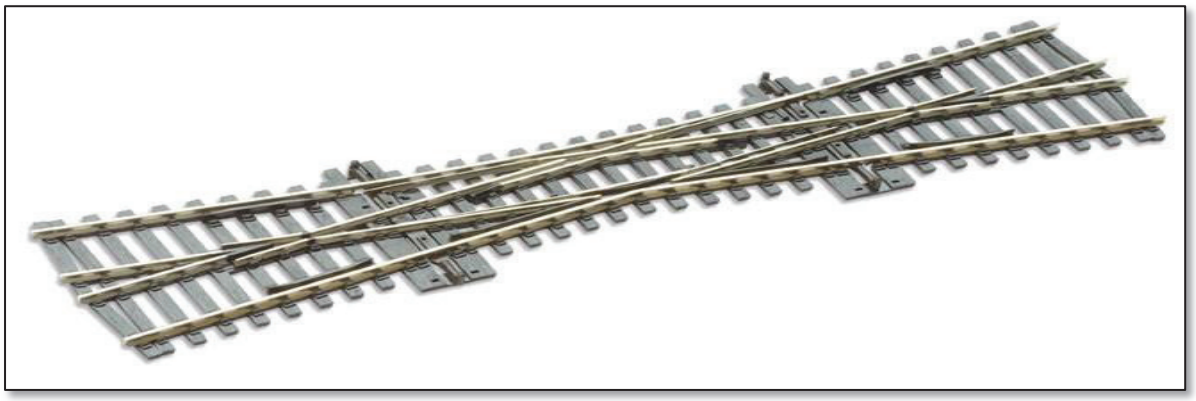


Figure III. 16 : Traverses jonction simples [22]

III.4 Conclusion :

Le choix des éléments constitutifs de la voie est sans doute l'étape la plus cruciale, car elle déterminera la sélection de la conception qui alliera sécurité et économie. Ainsi, l'optimisation économique de notre projet reposera essentiellement sur le choix des dispositifs qui composeront la voie.

22 https://www.la-maison-des-trains.fr/voies/6481-tjs-traversee-jonction-simple-manuelle.html

CHAPITRE IV. Trace en plan

Tracé en plan

IV.1 Introduction :

L'objectif de l'étude géométrique du tracé de la voie est de garantir une bonne qualité de roulement des véhicules, ce qui implique de trouver la forme géométrique la plus appropriée pour la surface de roulement. Afin d'assurer une vitesse régulière sur toute la ligne, il est essentiel d'avoir un tracé homogène, avec des caractéristiques géométriques cohérentes.

Les changements fréquents de trace (courbes de raccordement, courbes circulaires, alignement), ainsi que les éléments géométriques de courbe longueur, ont un impact négatif sur le roulement des véhicules et le confort des passages, en plus de rendre l'entretien de la voie plus complique.

IV.2 Tracé en plan :

Le trace en plan de la voie est compose d'éléments tels que des alignements droits et des arcs de cercle relies par des raccordements progressifs. Il représente la projection de l'axe de la voie sur un plan horizontal, qui peut être une carte topographique ou un relief représente par des courbes de niveau. Les caractéristiques de chaque élément du tracé en plan doivent garantir les conditions de confort et de stabilité pour les usages de la voie ferrée.

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

- V_v : vitesse des trains voyageurs (vitesse rapide).
- V_m : vitesse des trains marchandises (vitesse lente).

IV.2.1 Conditions et règles à respecter dans le tracé en plan :

La réalisation d'un tracé de qualité nécessite une approche minutieuse de la part de l'ingénieur, qui doit prendre en compte les données disponibles tout en respectant les critères techniques et économiques pertinents. Parmi ces critères, on peut citer les plus importants :

- Comme c'est une étude en APD, on ne doit pas sortir du couloir choisi.
- Raccordement à la voie existant au début et fin du projet.
- Respecte le rayon et les longueurs minimum recommandé par la SNTF.
- Minimiser le passage sur terrains agricoles, zones forestières et les propriétés privées.
- Minimiser le franchissement des oueds et des routes dans la mesure du possible afin d'éviter la réalisation d'ouvrages d'arts.

IV.2.2 Les éléments de tracé en plan :

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

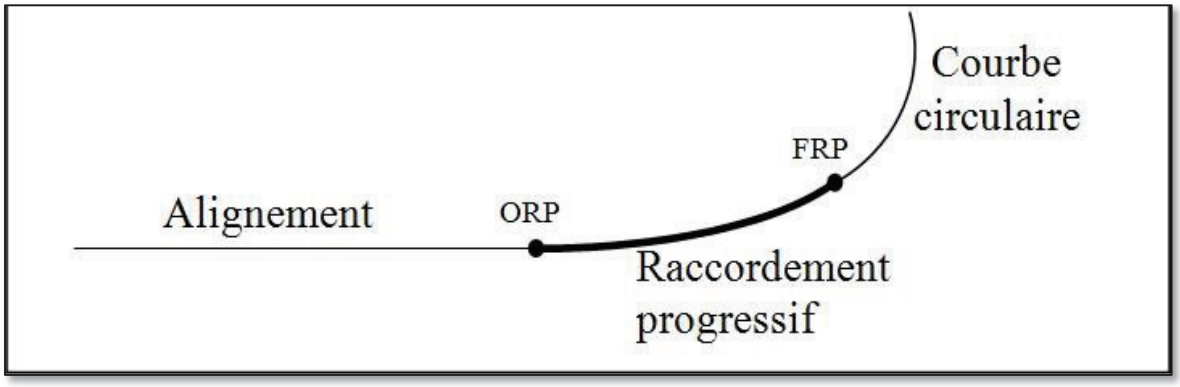


Figure IV. 3 : Les éléments de tracé en plan[23]

IV.2.2.1 Alignement :

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

En pratique, il est important de ne pas aller au- delà des limites d'alignement minimal recommandé par les normes

Tableau IV. 6 : Longueur minimale des éléments de tracé[24]

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Longueur minimale des éléments de tracé (m)	**V/2 = 80 m**	**V/3 = 54 m**

IV.2.2.2 La courbe :

En effet, lorsqu'on parle de la courbe d'une voie ferrée, cela englobe non seulement la courbe en elle-même, mais également les éléments de transition qui y sont lies, tels que le cercle et courbe de raccordement, les paramètre de la courbe sont définis par rapport à l'axe de la voie.

23https://geniecivilettravauxpublics.blogspot.com/

24 REFERENTIELS TECHNIQUES SNTF

IV.2.2.2.1 La courbe de raccordement :

C'est un élément géométrique qui permit de relier en douceur un alignement et un arc de cercle, en faisant varier progressivement la courbure de l'axe de la voie d'un rayon R infini a une valeur R constant.

Il existe plusieurs types de courbes de raccordement, mais la plus couramment utilisées est celle réalisée à l'aide d'une clothoïde (ou parabole cubique), qui présente un aspect esthétique satisfaisant et une variation uniforme de la courbure. Cela permet d'assurer la stabilité et le confort des voyageurs.

IV.2.2.2.2 L'arc de cercle :

Effectivement, les arcs de cercle sont souvent utilisés pour raccorder les alignements dans les zones ou la topographie ne permet pas de réaliser des alignements droits. Cependant, il est important de choisir un rayon de courbure suffisamment grande pour éviter le déraillement des trains et la fatigue prématurée de la voie.

La valeur minimale du rayon dépende de la vitesse de basse de la ligne et des caractéristiques des convois qui y circulent. L'utilisation d'arcs de cercle doit donc assurer la sécurité et le confort des voyageurs, en évitant les changements de direction brusques et les efforts excessifs sur les rails et les roues.

IV.2.2.3 Le dévers :

Le devers est la différence d'altitude entre les deux files de rails en un point de la voie. En courbe, les deux files de rails sont posées en devers lorsque la file de grand rayon est surélevée par rapport à la file de petit rayon est surhaussée par rapport à l'autre. Ce surhaussement permet de compenser une partie de la force centrifuge qui tend à déporter les trains vers l'extérieur de la courbe circulaire.

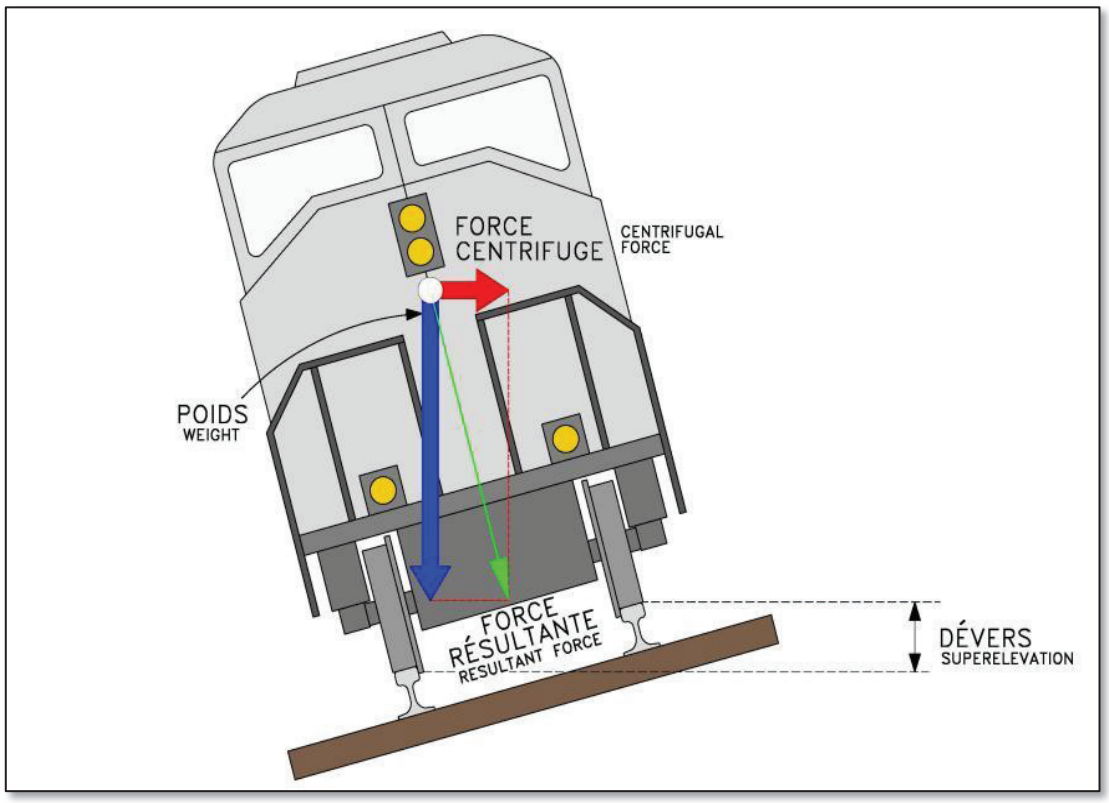


Figure IV. 4 : force centrifuge et devers [25]

IV.2.2.3.1 Devers théorique:

Le devers théorique $\mathbf{d_{th}}$ nécessaire pour annuler totalement l'effet de la force centrifuge lors d'un passage de train sur une courbe circulaire de rayon R et a une vitesse V est donne par la formule :

$$d_{th} = \frac{11.8 \times V_v^{\,2}}{R}$$

- ✓ $\mathbf{d_{th}}$ **:** Dévers théorique (mm).
- ✓ **R :** Rayon de courbe (m).
- ✓ $\mathbf{V_v}$ **:** vitesse des train rapide (voyageurs) (km/h)

25 https://docplayer.fr/96470293-Etude-des-reseaux-ferroviaires-du-cn-et-du-cp.html

IV.2.2.3.2 Dévers pratique:

La circulation de trains à des vitesse différentes selon leur type (voyageurs, marchandises) nécessite l'utilisation d'un devers pratique plutôt que théorique. Le devers pratique, note **"dp"**, permet une circulation sécurisée et confortable des trains rapides et lent, tout en évitant l'usure du rail. Il s'agit donc de trouver un équilibre entre la vitesse et le devers qui permettra une circulation optimale pour tous les trains.

En d'autres termes, le devers pratique doit être ajuste en fonction des contrainte du trafic mixte pour assure une circulation fluide et efficace des trains. Le devers pratique est calculer par la formule suivante :

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

- ✓ **R :** Rayon de courbe (m)
- ✓ **C** : Le coefficient de devers ; C= 0,006 V_V^2, Doit être multiple de 15. Avec V_v : en (km /h)

Aussi le devers pratique doit être vérifie par la relation

$$0.5\, d_{th} \leq d_p \leq 0.7 d_{th}$$

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

Tableau IV. 7: Valeur limite du dévers pratique [26]

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Dévers maximum	160	180

[26] REFERENTIELS TECHNIQUES SNTF

IV.2.2.3.3 Insuffisance de dévers :

L'insuffisance de devers dans la voie ferrée se réfère au fait que le devers pratique est inférieur au devers théorique nécessaire pour compenser complètement la force centrifuge lorsqu'un train roule à grande vitesse dans une courbe. Cela peut causer des efforts transversaux non compenses qui peuvent causer des efforts transversaux non compenses qui peuvent causer des problèmes tels que le déplacement ou la dégradation de la voie ou le déraillement.

La limitation de l'insuffisance de dévers I est donnée par la formule ci-dessous :

$$I = d_{th} - d_P = \frac{11.8 \times {V_V}^2}{R} - d_P < I_{MAX}$$

IV.2.2.3.4 L'Excès de dévers :

Lorsqu'un de marchandise roule très lentement en courbe, il ressent le devers installe pour le train rapide comme un excès de dévers note "E". Ce type de train, pour lequel le devers théorique est inférieur au dévers pratique, exercent sur la voie des efforts transversaux diriges vers l'intérieur de la courbe.

L'excès de devers est exprimé par la relation suivante :

$$E = d_P - d_{th} = d_p - \frac{11.8 \times V_m^2}{R} < E_{MAX}$$

IV.2.2.3.5 Variation de dévers :

Lorsqu'un véhicule se déplace sur des raccordements, il subit une rotation graduelle autour d'un axe parallèle a celui de la voie et un gauchissement qui est normalement limite grâce aux ressorts de suspension. Ainsi, pour garantir un roulement en douceur sur les raccordements, il est nécessaire de limiter à la fois le gauchissement et la vitesse de rotation.

Dans le raccordement parabolique, le dévers varier progressivement de 0 a **dp**

- **Variation de devers par rapport à la longueur Δd/Δl :**

La longueur des courbes de transition sera fonction du devers adopté et de taux de variation de devers admissible. La longueur des courbes de transition exprimées en mm/m :

$$\frac{\Delta d}{\Delta l} \geq \frac{d_p}{L_{rp}}$$

Tableau IV. 8: Variation de dévers dans les courbes de transition [27]

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

❖ **Variation de l'insuffisance de dévers dans le temps ΔI/Δt :**

On calcule la variation de l'insuffisance de dévers en utilisant la formule suivante :

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \times V_V}{3.6 \times L_{rp}}$$

✓ V_V : Vitesse des trains rapide (km/h)

✓ L_{rp} : longueur du raccordement progressive

Tableau IV. 9:Paramètre géométrique de trace en plan (SNTF)

	Formule		*Application*	
	Normal	*Exceptionnel*	*Normal*	*Exceptionnel*
Dévers maximal d (mm)	-	-	*160*	*180*
Rayon minimal Rmin (m)	$\frac{11.8 \times V_{max}^2}{d_{max} + I_{max}}$	$\frac{11.8 \times V_{max}^2}{d_{max} + I_{max}}$	*974*	*888*
Longueurs minimales des alignements (m)	$\frac{V_{max}}{2}$	$\frac{V_{max}}{3}$	*80*	*53*
Longueurs minimales des pleines courbes (m)	$\frac{V_{max}}{2}$	$\frac{V_{max}}{3}$	*80*	*53*
Insuffisance de dévers admissible I (mm)	-	-	*150*	*160*
Excès de dévers admissible E (mm)	-	-	*110*	*130*
Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur (mm/m)	$\frac{180}{V_{max}}$	$\frac{216}{V_{max}}$	*1.125*	*1.350*
Limite de la variation d'insuffisance de dévers(mm/s)	-	-	*75*	*90*

[27] REFERENTIELS TECHNIQUES SNTF

IV.2.3 Application au projet :

Pour illustrer le calcul des dévers et des paramètres associes, prenons l'exemple d'un rayon R= 1800 m.

- **Calcule de dévers théorique d_{th} :**

$$\boldsymbol{d_{th}} = \frac{\boldsymbol{11.8 \times V_V^2}}{\boldsymbol{R}} = \frac{11.8 \times 160^2}{1800} = 167.82\ mm$$

- **Le coefficient de dévers C :**

$$\boldsymbol{C = 0.006} \times \boldsymbol{V_v^2} = 0.006 \times 160^2 = 153.6$$

La valeur de C doit être une multiple de 15 et doit satisfaire la relation suivante :

$\boldsymbol{0.5 \leq \frac{C}{0.0118 \times V_V^2} \leq 0.7}$ **,** alors dans ce cas en prend **C= 165**

- **Calcule de dévers pratique associer de rayon R :**

$$\boldsymbol{d_p} = \frac{\boldsymbol{1000 \times C}}{\boldsymbol{R}} = \frac{1000 \times 165}{1800} = 91.67\ mm$$

On prend $\mathbf{d_p}$ **= 100 mm** $\boldsymbol{d_P \leq d_{max} = 160\ mm}$ ⇒ **Vérifier**

- **Calcule de l'insuffisance de dévers I :**

$$\boldsymbol{I = d_{th} - d_p} = 167.82 - 100 = 67.83\ mm$$

$\boldsymbol{I < I_{max} = 150\ mm}$ ⇒ **Vérifier**

- **Calcule de l'excès de dévers E :**

$$\boldsymbol{E = d_P - \frac{11.8 \times V_M^2}{R}} = 100 - \frac{11.8 \times 100^2}{1800} = 34.44\ mm$$

$\boldsymbol{E < E_{max} = 110mm}$ ⇒ **Vérifier**

- **longueur de Clothoïde L_{rp}:**

$$\boldsymbol{L_{rp}} = \frac{\boldsymbol{d_p}}{\boldsymbol{dd/dl}} = \frac{\boldsymbol{d_p}}{\boldsymbol{180/V_v}} = \frac{100}{1.125} = 88.89\ m$$

❖ **Pour ne pas être un problème de réalisation, la longueur de clothoïde doit être un multiple de 10.**

On prend $\mathbf{L_{rp}}$ **= 90 m**

- **Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur :**

$$\frac{dd}{dl} = \frac{100}{90} = 1.11\ mm/m$$

$$\frac{dd}{dl} < \frac{180}{V_V} = 1.125 \Longrightarrow \text{Vérifier}$$

- **La variation de l'insuffisance de dévers :**

$$\frac{dI}{dt} = \frac{dI}{dl} \times \frac{V_V}{3.6} = \frac{67.83 \times 160}{90 \times 3.6} = 33.49\ mm/s$$

$$\frac{dI}{dt} < 75\ mm/s \Longrightarrow \text{Vérifier}$$

Tableau IV. 10: Tableau récapitulative des paramètres de trace

		Formule	1	2	3
Rayon		-	1800	7000	8000
Vitesse (Km/h)	V_V	-	160	160	160
	V_m	-	100	100	100
d_{th} (mm)		$\frac{11.8 \times V_V^2}{R}$	167.82	43.15	37.76
C		$0.006 \times V_V^2$	153.6	153.6	153.6
C adopte		-	165	165	165
d_p (mm)		$\frac{1000 \times C}{R}$	91.67	23.57	20.63
d_P adopte (mm)		-	100	25	22
I (mm)		$d_{th} - d_P$	67.82	18.15	15.76
E (mm)		$d_p - \frac{11.8 \times V_M^2}{R}$	34.44	8.14	7.25

Lrp	$\frac{dp/dd}{dL}$	**88.89**	**22.22**	**19.55**
Lrp adopte	**-**	**90**	**30**	**20**
dd/dl **(mm/m)**	$\frac{d_p}{L_{rp}}$	**1.11**	**0.83**	**1.10**
dd/dt (mm/s)	$\frac{dI \times V_V}{L_{rp} \times 3.6}$	**33.49**	**26.88**	**35.02**

NB : Le tracé est réalisé à l'aide de logicielle Covadis 16.0 et les tronçons de notre tracé en plan sont joints en plans format A0 et A3

IV.3 Conclusion :

Le trace de notre projet commence par une ligne droite qui est l'endroit ou placer la gare, avec trois courbes des valeurs différentes, ce dernier que nous avons utilisé dans son calcul les différentes paramètres géométriques et techniques recommandé par le référentiels SNTF.

CHAPITRE V. Profil en long

Profil en long

V.1 Introduction :

Le profile en long est un élément important de la géométrie d'une voie ferrée, défini comme la projection horizontale de la cote de la file basses des rails sur un plan vertical passant par l'axe du tracé.

Il est composé de différents types de déclivité (pentes et rampes) qui sont reliées par des courbes circulaires ou paraboliques en cas de changement de déclivité, ces éléments représentent la ligne rouge qui est la ligne de projet.

Pour chaque point de du profile en long, on doit déterminer les caractéristiques suivantes :

- L'altitude du terrain naturel.
- L'altitude de projet
- La déclivité du projet ainsi que les distances partielles et cumulées.

V.2 Règles à respecter dans le tracé du profile en long :

Pour rendre un tracé de projet optimale, il est nécessaire de prendre en compte plusieurs condition :

- Il est important de veiller à une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long (éviter la coordination de la courbe circulaire en profil en long avec la courbe de raccordement en trace en plan)
- Respecter les valeurs géométrique (rayons et déclivité) préconisées par les règlements est essentiel.
- Adapter la ligne rouge au terrain naturel pour minimiser les travaux de terrassement.
- Minimiser la hauteur des remblais.
- Assurer un bon écoulement des eaux en prévoyant des zones de devers nuls en plan et une pente en profile en long.
- Eviter les points de placement des appareilles de voie sur courbe.

V.3 Eléments de composition du profile en long :

V.3.1 La déclivité admise varie en fonction de sa longueur :

Selon le chapitre (6) de la géométrie de la voie du référentiel SNTF, la déclivité permise de sa longueur :

- En déclivité de longueur inférieur à 3000 m, elle ne doit pas dépasse 16 ‰ et exceptionnellement 18 ‰.
- En déclivité de longueur comprise entre 3000 m et 15000 m, elle diminue graduellement pour passer de 16‰ à 13‰, exceptionnellement de 18 ‰ à 15 ‰.
- En déclivité de longueur supérieur à 15000 m, la déclivité ne doit pas dépasser 13‰et exceptionnellement 15‰.

V.3.2 Choix des cercles :

Le changement de déclivité peut causer une accélération verticale soudaine sur les extrémités du raccordement, ce qui peut affecter le confort des passagers en provoquant des oscillations de la suspension du véhicule.

Cette accélération est calculée en utilisant la formule suivante :

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

Lorsque la vitesse d'un véhicule est inférieure à 220 km/h, la valeur maximale de l'accélération verticale aux extrémités d'un changement de déclivité est de 0.22m/s^2 exceptionnellement elle peut atteindre 0,31 m/s^2. Cette valeur est considérée comme acceptable en termes de confort pour les voyageurs. En substituant cette valeur d'Av dans la formule $R_V = \frac{V^2}{3.6^2 \times A_v}$ on obtient :

Tableau V. 4: Valeurs de rayon verticale minimale[28]

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Rayon minimum verticale	$0.35V^2$	$0.25V^2$

28 REFERENTIELS TECHNIQUES SNTF

V.3.3 Longueur minimale des pentes uniformes :

Afin d'éviter les oscillations des véhicules dues aux variations successives des déclivités, une longueur minimale de déclivité constante est à prévoir.

Les valeurs de la longueur minimale des déclivités en profil sont montrées dans le tableau suivant :

Tableau V. 5 : Longueur minimale des déclivités.[29]

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Longueur minimale des déclivités	$V/2$	$V/2.5$

V.4 Application au projet :

Tableau V. 6: Paramètres géométriques de profil en long[30]

		Formule		Application	
		Normal	Exceptionnel	Normal	Exceptionnel
Déclivité maximale	L<3000 m	-	-	16 ‰	18 ‰
	3000<L>15000 m	-	-	16 ‰ à 13 ‰	18 ‰ à 15 ‰
	L>15000 m	-	-	13 ‰	15 ‰
	Gares	-	-	0	0
Rayon minimal en raccordements verticaux (m)		$0.35V^2$	$0.25V^2$	8960	6400
La longueur minimale des pentes uniformes et des raccordements en profil en long (m)		V/2	V/2,5	80	64

NB les tronçons de notre profile en long sont joints en plans format A0

29 REFERENTIELS TECHNIQUES SNTF

30 REFERENTIELS TECHNIQUES SNTF

V.5 Les contraintes le long du tracé :

Pour garantir le bon déroulement des travaux de terrassement et de pose de voie, il est impératif de réaliser une analyse du site pour identifier les obstacles tels que les routes, les réseaux divers et autres contraintes à éviter ou à contourner.

Sur le tracé de Pk 44+675 au Pk 57+000, plusieurs contraintes :

- Conduite de gaz au PK56+434.
- Ligne électrique moyen tension au PK56+557.

V.6 Conclusion :

La ligne rouge de notre projet est commencée par une ligne droite de pente nulle, le débute de noter projet est considère comme un terrain plat avec une changement de pente de valeur maximale de 15.9 ‰ au PK 51+ 800. Puisque nous avons des contraintes à la fin du projet comme des conduites de gaz et des ligne électrique et un ouvrage hydraulique, nous avons essayé de réduire la hauteur du remblai et cela se fait par des pentes des valeurs minimale.

Nous avons respecté les valeurs des pentes qui recommander par le référentielle SNTF.

CHAPITRE VI. Etude hydrologique et hydraulique

Etude hydrologique et hydraulique

VI.1 Introduction :

La menace des crues importantes est un phénomène mondial auquel l'Algérie n'échappe pas. Les conséquences peuvent être dévastatrices, causant des dommages matériels et humains considérables. Avec le développement démographique, économique, urbain, agricole, industriel et touristique, le risque lié aux crues est devenu encore plus important de nos jours.

En d'autres termes, ce risque de crues importantes en Algérie est causé par la coexistence d'un cours d'eau pouvant déborder en cas de fortes précipitations (aléa) et de biens vulnérables tels que des personnes, des constructions, des infrastructures et des parcelles agricoles exposés à ces aléas.

Cette étude a donc comporte, pour répondre aux objectifs fixes ci-dessus :

- Identification des bassins traversés par le tracé et leur délimitation, calcul du débit maximal de crue pour différentes périodes de retour.
- Dimensionnement et localisation des ouvrages de drainage transversal nécessaires pour les débits calculés.
- Dimensionnement du drainage longitudinal : caniveaux, regards de visite, conduites…

VI.2 Etude hydrologique :

L'hydrologie est la science qui étudie les eaux terrestres, leurs origines, mouvements et répartition, ainsi que leurs propriétés physiques et chimiques, interactions avec l'environnement et leur influence sur les activités humaines. Elle permet également de comprendre les caractéristiques climatiques et pluviométriques d'une région.

VI.2.1 Climatologie :

L'objectif de l'étude climatologique dans un projet ferroviaire est de comprendre les caractéristiques climatiques de la région dans laquelle le projet sera construit, afin de pouvoir planifier la construction et la maintenance de la voie ferrée en conséquence. Cela comprend l'analyse des précipitations, des températures, des vents et d'autres facteurs climatiques qui peuvent affecter la stabilité de la voie ferrée, la sécurité des travailleurs et des passagers, ainsi que la durabilité des matériaux utilisés dans la construction de la voie ferrée.

VI.2.1.1 Climat :

Le climat de Djelfa peut être défini comme méditerranéen continentaliser, puisque les températures sont similaires à celles du climat méditerranéen, mais l'hiver est assez froid, tandis que l'été est très chaud.

VI.2.1.2 La température :

À Djelfa, les températures connaissent des contrastes marqués entre l'hiver et l'été. La température moyenne en janvier, le mois le plus froid, est de 5,3 °C, tandis que la température moyenne en juillet, le mois le plus chaud, est de 27,1 °C. En général, les températures sont plus basses dans les montagnes du Nord avec des écarts moins importants, tandis que dans les hautes plaines, les variations journalières et saisonnières sont plus prononcées.

Pour une période qui s'étale de 1991 à 2020, les températures annuelles mensuelles se présentent comme suit :

Tableau VI. 11 : Les températures annuelles mensuelles de la willaya de Djelfa.

Mois		Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
T(°C)	Max	10	11	15	19	24	30	35	33	27	22	14	11
	Min	1	1	4	7	11	16	20	19	15	10	5	2

VI.2.1.3 Ventes et sirocco :

Pendant la saison humide à Djelfa, les vents prédominants viennent généralement de l'Ouest et du Nord-Ouest. Ces vents sont froids et frais, et leur vitesse peut atteindre 80 km/h. Le sirocco souffle également douze jours par an, avec des vitesses pouvant atteindre 80 km/h, et est considéré comme la principale cause des températures maximales et de l'érosion éolienne dans la région.

VI.2.2 Pluviométrie :

Effectivement, la pluviométrie est un paramètre clé pour comprendre le cycle de l'eau et ses interactions avec l'environnement. Elle mesure la quantité de précipitations tombées sur une zone donnée pendant une période de temps donnée.

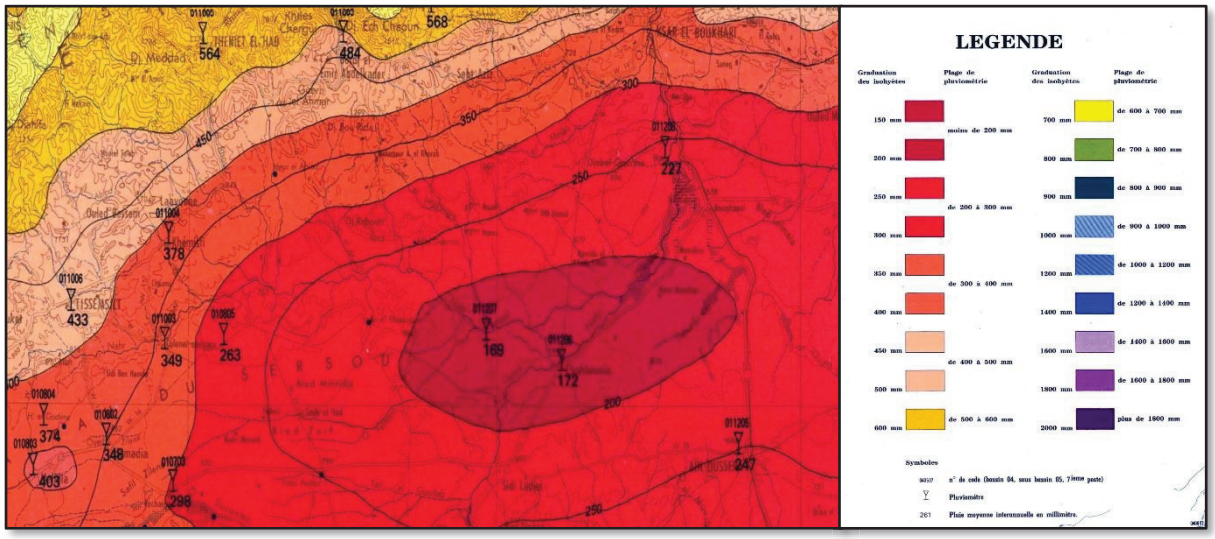


Figure VI. 8 : Carte pluviométrique du site

Les données de la région d'étude ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources en eau (A N R H) et de l'Office National de la Météorologie (O N M). Il s'agit d'observation journalières reportées sur des tableaux de cumules mensuels (T C M).

VI.2.2.1 Pluies annuelles :

La pluie annuelle moyenne dans la région est comprise entre 250 et 400 mm d'après la carte des pluies de l'Algérie du nord de l'ANRH, nous prenons en considération la valeur de :

$$P_{moy} = 293.8mm$$

Tableau VI. 12 : Caractéristiques statistiques des pluies annuelles[31]

Nom de station	Période d'observation	Moyenne annuelle (mm)	Ecart type (mm)
Tissemsilt	68 ans	271.7	83.1
Hamadia	37 ans	338.6	91.8
Ksar Chellala	29 ans	271.6	87.5
Moyenne		293.8	

31 Agence Nationale des Ressources en eau (A N R H)

VI.2.2.2 Précipitation journalière :

Les pluies maximales journalières de rares fréquences sont des pluies génératrices des crues d'importants débits, contre lesquels il faut protéger les différents ouvrages hydrauliques.

En Algérie, il est vérifié que les pluies journalières maximales annuelles s'ajustent bien à la loi de Gumbel.

Dans le tableau sont présentées les valeurs des pluies journalières maximales des différentes stations pour différentes périodes de retour

Tableau VI. 13 : valeurs des pluies journalières selon les fréquences choisies pour la station de Ksar Chellala[32]

Période de retour	Fréquence	U. Gumbel	Ksar Chellala
10 ans	0.9	2.25	36.4
20 ans	0.95	2.97	46.2
50 ans	0.98	3.90	58.8
100 ans	0.99	4.60	68.3

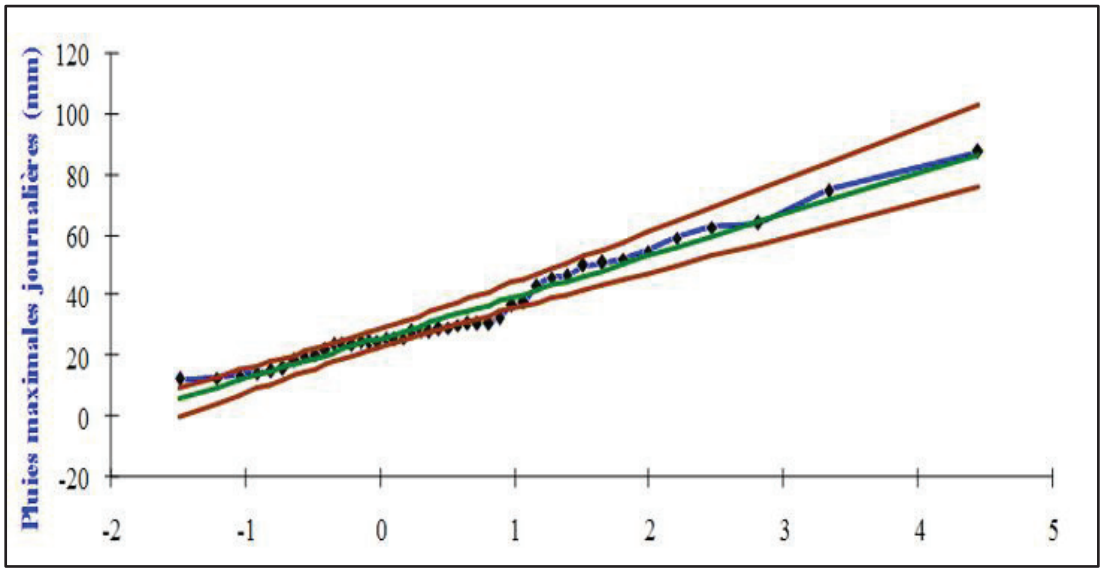


Figure VI. 9 : Ajustements des pluies maximales journalières Station de Ksar Chellala[33]

32 Agence Nationale des Ressources en eau (A N R H)

33 Agence Nationale des Ressources en eau (A N R H)

VI.3 Bassins versants :

VI.3.1 Introduction :

Pour étudier le tronçon de voie ferrée, il est nécessaire d'examiner plusieurs bassins versants hydrologiques qu'il traverse. Un bassin versant, également connu sous le nom de bassin de drainage d'un cours d'eau à un point donné, est délimité par une ligne de crête qui délimite l'aire où les précipitations s'écoulent vers ce point spécifique du cours d'eau.

La desserte ferroviaire reliant la ville de Tissemsilt à celle de Boughezoul traverse le bassin versant du Chéliff (BV01)

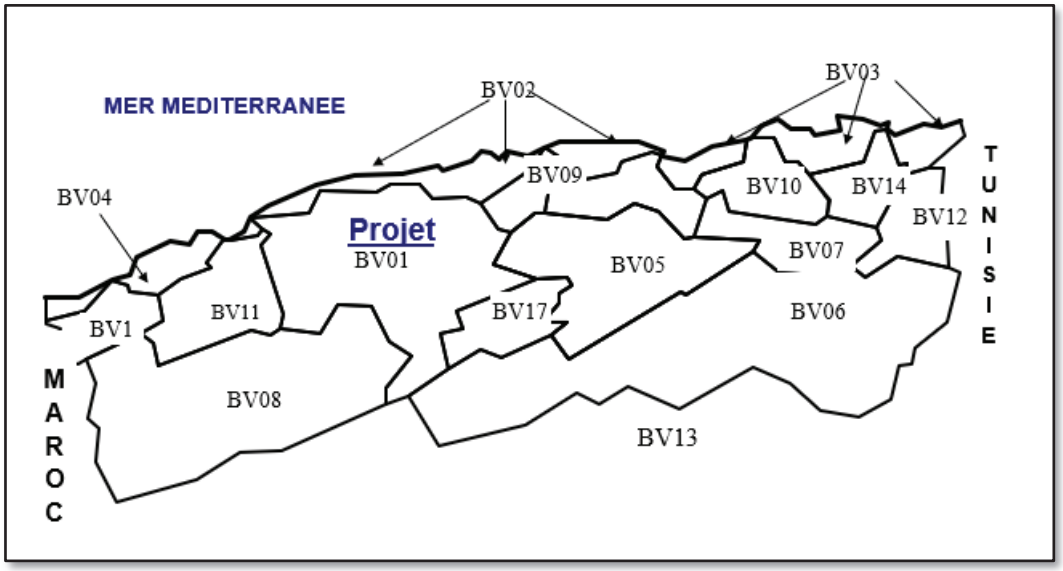


Figure VI. 10 : Carte de situation de la région d'étude.[34]

VI.3.2 Les caractéristiques des bassins versants :

Pour évaluer les débits de crues, il est nécessaire de déterminer les caractéristiques des bassins versants en calculant ou en estimant les paramètres explicatifs correspondants. Les paramètres physiques peuvent être calculés avec une précision suffisante et sans grandes difficultés.

Les principaux paramètres requis pour la modélisation des bassins versants sont :

- La surface de bassin versant S (km^2)
- Périmètre P (km)
- Longueur de talweg L (km)

34 Agence Nationale des Ressources en eau (A N R H)

- L'altitude max H_{max} (m)
- L'altitude min H_{min} (m)
- L'indice de compacité de GRAVELIUS ; $K_c = 0.28\frac{P}{\sqrt{A}}$
- La pente moyenne (m/m) ; I (m/m)= $\frac{\Delta H}{L}$
- Le temps de concentration (heure).
- Le coefficient de ruissellement.
- La vitesse de ruissellement (km/h).
- Temps de concentration T(h)

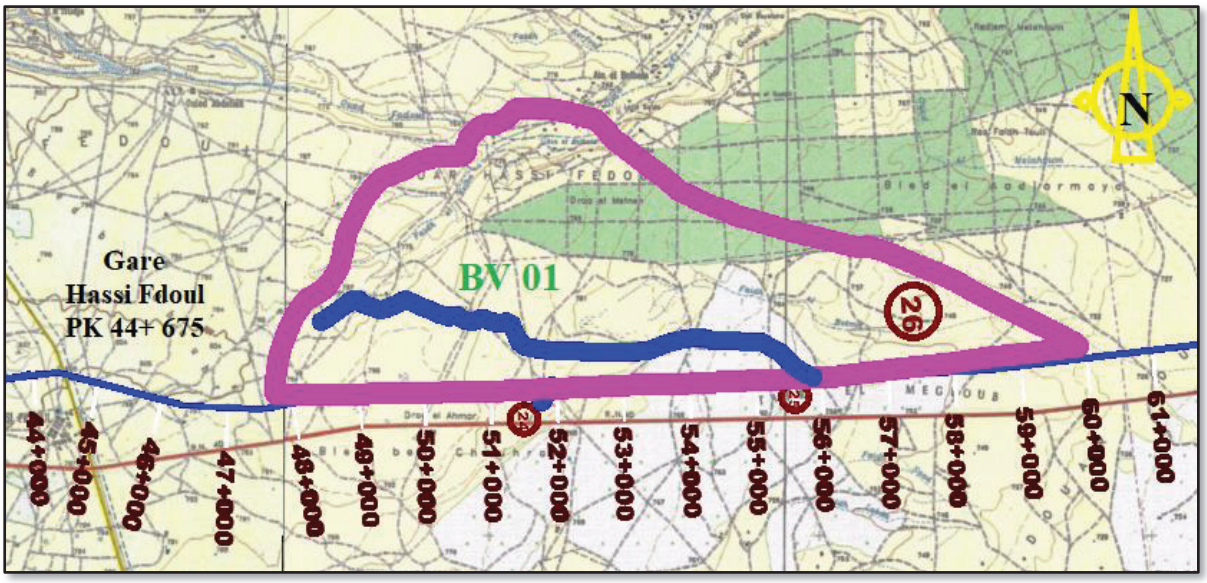


Figure VI. 11 : Délimitation des bassins versants.

Selon la carte d'état majors le tronçon objet de l'étude de PK 44+675 a PK 57+000 traverse un seul bassin versant : **BV01**

Les caractéristiques des bassins versants des écoulements qui traversent la nouvelle ligne ferroviaire sont données par le tableau récapitulatif suivant :

Tableau VI. 14 : Tableau récapitulatif des caractéristiques du bassin versant

BV	PK	S(Km²)	P(Km)	L(km)	Kc	H_{max} (m)	H_{min} (m)	H_{moy} (m)	Dh(m)	Pente m/m	tc(h) Giandotti
1	55+900	29.19	27.65	8.07	1.43	791	726	758.5	65	0.01	7.39

VI.3.2.1 Le temps de concentration «tc » :

Le temps de concentration est défini comme la durée nécessaire pour que des gouttes d'eau non évaporées et non infiltrées dans le sol, situées au sommet du bassin versant, atteignent l'exutoire.

On peut déterminer le temps de concentration des bassins versants en utilisant l'une des trois formules suivantes, en fonction de la superficie du bassin versant :

- Formule de VENTURA **(S< 5Km²) :**

$$t_{C=}0.1272\sqrt{\frac{S}{P}}$$

- Formule de PASSINI **(5Km²< S <25Km²) :**

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

- Formule de GIANDOTTI **(S> 25Km²) :**

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}}$$

Tel que :

- S : surface du bassin versant (km2).
- P : pente brute du bassin en (m/m).
- L : longueur de cours d'eau principal en (km).
- $H=H_{moy} - H_{min}$ (m)

On a utilisé la formule de **GIANDOTTI**, car notre surface du bassin versant est supérieure à 25 km comme le montre le tableau précédant.

A.N: $$t_c = \frac{4\sqrt{29.19}+1.5(8.07)}{0.8\sqrt{758.5-726}} = 7.39h$$

VI.4 Calcul du débit maximal dans le bassin versant (débit de crue) :

La détermination du débit maximum d'un cours d'eau revêt une importance particulière en raison des conséquences dévastatrices largement connues de ces phénomènes hydrologiques.

Les formules empiriques suivantes sont utilisées pour évaluer les débits max des bassins versants aux sites des franchissements les plus importants, en fonction de la pluie et des caractéristiques physiques des bassins versants :

VI.4.1 Formule de Mallet et Gautier :

$$\boldsymbol{Q_{max} = 2K\ Log(1 + AP) \times \frac{S}{L_P^{0.5}} \times \sqrt{(1 + 4Log(T) - Log(S))}}$$

- Q_{max} : débit de crue de période de retour voulue (en m^3/s).
- S : superficie du bassin versant (Km^2).
- T : période de retour en années.
- P : précipitation moyenne interannuelle en m.
- L_p : longueur du talweg principal (Km).
- A : coefficient régional pris égal à 20 pour l'Algérie.
- K : coefficient variant avec la pente du bassin de 0.5 à 5.

A.N :

$$\boldsymbol{Q_{max}} = 2 \times 1 \times Log(1 + 20 \times 0.2938) \times \frac{29.19}{8.07^{0.5}} \times \sqrt{(1 + Log(100) - Log(29.19)}$$

$$\boldsymbol{Q_{max}} = 21.31\ m^3/s$$

VI.4.2 Formule rationnelle :

$$\boldsymbol{Q = 0.278 \times C \times I \times S}$$

- Q : Débit de crue de fréquence déterminée en (m3 /s).
- C: Coefficient de ruissellement.
- S : Surface du bassin versant en (km^2).
- I : Intensité de pluie de fréquence déterminée pour le temps de concentration en (mm/h).

VI.4.2.1 : l'intensité de pluie :

$$\boldsymbol{I = \frac{a(T)}{t^b}}$$

- I : Intensités moyennes maximales de l'averse en (mm/h).
- a(T) : paramètre climatique de Montana pour une période de retour T.
- T : période de retour en ans.
- b : paramètre climatique de Montana caractéristique de la région.

$$\boldsymbol{I} = \frac{35.2}{7.39^{0.75}} = 7.85(mm/h)$$

A.N :

$$\boldsymbol{Q} = 0.278 \times 0.40 \times 7.85 \times 29.19$$

$$\boldsymbol{Q} = 25.48\ (m^3/s)$$

VI.4.3 Formule de Crupedix (1980-1982) :

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

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

- S : Surface du bassin versant en (km^2).
- $P_{jmax\ (10)}$: Précipitation journalière maximale décennal.
- R : Coefficient régional traduisant l'aptitude au ruissellement.
  - R = 0,2 pour des terrains perméables.
  - R = 1,5 à 1,8 pour des terrains imperméables.
  - R = 1 pour des terrains intermédiaires.
- $\boldsymbol{\Delta Q}$: $Q_{100} - Q_{10}$.
- y : Coefficient de Gumbel pour T= 50 ans, y = 3.90

A.N :

$$\boldsymbol{Q_{10}} = 1.6 \times (\frac{17}{80})^2 \times 29.19^{0.8}$$

$$\boldsymbol{Q_{10}} = 1.07\ m^3/s$$

$$Q_T = 1.07 + 24.36(\frac{3.90}{2.3} - 1)$$

$$Q_T = 21\, m^3/s$$

VI.4.4 Formule de Turraza :

$$Q_{max}\% = (\frac{Ptc\% \times S \times C}{3.6 \times T_C})$$

- Q_{max}% : débit de crue de période de retour voulue (en m^3/s).
- Ptc% : pluie de durée T_C et de période de retour voulue (en mm).
- T_C : temps de concentration du bassin (en heures).
- S : superficie du BV (en Km²).
- C : coefficient de ruissellement du bassin, C=0.40

A.N :

$$Q_{max} = (\frac{31.90 \times 29.19 \times 0.40}{3.6 \times 7.39})$$

$$Q_{max} = 14\, m^3/s$$

VI.4.5 Résultats :

Le tableau ci-dessous présente les débits centennaux max d'oued calculé à l'aide des formules empiriques expliquées précédemment.

Tableau VI. 15: Les débits max d'oued pour une période de 100 ans.

		Débits max centennaux (Q_{100}) en m^3/s				
N°du BV	PK	Mallet-Gautier	Rationnelle	Crupedix (1980-1982)	Turraza	Débits retenu
01	55+900	21.31	25.48	21	14	21.15

Dans le tableau ci-dessus, nous remarquons que les valeurs obtenues par la méthode Crupedix et la méthode de Mallet et Gautier sont proches l'une de l'autre. Nous avons donc pris la moyenne de ces deux valeurs pour obtenir le débit retenu.

VI.5 Calcule hydraulique et dimensionnement :

Les ouvrages hydrauliques qui seront mis en place pour intercepter les écoulements superficiels et les rétablir seront adaptés aux caractéristiques hydrologiques du site. Ils seront conçus et construits conformément aux règles de l'art. Ces ouvrages traverseront l'emprise de la voie dans le sens de l'écoulement des eaux et seront implantés tout le long du tracé. Les types d'ouvrages les plus couramment utilisés sont des buses ou des dalots en béton armé.

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

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

Tel que :

- Q_s : débit de saturation de l'ouvrage.
- S_m: section mouillée.
- P_m: Le périmètre mouillé.
- R_h : Rayon hydraulique. $R_h = \frac{S_m}{P_m}$
- **I** : pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).
- K_s: coefficient de rugosité.

Tableau VI. 16 : Valeurs de Ks selon SETRA.

Nature de L'ouvrage	En terre	Buse Métallique	Maçonnerie	Béton (Dalot)	Béton (buse préfabriquée)
Ks	30	40	50	70	

VI.5.1 Dimensionnement du dalot :

On utilise la formule de Manning Strickler pour dimensionner les dalots. Cette formule permet d'écrire l'égalité du débit d'apport et de saturation. Ensuite, on fixe la travée du dalot et on calcule la hauteur nécessaire en considérant une hauteur de remplissage de 0.75h.

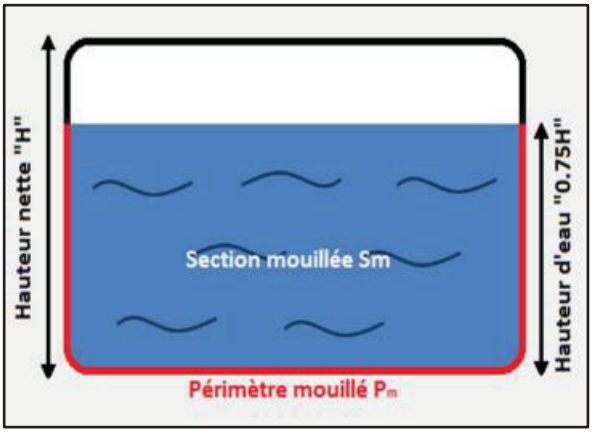


Figure VI. 12 : Dimensions du dalot.

Dans ce schéma :

- **B** : largeur nette du dalot (m).
- **H**: hauteur nette (m).
- **0.75H** : hauteur de remplissage (m).

Les dimensions de dalot sont déterminées en établissant l'égalité entre le débit de crue et le débit de saturation :

$$Q_{max} = Q_S$$

$$Q_{max} = K_S \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}$$

$$Q_{max} = K_S \times (0.75.b) \times [\frac{0.75.b}{b + 1.5h}]^2 \times I^{1/2}$$

$$Q_{max} = K_S \times (0.75h.b)^{5/3} \times \frac{1}{(b + 1.5h)^{2/3}} \times I^{1/2}$$

$$Q_{max} \times (b + 1.5h)^{2/3} = K_S \times (0.75h.b)^{5/3} \times I^{1/2}$$

$$\frac{Q_{max}}{K_S \times I^{1/2}} \times (b + 1.5h)^{2/3} = (0.75h.b)^{5/3}$$

$$\boldsymbol{h = \left[\frac{Q_{max}}{K_S \times I^{1/2}}\right]^{3/5} \times \frac{(b + 1.5h)^{2/5}}{0.75.b}}$$

La résolution de cette équation nécessite l'utilisation d'une méthode itérative.

$$\boldsymbol{h_{i+1} = \left[\frac{Q_{max}}{K_S \times I^{1/2}}\right]^{3/5} \times \frac{(b + 1.5h_i)^{2/5}}{0.75.b}}$$

Application numérique :

On a BV 01: $Q_{max\,(100)} = 21.15\ m^3/s$

En prend : b=5m, I= 0.01 m/m, $K_s = 70$

$h_0 = 1.000 \Rightarrow h_1 = 1.273$

$h_1 = 1.273 \Rightarrow h_2 = 1.317$

$h_2 = 1.317 \Rightarrow h_3 = 1.322$

$h_3 = 1.322 \Rightarrow h_4 = 1.323$

$h_4 = 1.323 \Rightarrow h_5 = 1.323$

Alors en prend **h = 2m.**

Après avoir effectué le calcul itératif, les valeurs retenues pour cette section (le dalot) sont : **b= 4m**, **h= 2m**

Alors que :

- $\boldsymbol{S_m} = 0.75h \times b = 6$
- $\boldsymbol{P_m} = 2 \times 0.75h + b = 7$
- $\boldsymbol{R_H} = \frac{S_m}{P_m} = 0.857$

$$\boldsymbol{Q_S} = K_S \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} = 70 \times 6 \times 0.857^{2/3} \times 0.01^{1/2} = \boldsymbol{37.90\ m^3/s}$$

❖ **Vérification de la vitesse :**

$V = \frac{Q_{max}}{S_m} = \frac{21.15}{6} = \boldsymbol{3.525\ m/s < 4\ m/s}$ ⟹ Vérifier

❖ **Vérification de la condition pour assurer un écoulement fluvial :**

$h_c = \sqrt[3]{\frac{Q_S}{g \times b^2}} = \sqrt[3]{\frac{37.90}{9.81 \times 4^2}} = \boldsymbol{0.622\ m} < 0.75\boldsymbol{h} = \boldsymbol{1.5m}$ ⟹ Verifier

❖ **Vérification des condition d'auto curage :**

Les conditions d'auto curage nécessitent de vérifier les vitesses d'écoulement pour les débits correspondant à des taux de remplissage de 1% et 10%.

$$\boldsymbol{Q_{PS}} = K_S \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} = 70 \times 8 \times 1^{2/3} \times 0.01^{1/2} = \boldsymbol{56\, m^3/s}$$

$$\boldsymbol{V_{PS}} = {}^{Q_{PS}}/_{S_m} = {}^{56}/_{8} = \boldsymbol{7\, m/s}$$

$$\boldsymbol{R_q} = {}^{Q_{max}}/_{Q_{PS}} = {}^{21.15}/_{56} = \boldsymbol{0.377}$$

$$V = R_V \times V_{PS}$$

Pour déterminer les valeurs du paramètre R_v, on se réfère au tableau d'assainissement.

Tableau VI. 17: Condition d'auto curage du dalot

$R_q = 0.377$			
Condition 01	**R_v**	**V**	**Vérification**
$V > 1\, m/s$	**0.924**	**6.47**	OUI
$R_q/10 = 0.0377$			
Condition 02	**Rv**	**V**	**Vérification**
$V > 0.6\, m/s$	**0.47**	**3.29**	**OUI**
$R_q/100 = 0.00377$			
Condition 03	**R_v**	**V**	**Vérification**
$V > 0.3\, m/s$	**0.248**	**1.74**	**OUI**

En conclusion, le dimensionnement du dalot semble être adapté aux conditions hydrauliques de l'écoulement.

Voici les dimensions calculées pour le dalot avec les vérifications de l'auto-curage dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI. 18 : Tableau récapitulatif de dimensions du Dalot avec les vérifications des conditions d'auto curage.

BV	01
Type d'ouvrage	Dalot
Débit retenu $Q_{max(100ans)}$ (m^3/s)	21.15
Dimension calculée bxh (mxm)	4.00×1.32
Dimension obtenue bxh (mxm)	4.00×2.00
$Q_{Saturation}$ (m^3/s)	37.90
$h_c < 0.75h$	0.622
$V_{Saturation} < 4(m/s)$	3.525
Q_{PS} (m^3/s)	56
V_{PS} (m^3/s)	7
Q/Q_{PS}	0.377
$V > 1(m/s)$	6.47
$V > 0.6(m/s)\ Pour\ (Q = 0.1Q_{PS})$	3.29
$V > 0.3(m/s)\ Pour\ (Q = 0.01Q_{PS})$	1.74
Vérification	Vérifier

Tableau VI. 19 : les dimensions de l'ouvrage de drainage qui a été construit sur notre tracé.

BV	Exutoire au PK	Débit retenu Q_{max} (m^3/s)	Dimension obtenue bxh (mxm)	Disposition Constructive
01	55+900	21.15	4.00×2.00	Dalot 2 cellules $2.00 \times 2.00\ m$

VI.5.2 Ouvrages d'assainissement longitudinaux :

La conception générale du système de drainage longitudinal consiste à mettre en place des ouvrages techniques pour collecter, conduire, évacuer et drainer les eaux de ruissellement des deux côtés de la plateforme ferroviaire, ainsi que les eaux des talus et les eaux internes.

On adopte pour une conception générale du système de drainage longitudinal :

- Un fossé de forme trapézoïdale sera aménagé dans les zones de déblai, le long des accotements de la plateforme.
- Des fossés de drainage, de taille différente selon la quantité d'eau reçue, ont été disposés dans les déblais, des deux côtés du palier de la voie.

VI.5.2.1 Dimensionnement des fosses :

Le fossé adopté au tracé est un fossé de forme trapézoïdale tel qu'il est illustré dans la figure ci-dessous :

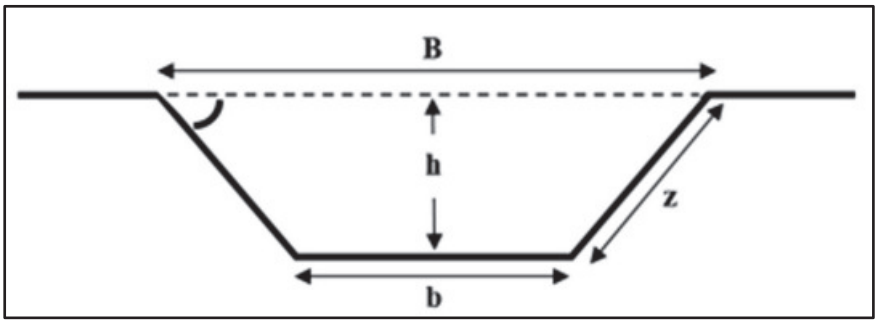


Figure VI. 13 : fosse de forme trapézoïdale.

VI.5.2.2 Calcule des débits d'apports :

La sélection du type de fossé dépend du débit à évacuer généré par la plateforme ferroviaire, les bermes et les talus.

$$Q_a = Q_{pf} + Q_b + Q_t$$

Pour le calcul des débits, on prend en compte le cas le plus défavorable, c'est-à-dire lorsque le remblai ou le déblai s'étend sur une grande longueur avec une hauteur importante. Chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle

$$Q_{max} = 0.278 \times C_r \times I \times S$$

- S : Surface du bassin versant considérer : la plate-forme / les bermes / les talus, en (km²).
- Q : Débit de crue correspondant au bassin versant, avec une période de retour T (m³/s).
- C_r: Coefficient de ruissellement.
- I : Intensité de pluie (mm/h).

❖ **Surfaces des sous bassins versants :**

On va travailler selon le cas le plus défavorable :

- Remblai de la voie 44+ 675 jusqu'à 48+ 375.
- Déblai de la voie 51+ 325 jusqu'à 52+ 300.

Tableau VI. 20 : Surfaces des sous bassins versants.

	Remblai	Déblai
Bassin versant	**S (Km²)**	**S (Km²)**
Plate-forme	**0.0296**	$\mathbf{7.8 \times 10^{-3}}$
Talus	**0.0192**	$\mathbf{6.32 \times 10^{-3}}$

❖ **Temps de concentration :**

Le temps de concentration du bassin versant considérer est calculé à l'aide de la formule De **VENTURA** ($\boldsymbol{A < 5Km^2}$). $\boldsymbol{T_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{S}{I}}}$

- **S** : superficie du Bassin versant (Km²).
- **I** : Pente moyenne du bassin versant (m/m)

Tableau VI. 21: Tempes de concentration

	Remblai			Déblai		
Bassin versant	**S(km²)**	**I(m/m)**	**T_c (h)**	**S(km²)**	**I(m/m)**	**T_c(h)**
Talus	**0.0192**	**0.667**	**0.021**	**6.32×10^{-3}**	**0.667**	**0.0123**
Plate-forme	**0.0296**	**0.04**	**0.109**	**7.8×10^{-3}**	**0.04**	**0.056**

❖ **Débit d'apport :**

La valeur du débit utilise est celle calculée pour une période de retour de 10 ans.

L'intensité de la pluie de durée t et fréquence f est estimée par la relation Intensité- durée - fréquence de forme suivant :

$$I = a \times T_c^{-b}$$

Avec : **a** et **b** sont les paramètres de Montana.

Tableau VI. 22: Débit d'apport

	Remblai					Déblai				
Bassin Versant	**S (Km^2)**	**I (mm/h)**	**Cr**	**Qa (m^3/s)**	**$Q_{a\ tot}$ (m^3/s)**	**S $10^{-3}(km^2)$**	**I (m/m)**	**Cr**	**Q_a (m^3/s)**	**$Q_{a\ tot}$ (m^3/s)**
Talus	**0.0192**	**338.98**	**0.6**	**1.08**	**1.64**	**6.32**	**506.30**	**0.6**	**0.533**	**0.775**
Plate-forme	**0.0296**	**98.57**	**0.7**	**0.567**		**7.8**	**159.83**	**0.7**	**0.242**	

❖ **Débit de saturation :**

La capacité hydraulique des fossés est calculée en utilisant la formule de "Manning Strickler" pour le dimensionnement.

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

- **S_m :** section mouillée. $S_m = (b + z.h).h$
- **P_m :** le périmètre mouille. $P_m = b + 2.h.\sqrt{1 + Z^2}$
- **R_h :** Rayon hydraulique. $R_h = \frac{S_m}{P_m}$

Les dimensions du fossé sont déterminées en égalant le débit d'apport au débit de saturation.

$$Q_{apport} = Q_s \qquad Q_{apport} = Q_{max\ (10\ ans)}$$

$$Q_a = K_s \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} = K_s \times (b + z.h).h \times \left[\frac{(b + z.h).h}{b + 2.h.\sqrt{1 + z^2}}\right]^{2/3} \times I^{1/2}$$

Prend **z= 1** ; alors : $\boldsymbol{h_{i+1}} = \left[\frac{Q_a}{K_s \times b \times \sqrt{I}}\right]^{3/5} \times \frac{\left[1+2\sqrt{2}\times\left(h_i/b\right)\right]^{2/5}}{1+\left(h_i/b\right)}$

On prend: **b = 0.60; Ks = 50; I = 0.007**

$h_0 = 1 \Rightarrow h_1 = 0.583$

$h_1 = 0.583 \Rightarrow h_2 = 0.666$

$h_2 = 0.666 \Rightarrow h_3 = 0.648$

$h_3 = 0.648 \Rightarrow h_4 = 0.651$

$h_4 = 0.651 \Rightarrow h_5 = 0.651$ Alors en prend **h= 0.7**m.

Donc le type de fossé pour notre projet : **h= 0.7m ; b= 0.6m ; B= 2m.**

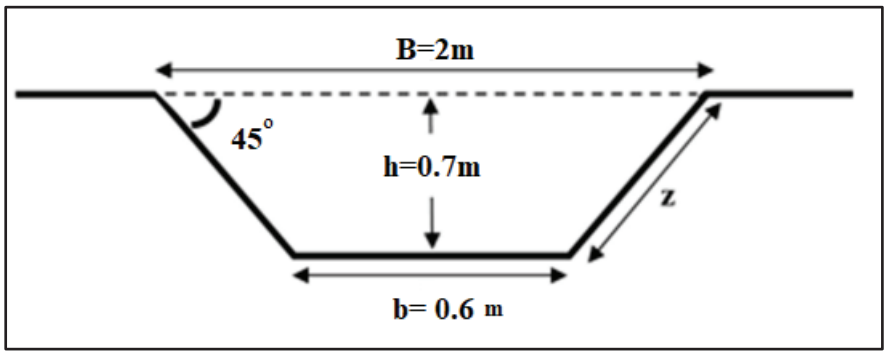


Figure VI. 14: Dimension d'un fossé.

VI.6 Conclusion :

Dans un projet linéaire tel qu'une ligne ferroviaire, l'étude hydrologique et hydraulique revêt une importance primordiale et est obligatoire. Cette étude joue un rôle essentiel dans la garantie de la pérennité de la voie.

CHAPITRE VII. : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Etude géologique et géotechnique

VII.1 L'étude géologique :

VII.1.1 Introduction :

L'étude géologique est une étape cruciale dans tout projet de construction. Elle permet de sélectionner un tracé optimal en identifiant les points critiques du terrain et en comprenant la nature géologique du sol sur lequel le projet sera construit. L'objectif est d'éviter, ou du moins de minimiser, les problèmes potentiels qui peuvent survenir pendant la construction ou même après la réalisation du projet. Ainsi, l'étude géologique permet de mieux comprendre les caractéristiques géologiques du sol, telles que la résistance, la stabilité, l'homogénéité, la perméabilité, etc. Cela permet de concevoir un projet plus solide et durable.

VII.1.2 La géologie de l'Algérie :

L'Algérie comprend quatre grands domaines du nord au sud :

- **L'Atlas tellien :** est une chaîne de montagnes qui longe le littoral de l'Algérie et s'étend sur environ 1500 kilomètres. Son point culminant est le mont Lalla Khadîdja, qui s'élève à 2308 mètres d'altitude dans le massif du Djurdjura.
- **L'Atlas saharien :** est la partie méridionale du massif de l'Atlas. Il est principalement situé en Algérie, mais s'étend également sur une partie du Maroc et de la Tunisie. Le plus haut pic de la chaîne est le Djebel Chélia, dans les Aurès (Algérie), qui culmine à 2328 mètres d'altitude.
- **Les Hauts Plateaux :** Les Hauts Plateaux ou les Steppes algériennes sont une région de la dépression du Sahara. Elle s'étend depuis les environs d'Oujda jusqu'à Tlemcen à l'ouest de l'Algérie, jusqu'à Souk Ahras à l'est. L'altitude de ces terres varie entre 800 et 1 000 mètres et elle englobe la plupart des zones intérieures.
- **Le Sahara :** Le Sahara, qui recèle l'essentiel des ressources en hydrocarbures, est un désert composé de vastes étendues de dunes, de plaines caillouteuses et parsemé d'oasis qui sont autant de centres urbains tels qu'El Oued, Ghardaïa et Djanet. À l'ouest se trouve le massif des Églab et à l'est le massif du Hoggar.

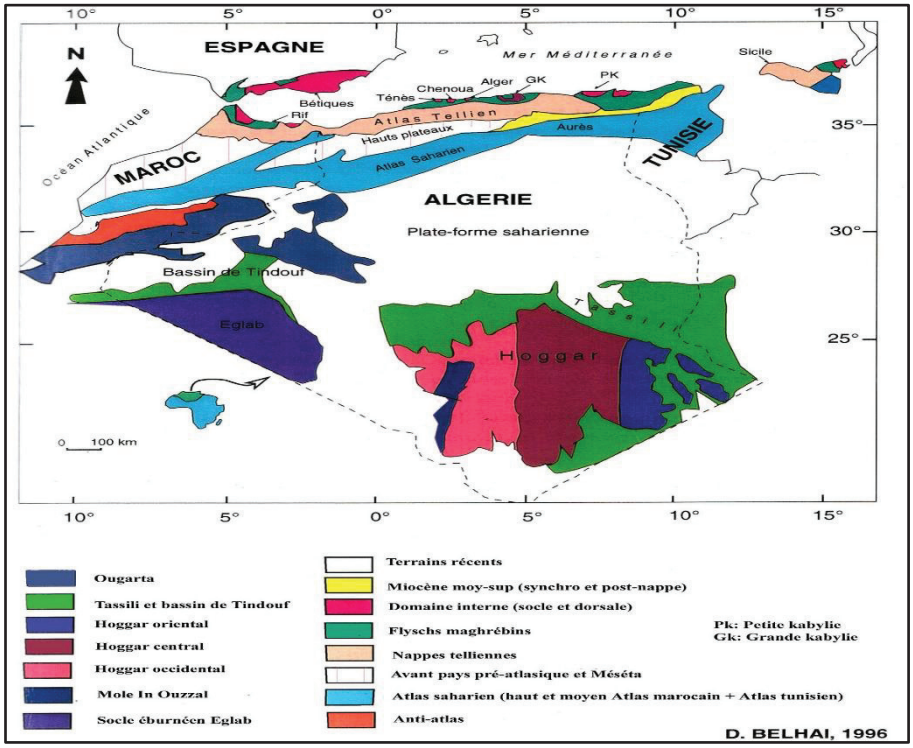


Figure VII. 4 : Carte géologique d'Algérie [35]

VII.1.3 La géologie régionale :

Le projet est situé dans la zone des hauts plateaux d'Algérie, également connus sous le nom de hauts plaines ou la steppe algérienne. Cette région est caractérisée par un relief qui borde l'Atlas tellien au nord et l'Atlas saharien au sud.

L'exploitation de la carte géologique de cette région à l'échelle 1/50 000, combinée à des visites sur site, a permis de mettre en évidence les conditions géologiques de l'emprise du projet. La géologie régionale est caractérisée par la litho-stratigraphie suivante :

- **Trias :**

La formation géologique du Trias dans la région se compose principalement de gypse, de dolomies, de calcaires et de marnes.

- **Jurassique :**

Les formations géologiques de cet âge sont présentes uniquement sur le grand pic de l'Ouarsenis et ses environs. Elles sont principalement composées de calcaires massifs, de calcaires à silex, de marnes et de marno-calcaires

[35] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d5/Carte_g%C3%A9ologique_Alg%C3%A9rie.jpg/

❖ **Crétacé :**

Ces affleurements géologiques sont étendus sur une grande partie du territoire de la wilaya, à l'exception de la zone sud où ils sont recouverts par des dépôts tertiaires. Les formations de cette région sont principalement composées de schistes argileux, de marnes, de marno-calcaires, d'argilites et de grès quartzifères.

❖ **Tertiaire :** Il est représenté par :

- **Paléocène:**

  Il est constitué essentiellement de marne à intercalations carbonatées.

- **Eocène:**

  Il est constitué de calcaires massifs localement dolomitisés, d'argiles et de marnes affleurant au sud de la région.

❖ **Miocène:**

Il est constitué d'argiles, de marnes, de grès et de conglomérats. Il affleure à l'est et à l'ouest du chef-lieu de la wilaya.

❖ **Quaternaire:**

Il est représenté par le Plio-quaternaire et est constitué de dépôts caillouteux et alluvionnaires, limons, limons sableux, sables argileux, grès, conglomérats, poudings qui affleurent à l'Est de Khemsti.

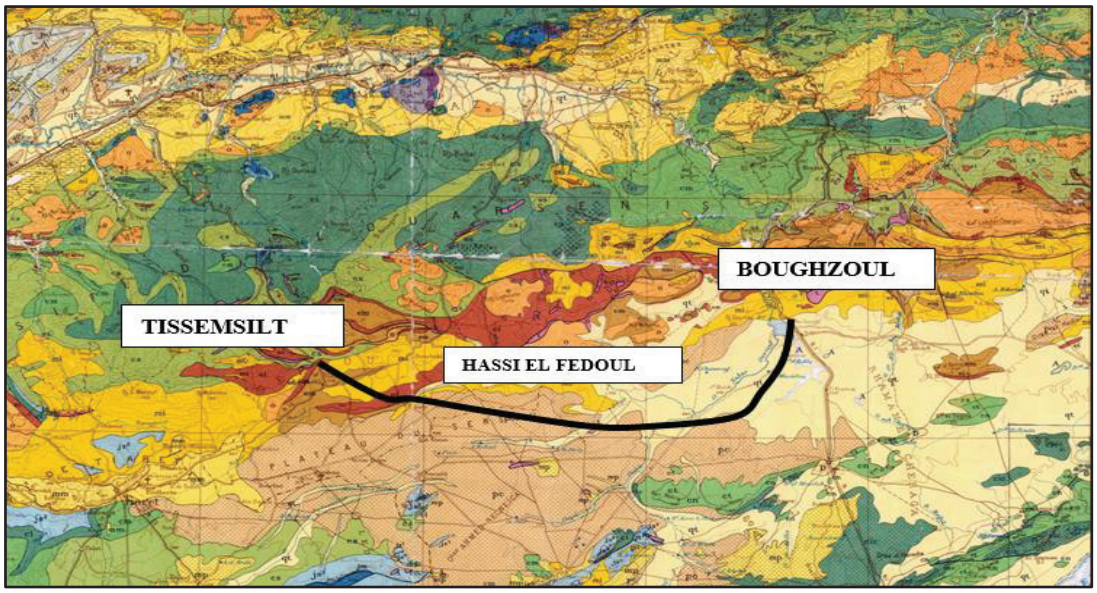


Figure VII. 5 : Carte géologique du projet.

VII.1.4 Géologie locale :

Le tracé s'étend essentiellement sur des roches cohérentes du Néogène ainsi que sur des roches meubles quaternaires. En ce qui concerne les roches néogènes, il s'agit de grès, de roches carbonatées et de roches sédimentaires à granulations fines telles que les limons et les argiles.

Dans notre tronçon, du PK 44+675 au PK 57+000, le tracé s'étend généralement sur des roches carbonatées. Ces roches, présentes en masse, n'ont qu'une rigidité relativement faible.

VII.1.5 La sismicité de la zone d'étude :

Le Règlement Parasismique Algérien des Ouvrages d'Art (R.P.O.A 2008) a établi des règles en fonction de l'intensité de l'action sismique d'une région afin de prendre en compte la probabilité d'occurrence d'un séisme dans une zone d'étude. Ces règles divisent le territoire algérien en cinq zones sismiques.

- Zone 0 : sismicité négligeable.
- Zone I : sismicité faible.
- Zone II a : sismicité moyenne.
- Zone II b : sismicité élevée.
- Zone III : sismicité très élevée.

La zone d'étude appartient à une zone sismique **« I »** caractérisé par une sismicité faible.

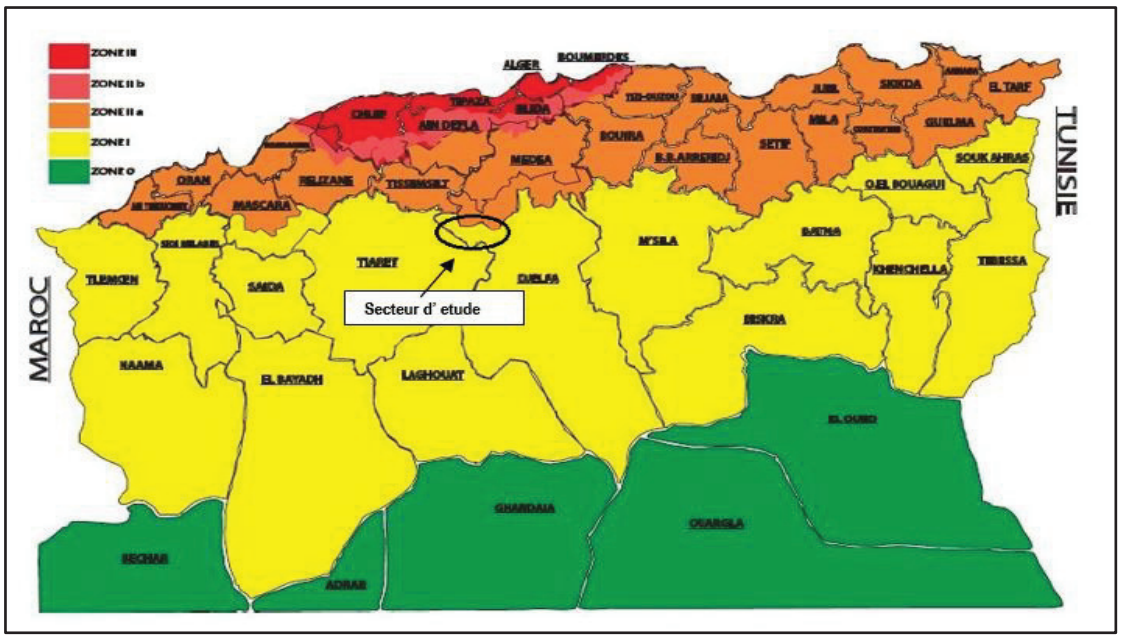


Figure VII. 6: carte sismique de l'Algérie de la distribution des zones sismiques.

VII.2 L'étude géotechnique :

VII.2.1 Introduction :

Dans tous les projets linéaires et de construction, il est essentiel de réaliser une reconnaissance géotechnique approfondie. Cela permet d'obtenir une compréhension détaillée des conditions géologiques et géotechniques du site, fournissant ainsi les données nécessaires pour la conception et le calcul des ouvrages. Cette étape est réalisée avec rigueur afin d'assurer la sécurité et la stabilité des structures tout au long du projet.

VII.2.2 Programme d'investigation géotechnique :

Le programme d'investigation défini par l'ingénieur d'étude a pour objectif d'obtenir toutes les informations nécessaires pour déterminer une solution technique optimale, en prenant en compte à la fois les spécificités du projet et les caractéristiques du site sur lequel il sera construit. Ainsi, pour un même projet, le programme d'investigation peut varier en fonction du contexte géologique prévu du terrain sélectionné. L'objectif est de collecter les données pertinentes sur la géologie, la géotechnique, et d'autres facteurs influents, afin de prendre des décisions éclairées et de concevoir des ouvrages adaptés au contexte spécifique du site.

Pour notre tracé le long de linge ferroviaire les investigations réparties sur les lots suivants :

- Lot voie ferrée.
- Lot ouvrage d'art.

VII.2.2.1 Lot voie ferrée :

VII.2.2.1.1 Reconnaissance de portance de la plat-forme :

❖ **Essais in situ :**

Pour la classification de la plate-forme d'emprise du tracé ; des puis de reconnaissance seront creuses, à l'aide d'une pelle équipée en retro.

❖ **Essais en laboratoire :**

Les essais prévus comprennent notamment :

- Essais d'identification (Granulométrie, Sédimentométrie, Limites d'Atterberg, teneur en eau naturelle, densité spécifique, essai d bleu VBS).
- Analyses chimiques (Sulfates, Carbonates).
- Essais mécaniques (, Proctor modifié, Cisaillement rectiligne et l'essai œdométriques).

Tableau VII. 9: Programme d'investigation de lot voie ferrée

Localisation	Hauteur (m) Remblai/Déblai	Essais in situ	Prof	Essais au laboratoire
Section Remblais				
45+575	**1.70**	01 puis de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	**5m**	– Essais d'identification – Analyses chimiques – CBR – Essais œdométriques – Essais cisaillement rectiligne
46+550	**4.10**	01 puis de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	**5m**	– Essais d'identification – Analyses chimiques – CBR – Essais œdométriques – Essais cisaillement rectiligne
47+850	**2.50**	01 puis de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	**5m**	– Essais d'identification – Analyses chimiques – CBR – Essais œdométriques – Essais cisaillement rectiligne
49+750	**3.40**	01 puis de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	**5m**	– Essais d'identification – Analyses chimiques – CBR – Essais œdométriques – Essais cisaillement rectiligne

52+550	**3.80**	01 puis de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	**5m**	– Essais d'identification – Analyses chimiques – CBR – Essais œdométriques – Essais cisaillement rectiligne
54+ 300	**3.10**	01 puis de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	**5m**	– Essais d'identification – Analyses chimiques – CBR – Essais œdométriques – Essais cisaillement rectiligne
56+500	**3.00**	01 puis de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	**5m**	– Essais d'identification – Analyses chimiques – CBR – Essais œdométriques – Essais cisaillement rectiligne
57+000	**2.00**	01 puis de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	**5m**	– Essais d'identification – Analyses chimiques – CBR – Essais œdométriques – Essais cisaillement rectiligne

Section Déblais				
48+650	**1.10**	01 puis de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	**5m**	– Essais d'identification – Analyses chimiques – CBR – Essais œdométriques – Essais cisaillement rectiligne
51+925	**5.40**	01 puis de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	**5m**	– Essais d'identification – Analyses chimiques – CBR – Essais œdométriques – Essais cisaillement rectiligne
52+175	**1.80**	01 puis de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	**5m**	– Essais d'identification – Analyses chimiques – CBR – Essais œdométriques – Essais cisaillement rectiligne

VII.2.2.2 Lot ouvrage d'art :

La campagne d'investigation géotechnique du lot "ouvrages d'art" comprendra la réalisation d'un sondage carotté à proximité de chaque ouvrage, ainsi que des essais pénétromètre dynamique. Les résultats de cette campagne seront utilisés pour compléter les données nécessaires. Des échantillons intacts paraffinés seront prélevés afin de déterminer les paramètres intrinsèques et le comportement du matériau en place. L'utilisation de pénétromètres dynamiques permettra d'obtenir une estimation continue de la résistance du terrain.

Localisation	Type d'ouvrage	Essais in situ	Prof	Essais au laboratoire
47+640	**Passage supérieur (pont routier)**	– Sondage carotté – Essais au pénétromètre	**15m**	– Essais d'identification – Analyses chimiques – CBR – Essais œdométriques – Essais cisaillement rectiligne
50+147	**Passage supérieur (pont routier)**	– Sondage carotté – Essais au pénétromètre	**15m**	– Essais d'identification – Analyses chimiques – CBR – Essais œdométriques – Essais cisaillement rectiligne
56+358	**Passage supérieur (Pont routier)**	– Sondage carotté – Essais au pénétromètre	**15m**	– Essais d'identification – Analyses chimiques – CBR – Essais œdométriques – Essais cisaillement rectiligne

Remarque :

Un programme d'investigation géotechnique est obligatoire dans tout projet pour comprendre les caractéristiques du sol. Pour notre étude, nous avons établi un programme spécifique qui est jugé adéquat pour déterminer les propriétés du sol sur lequel le projet sera réalisé. Ce programme ne diffère pas beaucoup de celui établi lors de l'avant-projet détaillé (APD). Cependant, en raison de légères modifications dans le tracé du projet par rapport à celui prévu dans l'APD. Dans le cadre de notre (PFE), nous n'avons pas accès à des données exactes spécifiques aux PK que nous avons sélectionné, car aucun essai réel n'a été effectué dans ces PK. Par conséquent, nous nous référons aux données des essais déjà réalisés dans l'APD ainsi qu'au programme de prospection géotechnique établi par **SETI RAIL.**

VII.2.3 Compagne de reconnaissance :

VII.2.3.1 Puits de reconnaissance :

Une campagne de 8 puits de reconnaissance pour l'étude géotechnique du couloir.

Tableau VII. 10 : Les puits de reconnaissance

Puits	PK	Profondeur	Description
Puit N° 01	45+500	0.00m à 0.70m	Recouvrement gravelo-caillouteuex avec galets et blocs
		0.70m à 0.90m	Refus sur croûte calcaire dure
Puit N° 02	47+000	0.00m à 0.50m	Recouvrement gravelo-caillouteuex avec galets et blocs
		0.50m à 0.80m	Refus sur croûte calcaire dure
Puit N° 03	48+500	0.00m à 0.40m	Recouvrement gravelo-caillouteuex avec galets et blocs
		0.40m à 0.50m	Refus sur croûte calcaire dure
Puit N° 04	50+000	0.00m à 0.30m	Recouvrement gravelo-caillouteuex avec galets et blocs
		0.30m à 0.35m	Refus sur croûte calcaire dure
Puit N° 05	51+500	0.00m à 0.40m	Recouvrement gravelo-caillouteuex avec galets et blocs
		0.40m à 1.20m	Refus sur croûte calcaire dure
Puit N° 06	53+000	0.00m à 1.10m	Sable limoneux, peu argileux, finement graveleux, rougeâtre
		1.10m à 1.30m	Croute calcaire assez dure
		1.30m à 3.00m	Sable peu graveleux, jaunâtre
Puit N° 07	54+500	0.00m à 0.60m	Sable limoneux, peu argileux, finement graveleux, rougeâtre
		0.60m à 0.80m	Refus sur croûte calcaire dure
Puit N° 08	56+000	0.00m à 0.80m	Sable limoneux, argileux, rougeâtre
		0.80m à 1.60m	Sable jaunâtre, peu graveleux à graveleux

Synthèse lithologique :

Les résultats de la campagne de reconnaissance indiquent que le sol présent dans la zone étudiée est globalement homogène. Il est principalement composé de sables limoneux et graveleux, avec des zones localement consolidées. Une croûte calcaire relativement dure se trouve généralement à une profondeur comprise entre 0,40 et 0,80 mètres.

VII.2.3.2 Essais au laboratoire :

Des échantillons prélevés lors de l'exécution des puits de reconnaissance ont été soumis à des essais d'identification physiques, des essais mécaniques et des analyses chimiques suivantes :

- Essais d'identification (Granulométrie, Sédimentométrie, Limites d'Atterberg, teneur en eau naturelle).
- Essais de propreté (Equivalent de sable, Essai au Bleu Méthylène VBS).
- Essais mécaniques (Des essais Proctor modifié. Des Essais CBR).
- Analyses chimiques (Matière organique, Sulfates SO4 -2 et Carbonates Caco3).

VII.2.3.2.1 Essai d'identification :

Les résultats des essais d'identification et de propreté des sols traversés par la nouvelle ligne ferroviaire Tissemsilt-Boughezoul avec leur classification selon GTR (guide des terrassements routiers) sont donnés par le tableau récapitulatif si dessous :

Tableau VII. 11: tableau récapitulatif des résultats des essais d'identification et de propreté des sols et leur classification GTR

Puits N°	Teneur en eau	VBS	Limites d'Atterberg				Granulomètre (mm)				Classification
	%	%	WL	WP	IP	Ic	< 50	< 2	< 0.08	< 0.02	NFP 11 - 300
Pt 05	8.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C1A1m
Pt 06	5.80	0.85	30.00	19.25	10.75	1.72	100	94.63	30.45	11	C1B5s
Pt 07	8.59	0.98	32.64	21.18	11.46	1.30	100	86.97	60.49	16.19	C1A1m
Pt 08	9.79	1.80	37.71	22.97	11.74	1.49	100	93.96	40	18.70	C1A1m

Interprétation des résultats :

D'après les informations que vous avez fournies, le pourcentage de passants à 80 micromètres dans l'analyse granulométrique se situe entre 30.45% et 60.90%. Ces résultats suggèrent la présence d'un terrain à prédominance de sols fins, avec parfois des grains plus grossiers (grenus)

Selon les résultats des limites d'Atterberg que vous avez mentionnés, les indices de plasticité (IP) varient entre 10.75% et 11.74%, tandis que les limites de liquidité se situent entre 33.00% et 37.71%. Selon la norme NF P 94-011, les valeurs d'indice de plasticité (IP) obtenues indiquent que les sols sont non plastiques

Tableau VII. 12 : Qualification de la fraction du sol en fonction de l'indice de plasticité

Indice de plasticité %	Qualification
$I_P \leq 12$	Non plastique
$12 < I_P \leq 25$	Peu plastique
$25 < I_P \leq 40$	Plastique
$I_P > 40$	Très plastique

VII.2.3.2.2 Essais mécaniques :

Les essais mécaniques du sol sont des tests réalisés pour évaluer les caractéristiques physiques et mécaniques d'un sol. Le programme d'essais comprendra à la fois :

- **Essai Proctor. :**

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

- **Essais CBR :**

Est un essai de portance qui donne l'aptitude des matériaux à supporter les charge des remblais et des couches de forme.

Les résultats des essais mécaniques et de propreté des sols traversés par (la nouvelle ligne ferroviaire Tissemsilt-Boughezoul) sont donnés par le tableau récapitulatif si dessous :

Tableau VII. 13 : tableau récapitulatif Des Essais mécaniques

Puits N°	Proctor Modifie		CBR
	γ_{opm} (t/m^3)	W_{opm} (%)	ICBR 95% γ'_{opm}
Pt 06	1.98	11.0	5.18
Pt 07	1.98	12.8	3.31
Pt 08	1.81	11.1	5.81

Interprétation des résultats :

- Les résultats des essais Proctor sur les échantillons ont révélé des valeurs de densité optimale (γd_{OPM}) variant entre 1,81 t/m³ et 1,98 t/m³, ainsi que des teneurs en eau optimales (W_{OPM}) variant entre 11,00 % et 12,8 %. Ces résultats indiquent que le matériau analysé présente une densité de compactage élevée.
- Les essais de portance CBR ont donné des valeurs d'indices CBR à 95 % de compacité. Les valeurs obtenues varient entre 5,18 % et 5,81 %

VII.2.3.2.3 Analyses chimiques :

L'objectif de ces essais est d'identifier la présence d'éléments actifs dans les sols. Les résultats des essais mécaniques des sols traversés sont présentés dans le tableau récapitulatif ci-dessous :

Tableau VII. 14 : Tableau récapitulatif des essais chimiques

Puits N^O	Carbonates CaCO3	Anhydrides Carbonates (%)	Chlorures (NaCl) (%)
Pt 05	53.00	23.32	0.53
Pt 06	12.93	5.69	0.29
Pt 07	31.17	13.28	0.58
Pt 08	32.75	14.41	0.35

Interprétation des résultats :

- Le taux des carbonates varie entre 12.93% et 53% ce qui signifie que le sol non carbonaté.

VII.2.3.2.4 Les résultats des Essais en laboratoire :

Des échantillons de sol prélevés à partir de puits de reconnaissance et de sondages carottés ont été soumis à des essais de laboratoire. Ces essais, réalisés lors de la phase d'APD, avaient pour objectif d'identifier les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques du sol le long du tronçon étudié. Les résultats de ces essais de laboratoire ont permis de classer le sol selon (GTR) et (UIC). Cette classification permet d'évaluer la qualité du sol et de prendre en compte ses propriétés lors de la conception et de la construction des ouvrages.

Tableau VII. 15 : résultats des essais physiques et chimiques.

Puits N^{O}	Granulométrie		Limite	Classification	Classe De qualité du sol
	50	0.08	Ip	GTR/NFP11-300	UIC719R
Pt 05	-	-	-	C1A1m	QS1
Pt 06	100	30.45	10.75	C1B5s	QS1
Pt 07	100	60.49	11.46	C1A1m	QS1
Pt 08	100	40	11.74	C1A1m	QS1

VII.3 : Conclusion :

En effectuant des essais d'identification et des essais mécaniques en laboratoire sur de nombreux échantillons de sol prélevés à différentes profondeurs, nous avons pu classifier le sol selon la norme UIC 719R. La classe de qualité du sol la plus fréquemment rencontrée le long du tracé est principalement QS1

CHAPITRE VIII. ASSISE FERROVIARE ET PROFIL EN TRAVERS

Assise ferroviaire et profil en travers

VIII.1 Assise ferroviaire :

VIII.1.1 Introduction :

Le dimensionnement de l'infrastructure de la voie ferrée est l'une des étapes les plus importantes de l'étude ferroviaire, car il garantit le bon comportement de la voie. La structure d'assise, qui constitue la partie inférieure sur laquelle repose la voie, remplit plusieurs fonctions essentielles, notamment :

- Le drainage des eaux de pluie.
- Rigidité de la voie.
- Répartition des charges exercées par les traverses sur la plate-forme.

VIII.1.2 Les couches d'assise :

VIII.1.2.1 Le ballast :

Le ballast est un élément essentiel dans les voies ferrées, utilisé pour assurer la stabilité et le support des rails. Il s'agit d'un matériau granulaire, généralement composé de pierres concassées ou de gravier, qui est réparti sur le lit de la voie entre les traverses.il joue le rôle de :

- La répartition et la transmission uniforme des charges induites par les véhicules ferroviaires à la plate-forme.
- Facilite le drainage et empêche la voie d'être inondés.
- Amortissement des vibrations et absorption de bruit, garantissant ainsi la sécurité et le confort des circulations.
- Stabilisation de la traverse, résistance aux forces longitudinales et transversales des trains.

VIII.1.2.2 La sous-couche :

La sous-couche dans la structure d'assise d'une voie ferrée est la partie intermédiaire située entre le ballast et la plate-forme. Elle est généralement composée de deux couches distinctes :

- La couche de sous-ballast.
- La couche de fondation.

La sous couche assure plusieurs fonctions comme :

- L'amélioration de la portance et meilleure répartition des charges transmises.
- La contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires.
- La Protection contre l'érosion et le gel.
- Evacuation des eaux.

VIII.1.2.3 La plate-forme :

La partie supérieure de l'ouvrage en terre, qui supporte la sous-couche, est appelée la plateforme. Elle est composée de terres rapportées dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai.

Le sol utilisé pour former la plate-forme doit remplir plusieurs fonctions essentielles :

- La répartition des charges reçues par la superstructure.
- L'évacuation des eaux de ruissellement et zénithales vers l'assainissement.
- L'amortissement des vibrations résultant de la circulation des véhicules.
- Permettre le rabattement des eaux souterraines.

VIII.1.3 Dimensionnement de la couche d'assise :

VIII.1.3.1 Dimensionnement de la couche de forme

La capacité portante des plateformes dépend de plusieurs facteurs, notamment la qualité du sol utilisé pour le remblai ou le sol en place dans le cas d'un déblai, ainsi que la qualité et l'épaisseur de la couche de forme.

On distingue ainsi 3 types de plates-formes auxquelles correspondent des structures d'assises différentes :

- **P1** : plate-forme **mauvaise**
- **P2** : plate-forme **moyenne**
- **P3** : plate-forme **bonne**

L'épaisseur de la couche de forme sera déterminée en fonction du type et de la qualité du sol de support, ainsi que de la classe de portance souhaitée pour la plateforme, conformément à la norme UIC 719R.

Tableau VIII. 6 : épaisseur de la couche de forme (UIC 719R).

Qualité du sol Support	Classe de la Plate-forme	Couche de forme	
		Qualité	Epaisseur min (m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.50
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.50
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

En tenant compte de la qualité du sol QS1(d'après l'étude géotechnique) et de la capacité portante requise P3 pour la plateforme, il est recommandé d'avoir une épaisseur de 0,50 m pour la couche de forme, donc $\mathbf{e_f = 0.50m = 50\ cm.}$

VIII.1.3.2 Calcul les épaisseurs des couches de ballast et sous-ballast :

Le dimensionnement des épaisseurs des couches de ballast et de sous-couche a été réalisé conformément à la norme UIC 719 R, qui définit les épaisseurs recommandées pour le ballast et le sous-ballast dans le cas d'une ligne ferroviaire.

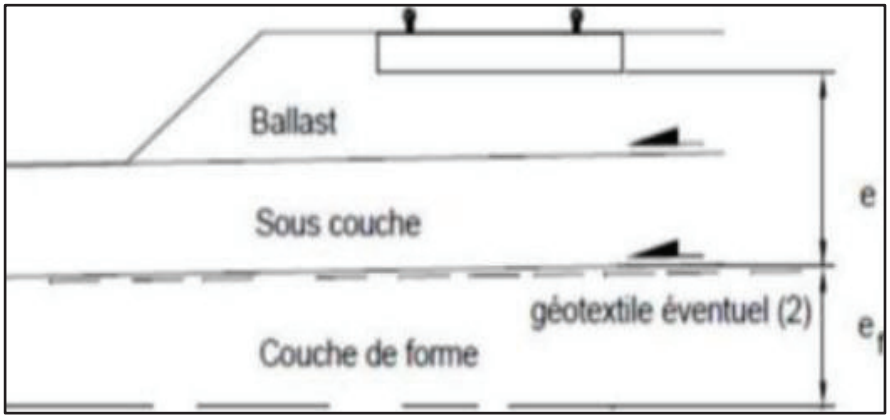


Figure VIII. 3: schéma illustrative qui montre les épaisseurs de couche d'assise.

Conformément à la fiche UIC 719, l'épaisseur requise de la couche d'assise se calcule selon la formule suivante :

$$e = E + a + b + c + d + f + g \ \ \textbf{(m)}$$

- **E :** facteur dépendant des classes de portance (P1, P2 ou P3).
- **a :** facteur dépendant de l'UIC groupes (groupe 1 à 6, UIC 714).
- **b :** facteur dépendant de type de traverse.
- **c :** facteur dépendant des conditions de travail.
- **d :** facteur dépendant de la charge maximale d'essieu des véhicules
- **f :** facteur dépendant de la vitesse.
- **g :** facteur dépendant de l'installation de géotextiles

Tableau VIII. 7 : Valeur des coefficients de la formule de calcul d'épaisseur selon UIC719R.

Paramètre	Valeur (m)	Caractéristiques
E	**0.70**	Pour les plateformes de classe de portance P1
	0.55	Pour les plateformes de classe de portance P2
	0.45	Pour les plateformes de classe de portance P3
a	**0**	Pour les lignes de groupe UIC 1 et 2 ou ligne V>160 km/h
	-0.05	Pour les lignes de groupe UIC 3,4
	-0.10	Pour les lignes de groupe UIC 5, 6, 7, 8, 9 avec voyageur
	-0.15	Pour les groupes UIC 7,8 et 9 sans voyageur
b	**0**	Traverse en bois de longueur 2.6 m
	(2.5-L) /2	Travers en béton de longueur L. (L et b en mettre si L>2.5, b peut être négatif)
c	**0**	Pour un dimensionnement normal
	-0.10	Titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que 7, 8,9 sans voyageur
	-0.05	Titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC 7,8,9 sans voyageur
d	**0**	Lorsque la charge d'essieu des véhicules remorqués < 200 KN
	+0.05	Lorsque la charge d'essieu des véhicules remorqués < 225 KN
	+0.12	Lorsque la charge d'essieu des véhicules remorqués < 250 KN

f	**0**	Pour toutes les lignes à V≤ 160 km/h et pour les plateformes P3 des lignes à grandes vitesses
	+0.05	Pour les plates-formes de portance P2 des lignes à grande vitesse
	+0.10	Pour les plates-formes de portance P1 des lignes à grande vitesse
g	**+géotextile**	Lorsque la couche de forme est en sol QS1 et QS2
	0	Lorsque la couche de forme est en sol QS3

- **Application du projet :**

Tableau VIII. 8: Application du projet

Paramètre	Caractéristiques de projet	Valeur (m)
E	Plate-forme P3	**0.45**
a	Ligne de groupe UIC5	**-0.10**
b	longueur du travers 2,24 m	**0.13**
c	Nouvelle ligne	**0**
d	Charge maximale d'essieu des véhicules remorqués 200kn	**0**
f	Vitesse voyageurs ≤ 160 km/h	**0**
g	Couche de forme qualité QS3	**0**
E		**0.48**
e_{adopte}		**0.50**

VIII.1.4 Structure d'assise retinue:

Après avoir réalisé l'étude géologique et géotechnique et pris en compte les caractéristiques de la voie ferroviaire telles que les traverses et les charges d'essieux, le profil type des couches d'assise dans le projet est dimensionné comme suit :

Pour la couche de ballast on a

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

Pour notre projet, et comme la vitesse est égale à **160km/h,** on prend une épaisseur pour la couche de ballast égale à **30cm.**

Tableau VIII. 9 : Epaisseurs des différentes couches de la voie.

Couches	Epaisseur (cm)
Ballast	**30**
Sous-ballast	**20**
Couche de forme type QS3	**50**

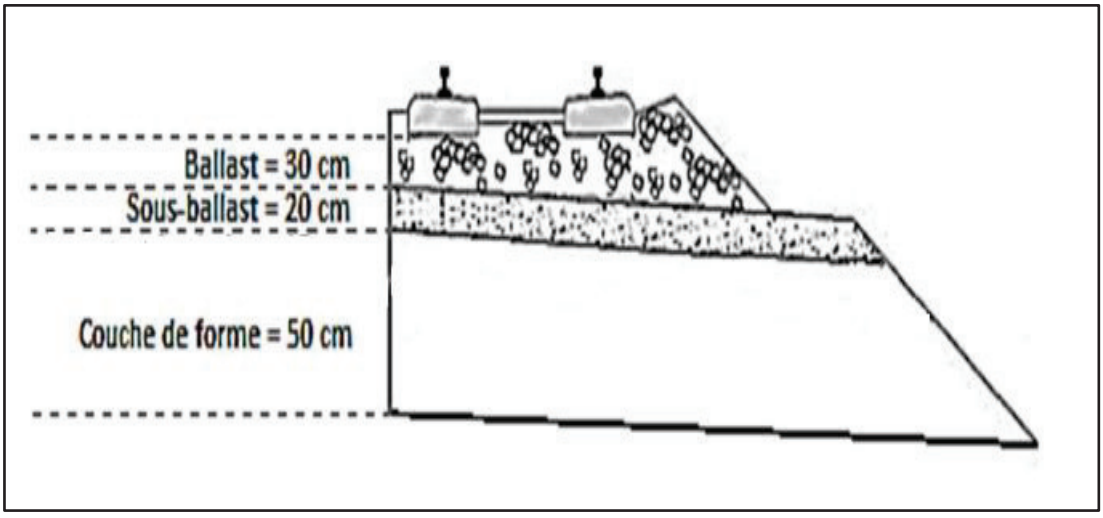


Figure VIII. 4 : profil type des couches d'assise.

VIII.2 Profil en travers :

Le profil en travers est une section transversale réalisée à partir d'un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la voie ferroviaire projetée. Il fournit des informations sur les composants de la superstructure et de l'infrastructure, les pentes des talus, les systèmes de drainage et éventuellement les dispositifs de protection de la voie.

On distingue deux types de profil :

- Profile en travers type.
- Profile en travers courant.

VIII.2.1 Les éléments du profile en travers :

- **La plate-forme :** est l'élément sur lequel la voie ferroviaire repose et joue un rôle crucial dans la stabilité de la voie. Elle a également pour fonction de drainer les eaux de surface afin de les évacuer vers l'extérieur.
- **Assiette :** C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.
- **L'emprise :** C'est la surface du terrain naturel affectée à la voie, limitée par le domaine public.
- **La voie :** C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.
- **La berme :** est une zone adjacente à la voie ferroviaire qui sert de support aux équipements tels que les barrières de sécurité et les signalisations.
- **Le fossé** : est un élément hydraulique conçu pour recueillir les eaux de ruissellement provenant de la voie, des talus et des précipitations.

VIII.2.2 Constituantes de profile en travers type :

Tableau VIII. 10 : les éléments de profile en travers type

Eléments de superstructure	– Type de rails utilise – Type de traverse utilisé – Valeur de l'écartement de la voie – Epaisseur de couche de ballast
Eléments d'infrastructure	– Epaisseurs, pentes et nom de chaque couche – Pente latérale de la plateforme.
Eléments du talus	– Pentes de chaque talus – Les éléments d'assainissement

VIII.2.3 Profil en travers de mon projet :

En résumé le profile en travers type caractérisé comme suit :

- Type de ligne : voie unique mixte
- Ecartement de la voie : 1435 mm
- Largeur de la plate-forme : 8m
- Pente latérale de la plate-forme : 4%
- Travers bi-bloc VAX U31 pour rail UIC 60E1
- Pente de talus de remblais et de déblais : 3H/2V
- Pente latérale de couche du ballast : 3H/2V
- Epaisseur du ballast: 30cm
- Epaisseur du sous-ballast : 20cm
- Epaisseur de couche de forme : 50cm
- Fossé trapézoïdal : (b= 0.6m ; h= 0.7m ; B= 2m)

NB Pour les profils type de notre projet sont joints en plan format A3

Pour les profils en travers courant dans les cas courbe droite et gauche vérifiez **l'annexe 04**

VIII.3 Conclusion :

Dans le cas des raccordements et des pleins courbes, les épaisseurs de toutes les couches, à l'exception du ballast, resteront fixes. C'est l'épaisseur du ballast qui sera augmentée afin de créer le dévers requis.

CHAPITRE IX. TERRASSEMENTS ET OUVRAGES

Terrassements et ouvrages

IX.1 Terrassements :

IX.1.1 Introduction :

Lorsqu'un projet routier ou ferroviaire est créé, il est souvent nécessaire d'adapter la topographie du terrain en réalisant des terrassements. Les terrassements consistent en la manipulation et la modification du sol, impliquant généralement des opérations de déblaiement et de remblaiement. L'objectif est de préparer le terrain de manière adéquate pour la construction de la voie, en ajustant les niveaux, en créant des pentes appropriées et en fournissant une assise stable pour les infrastructures.

IX.1.2 Section déblais :

Dans le cas du projet on remarque que pas des zones importantes des déblais.

Tableau IX. 7 : Les différentes déblais de noter projet

PK début	PK fin	Hmax (m)	Talus (H/V)
47+325	47+700	0.6	3H/2V
48+125	48+800	0.7	3H/2V
49+400	50+075	0.2	3H/2V
50+500	52+950	5.6	3H/2V

IX.1.3 Section remblais :

La plupart de tracé est situé sur des zones remblais dont la hauteur variée de 0.4m à 4.3 m

Tableau IX. 8 : Les différentes remblais de noter projet

PK début	PK fin	Hmax (m)	Talus (H/V)
44+675	47+325	4.3	3H/2V
47+700	48+100	2.7	3H/2V
48+800	49+400	3.5	3H/2V
50+075	50+500	0.4	3H/2V
52+950	57+000	3.1	3H/2V

Dans notre projet, l'axe de la voie traverse un carrier de tuf exactement de PK 51+825 au PK 51+ 925. C'est donc une bonne découverte pour le projet d'un point de vue économique afin que ce type de sol puisse être réutilise dans le processus de remblayage.

IX.1.4 Etude de stabilité :

Selon la norme UIC 719 R, il est nécessaire de vérifier la sécurité contre les glissements de terrain à court et à long terme en effectuant des calculs basés sur les caractéristiques mécaniques, hydrogéologiques et géotechniques des matériaux.

Dans notre projet, les hauteurs des déblais et des remblais sont inférieures à six mètres (6m), ce qui les classe comme des structures stables.

IX.1.5 Calcul des volumes des terrassements :

Les volumes des terrassements sont déterminés en utilisant les coordonnées et les côtes du terrain naturel, qui sont obtenues à partir du tracé en plan, du profil en long et du profil en travers du projet. Une fois la ligne rouge du projet établie, les calculs sont effectués pour déterminer les quantités de déblais et de remblais nécessaires.

Les volumes des terrassements ont été calculés à l'aide du logiciel "COVADIS 2016". Les tableaux ci-dessous présentent les résultats obtenus :

Tableau IX. 9: Tableau Récapitulatif des volumes de terrassement

Terrassements	Volume (m^3)
Remblais	207001.4
Déblais	107910.07

Tableau IX. 10: Tableau Récapitulatif des volumes des couches d'assise.

Couche	Volume (m^3)
Ballast	25804.9
Sous-ballast	20506.2
Couche de forme	58149.1

IX.2 Les ouvrages d'art :

Un ouvrage d'art est une structure qui permet à une voie de circulation de franchir un obstacle naturel ou une autre voie de circulation terrestre.

Pour concevoir un tracé optimal qui satisfait aux exigences techniques et économiques, tout en garantissant la perméabilité transversale de la ligne ferroviaire projetée et le franchissement des différentes infrastructures existantes ainsi que des cours d'eau, il est nécessaire de prévoir les ouvrages suivants :

- Ponts routiers.
- Ponts rail.
- Passage inférieure (pont cadre).
- Les ouvrages hydrauliques.

IX.2.1 Les croisements avec la route :

En général, lorsqu'il s'agit de problèmes de croisements, il est important de prendre en compte la nature et le débit de la voie, ainsi que d'analyser chaque type de croisement en fonction de la vitesse maximale. Plusieurs solutions peuvent être envisagées :

- Passage supérieur : pour un Vitesse des trains est important ≥ 100 km/h
- Passage à niveau : pour les routes de faibles débits.
- Passage inférieur : c'est lorsque la topographie l'exige.

IX.2.2 Les ouvrages de notre projet :

IX.2.2.1 Rétablissement routier :

L'une des exigences du projet consiste à éliminer les passages à niveau présents sur la voie existante. Il est donc nécessaire de rétablir les liaisons routières en créant des passages supérieurs ou inférieurs pour traverser la voie (pour notre tracé on a obligé de construire trois passage supérieures).

Tableau IX. 11 : Liste des ouvrages d'art pour mon projet

Rétablissement routier	Ouvrages d'art	Localisation
Rétablissement piste	Passage supérieure	47+640
Rétablissement piste	Passage supérieure	50+147
Rétablissement piste	Passage supérieure	56+358

IX.2.2.1.1 Piste à supprimer:

Dans le tableau suivant on liste les pistes à supprimer dans ce tronçon :

Tableau IX. 12:liste des pistes à supprimer

PK de piste
46+284
47+358
47+618
50+175
55+244

IX.2.2.2 Ouvrage hydraulique :

Pour permettre le passage de cours d'eau, il est envisagé la construction de trois types d'ouvrages en fonction de l'importance du cours d'eau à traverser : un pont hydraulique, une buse ou un dalot.

Dans le cas de noter projet il a été nécessaire de considérer un seul ouvrage hydraulique

(Dalot 2 cellules 2.00×2.00m) au PK 55+900.

IX.3 Conclusion :

Dans notre projet, il est conclu que les ouvrages d'art les plus utilisés sont des ouvrages de type simple passage supérieur, qui permettent de rétablir les communications routières au-dessus de la ligne ferroviaire. Ces ouvrages sont choisis en fonction des besoins spécifiques du projet et de la nature des obstacles à franchir.

CHAPITRE X. CONCEPTION DE LA GARE

Conception de la gare

X.1 Introduction :

La conception d'une gare ferroviaire est une étape cruciale dans le développement d'un réseau de transport efficace et durable. Une gare ferroviaire bien conçue ne se limite pas à être un simple point d'embarquement et de débarquement pour les passagers, mais elle joue également un rôle clé dans la promotion de la mobilité, de l'accessibilité et du développement économique d'une région.

X.2 Types des gares :

- **Gare voyageurs :** Les gares de voyageurs sont normalement situées dans les grandes villes et les zones à forte densité de population. Elles sont équipées de toutes les installations nécessaires pour accueillir les voyageurs.
- **Gare de marchandises Ferroviaire :** Elle est généralement située dans des zones industrielles ou logistiques stratégiques, à proximité des zones de production, des centres de distribution ou des ports.
- **Gare mixte.**
- **Gare de Croisement :** Dans les zones à faible densité de population, les gares peuvent être transformées en haltes, qui sont des points d'arrêt simplifiés destinés à faciliter le croisement ou le dépassement de deux trains.

X.3 ETUDE DU PLAN DE MASSE D'UNE GARE :

Lors de la conception d'une gare, il est essentiel de prendre en compte les fonctions de toutes les installations de base qui la composent. À cette étape, trois éléments sont nécessaires pour l'étude du plan de masse :

- **Catégories de la voie :** permettent de déterminer le rôle et les éléments constitutifs de la gare.
- **Le trafic :** est un élément crucial pour estimer et évaluer l'importance de la gare afin de la concevoir et l'aménager de manière appropriée.
- **L'emplacement de la gare :** généralement, c'est l'élément qui définit et détermine les deux éléments précédents.

X.4 Installation d'une gare voyageur :

Dans une gare ferroviaire, on peut trouver différentes installations et constructions qui varient en fonction du type, de la conception et de la catégorie de la gare.

- **Le bâtiment de voyageurs.**
- **Les bâtiments à usages divers « B.U.D » :** sont des structures qui abritent des locaux de service réservés exclusivement aux agents du chemin de fer.
- **Quais :** sont des bandes parallèles à la voie ferrée conçues pour permettre l'accès facile et sécurisé aux trains.
- **Abris de quais :** C'est une installation sur le quai qui a pour but de protéger les voyageurs des intempéries.
- **Les passages sous terrain et les passerelles :** sont des installations construites dans les gares ferroviaires dans le but de permettre aux voyageurs de traverser les voies et de changer de quai en toute sécurité.

X.5 Garage franc :

Le garage franc (GF) est une mesure qui indique la limite de l'espace réservé aux véhicules garés le long des voies ferrées. Il correspond à une distance théorique de 3,57 mètres entre l'axe central de la voie principale et la voie déviée (voie de stationnement).

Le garage franc réel sera installé à une distance de 1,0 mètre du garage franc théorique pour des raisons de sécurité. La formule pour calculer le garage franc réel est la suivante :

$$\boldsymbol{GF = (3.75 \times N) + 1}$$

- $\boldsymbol{N = \frac{1}{\tan \alpha}}$
- $\boldsymbol{\alpha}$ Varie selon le type de l'appareil de voie.

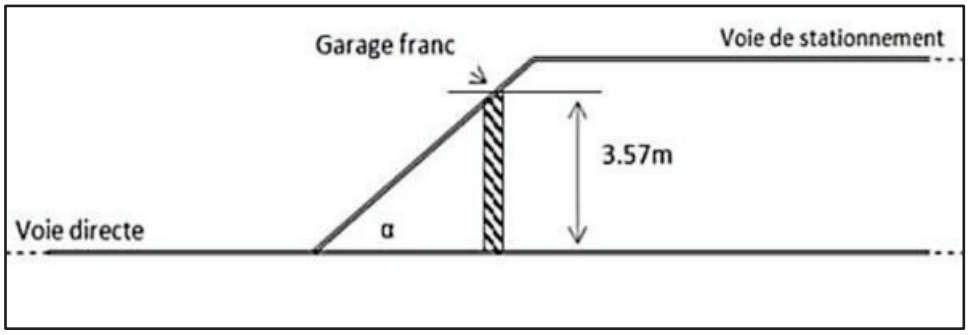


Figure X. 4 : Garage franc.

X.6 Heurtoire:

Les heurtoirs sont des dispositifs installés aux extrémités des voies en cul-de-sac pour marquer la fin de la voie de garage ou de sécurité. Leur rôle principal est d'empêcher les véhicules en mouvement de dépasser les limites de la voie.

X.7 Caractéristiques géométriques des gares :

X.7.1 Longueur utile d'une voie de stationnement :

La longueur utile, également appelée longueur de stationnement, désigne la distance nécessaire et suffisante pour permettre à un train de stationner sur une voie de dépassement sans entraver la circulation sur la voie principale ou sur les autres voies de dépassement adjacentes. C'est une mesure importante pour assurer le bon fonctionnement du réseau ferroviaire et faciliter les manœuvres des trains.

Selon (SNTF), la longueur utile minimale, Lu, est fixée à 1200 mètres pour la voie principale et à 800 mètres pour la voie de service.

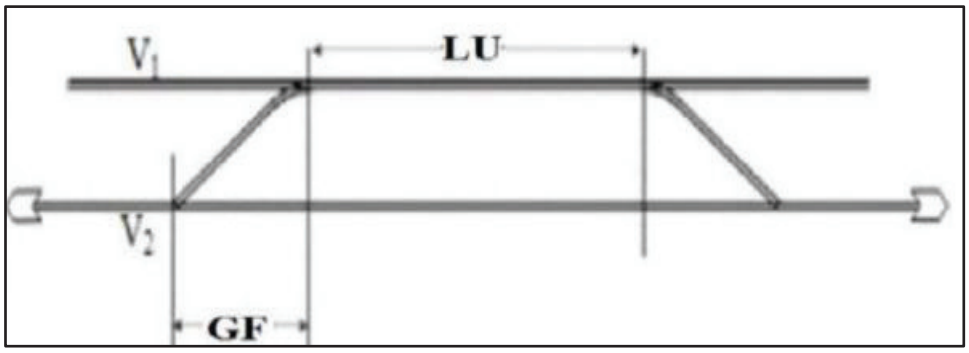


Figure X. 5 : longueur utile.

X.7.2 Déclivité dans les gares :

Dans notre projet, il est prévu de limiter la déclivité en gare à 0 ‰, c'est-à-dire qu'aucune pente n'est présente. Cette décision vise à éviter tout déplacement indésirable des trains à l'intérieur de la gare.

X.7.3 Les quais :

X.7.3.1 Caractéristiques géométriques des quais :

Selon les normes de la SNTF les caractéristiques géométriques sont dans le tableau suivant :

Tableau X. 3: Les caractéristiques géométriques du quai.

Quai	Référentielles SNTF
Longueur	Grande ligne 450 m
	Service régionale 350m
	Banlieue 225m
Largeur	Quai intermédiaire ≥ 8m
	Quai extérieure ≥ 6m
Hauteur	Quai bas h= 35 cm.
	Quai mi- haute h= 55 cm.
	Quai haute 76 ≤ h ≤ 100 cm.
Entraxe des quais	e normal > 11.3.
	e minimal > 9.3.

X.7.3.2 Distance de bords de quais par rapport l'axe de la voie :

La distance nominale à l'axe de la voie est fixée à :

$$\boldsymbol{L(mm) = 1650 + S}$$

La valeur de S est donnée par la formule :

$$\boldsymbol{S(mm) = (3750/R) + (\frac{(I - 1435)}{2})}$$

- R : le rayon de la voie (m).
- I : étant l'écartement de la voie en (mm).

X.8 Application au projet :

X.8.1 Localisation de la gare Hassi Fedoul :

La nouvelle gare Hassi Fedoul située au début de mon projet exactement de PK44+675 au PK 46+150 dans un linéaire de 1475 m. Le bâtiment voyageur étant situé au PK 45+750, dans le côté de la ville.

X.8.2 Géométrie de trace :

Noter gare se constituer de 3 voies, dans deux voies sont des voies principales (voie A et B) et une voie de service (voie C). En termes généraux, le tracé de la ligne principale se développe principalement en ligne droite avec un pente i= 0%, ainsi que les autres lignes qui sont parallèles à celle-ci.

Pour assurer la connexion entre les différentes lignes, il a été nécessaire d'installer 6 appareils de changement de voie (ADV).

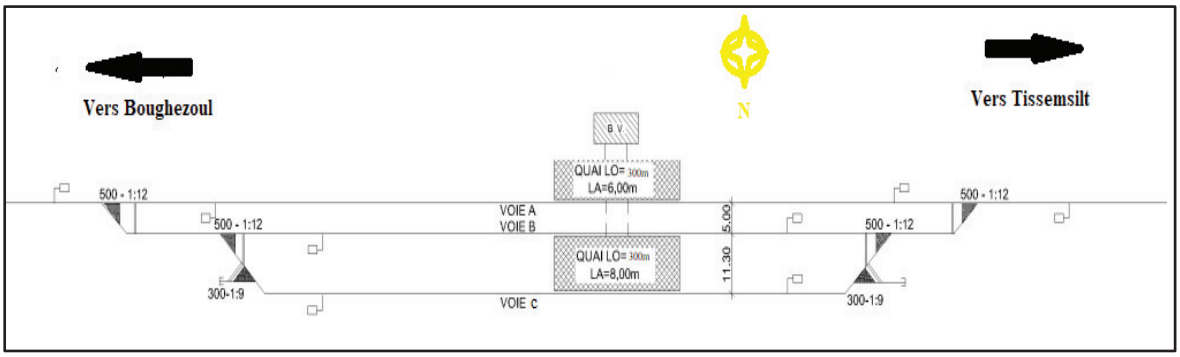


Figure X. 6: Gare voyageurs Hassi Fedoul

X.8.3 Caractéristiques géométriques de la gare :

Les caractéristiques géométriques recommandées pour notre gare sont comme suit :

❖ **Longueurs utiles d'une voie de stationnement :**

Longueurs utiles des voies de la gare dans le tableau ci-dessous :

Tableau X. 4: les longueurs utiles.

Voie	Longueurs utile (m)
A	1200
B	1316
C	1153

❖ **Les quais :**

Tableau X. 5: Les dimensions des Quais.

Quais	PK début	PK Fin	Longueur	Largeur	Hauteur	Entraxe
Quai-A-	44+974.49	45+274.49	300m	6m	0.55m	15.30m
Quai-B-	44+974.51	45+274.50	300m	8m		

❖ **Distance de bords de quais par rapport l'axe de la voie :**

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

❖ **Longueur de garage de franc :**

$$L_g = \left({}^{3.57}/_{\tan \propto}\right) + 1m$$

- Pour l'appareil de voie type 1/12 : GF= 44 m.
- Pour l'appareil de voie type 1/9 : GF= 33 m.

❖ **Passage souterrain :**

Dans les lignes à grande vitesse les passerelles normalement sont interdit et seront remplacés par des passages souterrain. Donc dans la gare ferroviaire Hassi Fedoul, nous avons créé un passage souterrain avec les propriétés suivantes :

- Longueur: 18.70m
- Largeur: 4.85m
- Hauteur totale: 4m

X.9 Profile en travers :

Les profils en travers types de la gare sont joints en plans format A0.

CHAPITRE XI. DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT DE LA GARE

Drainage et assainissement de la gare

XI.1 Introduction :

Puisque la pente dans les gares ferroviaire est considérée comme nulle, et pour faciliter le processus de drainage des eaux pluviales, l'ingénieur doit concevoir un système de drainage pour ces dernières. Qui est représenté :

- Des drains perforé type PVC.
- Des collecteurs en béton
- Des regards de nettoyage et de contrôle
- Des fosses en béton

XI.2 Considération générales et conception du système :

Le drainage longitudinal permet la captation et l'acheminement des eaux qui accèdent à la plateforme de la voie ferrée, venant soit des écoulements des talus soit des pentes adjacentes.

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

Dans la conception du système de drainage longitudinal. Et selon les mesures économiques et celles de la sécurité, on a opté pour une pluie de référence les considérations suivantes :

- Le système de drainage longitudinal a été dimensionne pour une période de retour de T= 10ans.
- Les tempes de concentration est considère égale à 15 minutes pour les drains et les collecteurs et de 30 minutes pour les fossés.
- La pente minimale pour les drains est de 0.3%.
- La pente minimale pour les collecteurs est de 0.5%
- La pente minimale pour les organes de drainage superficielle de plateforme – fossés est de 0.3%.

XI.3 Calcule des débites affluentes au système de drainage longitudinal :

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

$$\boldsymbol{Q = 0.278CIS}$$

OÙ :

- **Q** : Débit ($m^3.s^{-1}$).
- **C** : Coefficient d'écoulement. On a considéré les valeurs suivantes :
  - Pour surface des vois avec couche d'assise : C=0.7
  - Pour surface des quais (pavé) : C=0.9
- **I** : L'intensité de la pluie ($mm.h^{-1}$)
- **A :** La surface drainée par chaque structure (Km^2)

Pour déterminer les surfaces à drainer ont été analyses les profiles en travers et les caractéristiques du terrain naturel dans lequel le projet est implanté.

Tableau XI. 7 : Les caractéristiques des sous-bassins versants

SOUS-BASSAINS	S(Km^2)	Tc (h)	I ($mm.h^{-1}$)	Cr	Q_{10}($m^3.s^{-1}$)
01	6×10^{-4}	0.25	52.89	0.7	6.17×10^{-3}
02 - 22	7×10^{-4}	0.25	52.89	0.7	7.20×10^{-3}
03-21	8×10^{-4}	0.25	52.89	0.7	8.23×10^{-3}
04-05-06-07-08	8×10^{-4}	0.25	52.89	0.9	0.010
09	8.5×10^{-4}	0.25	52.89	0.9	0.011
10-11-12-13-14-15 16-17-18-19-20	9×10^{-4}	0.25	52.89	0.7	9×10^{-3}
Pf1	7×10^{-3}	0.5	31.45	0.7	0.042
Pf2	0.014	0.5	31.45	0.9	0.11
Pf3	0.012	0.5	31.45	0.7	0.073
Pf4	0.01	0.5	31.45	0.7	0.061
Pf5	0.019	0.5	31.45	0.7	0.116
Pf6	4×10^{-3}	0.5	31.45	0.7	0.024

XI.4 Dimensionnement des différents organes :

XI.4.1 Dimensionnement des drains :

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

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

$$\boldsymbol{Q_S = K_S \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}}$$

A la saturation :

$$Q_{max} = Q_S = K_S \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}$$

Avec : $\boldsymbol{S_m = \pi.\frac{D^2}{4}}$ $\boldsymbol{R_h = \frac{D}{4}}$

$$\boldsymbol{Q_{max} = K_s \times \pi.\frac{D^2}{4} \times \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} \times I^{1/2}}$$

D'où :

$$\boldsymbol{D = \left[\frac{Q_{max\,(10)}}{K_S \times \pi \times \sqrt{I} \times \left(\frac{1}{4}\right)^{5/3}}\right]^{3/8}}$$

Application numérique :

Pour le drain **N° 1** on a : **Qmax $_{(10\ ans)}$ = 0.0216 m³/s.**

On prend : **Ks= 90 ; I= 0.003**

Alors :

$$D = \left[\frac{0.0216}{90 \times \pi \times \sqrt{0.003} \times \left(\frac{1}{4}\right)^{5/3}}\right]^{3/8} = \boldsymbol{0.202\ m}$$

Alors on prend **:Ø 250**

Pour les autres déférents drains voire le tableau ci-dessous

Tableau XI. 8 : Dimensions des drains

Drain	Tronçon		Q draine (m^3/s)	Pente (m/m)	D calcule (m)	D approuve (mm)	Z fil d'eau à l'amont	Z fil d'eau à l'aval
	Amont	Aval						
01	1C	N1	0.0216	0.003	0.202	Ø250	795.550	795.100
02	6C	N2	0.03	0.003	0.228	Ø250	795.410	794.960
03	7C	N4	0.031	0.003	0.231	Ø250	795.560	795.095
04	11C	N5	0.018	0.003	0.189	Ø200	795.400	795.070
05	11C	N6	0.018	0.003	0.189	Ø200	795.400	794.96
06	14C	N6	0.018	0.003	0.189	Ø200	795.29	794.96
07	14C	N7	0.018	0.003	0.189	Ø200	795.400	795.40
08	17C	N7	0.018	0.003	0.189	Ø200	795.400	795.070
09	17C	N8	0.017	0.003	0.186	Ø200	795.400	795.085
10	19C	N8	7.20×10^{-3}	0.003	0.133	Ø200	795.244	795.085

Voilà un exemple de réalisation d'un drain en pvc perforée de diamètre 200 mm livre recouvert d'une couche de géotextiles et rempli d'une couche de ballast.



Figure XI. 2: Exemple de réalisation d'un drain en pvc perforée à mon lieu de stage

XI.4.2 Dimensionnement des Collecteurs :

Le même comme nous l'avons fait pour les drains, mais cette fois le débit a été calculée par le cumul de l'ensemble des débites qu'arrive par des outres différentes parties du système de drainage.

Application numérique :

On prend par exemple le collecteur A, avec un débit max de **Qmax (10 ans) = 0.051 m³/s**

Et on prend : **Ks = 70 ; I= 0.005.**

$$D = \left[\frac{O.051}{70 \times \pi \times \sqrt{0.005} \times \left(\frac{1}{4}\right)^{5/3}}\right]^{3/8} = \mathbf{0.278}\boldsymbol{m}.$$

Alors on prend : $\emptyset \mathbf{300}\boldsymbol{mm}$

Pour les autres déférents collecteurs voire le tableau ci-dessous

Tableau XI. 9: Dimensions des Collecteurs

Collecteur	Drain Qu'arrive	Q draine (m^3/s)	Pente (m/m)	D calcule (m)	D approuve (mm)
A	1-2	0.051	0.005	0.278	300
B	3-4	0.049	0.005	0.274	300
C	5-6	0.036	0.005	0.244	250
D	7-8	0.036	0.005	0.244	250
E	9-10	0.024	0.005	0.209	250

XI.4.2.1 Vérification des conditions de l'auto curage :

Comme nous l'avons fait en CHAPITRE VI (Etude hydrologique et hydraulique).

Les résultats sont dans le tableau ci-dessous :

Tableau XI. 10 : les paramètres de vérification d'auto curage

Collecteur	Diamètre (mm)	Sm (m^2)	Rh (m)	Qps (m^3/s)	Vps (m/s)	Rq	Rq/10	Rq/100
A	300	0.070	0.075	0.061	0.87	0.839	0.0836	0.0083
B	300	0.070	0.075	0.061	0.87	0.803	0.0803	0.0080
C	250	0.049	0.062	0.038	0.77	0.947	0.0947	0.0094
D	250	0.049	0.062	0.038	0.77	0.947	0.0947	0.0094
E	250	0.049	0.062	0.038	0.77	0.631	0.0631	0.0063

Tableau XI. 11: Condition d'auto curage

Collecteur	$V > 1$	$V > 0.6$	$V > 0.3$	Décision
A	1.119	0.62	0.334	**Vérifié**
B	1.109	0.612	0.321	**Vérifié**
C	1.14	0.631	0.341	**Vérifié**
D	1.14	0.631	0.341	**Vérifié**
E	1.1	0.605	0.310	**Vérifié**

XI.4.3 Dimensionnement des fossés :

Chaque fosse est calculée à la base de la cumule des débites des sous-bassins qui couvre la surface drainée et les collecteurs qui le jette.

Par exemple le calcule de **débit drainé a la fosse F3 = débit drainée au collecteur B + débit Pf3 + débit drainée au collecteur C.**

Les dimensions du fossé sont obtenues, en écrivant l'égalité du débit d'apport et le débit de saturation.

$$\mathbf{Q_{apport} = Q_s} \qquad \mathbf{Q_{apport} = Q_{max\ (10\ ans)}}$$

$$Q_a = K_s \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} = K_s \times (b + z.h).h \times \left[\frac{(b + z.h).h}{b + 2.h.\sqrt{1 + z^2}}\right]^{2/3} \times I^{1/2}$$

Avec **z= 1 ;** alors : $\boldsymbol{h_{i+1} = \left[\frac{Q_a}{K_s \times b \times \sqrt{I}}\right]^{3/5} \times \frac{\left[1+2\sqrt{2}\times\left(h_i/b\right)\right]^{2/5}}{1+\left(h_i/b\right)}}$

Application numérique :

Pour le fossé F2 on a **Qa = 0.203 m^3/s ; Ks =70 ; I= 0.003**

On prend : b= 0.40 m, et h_0=1.00m

$h_0 = 1 \Rightarrow h_1 = 0.195$

$h_1 = 0.195 \Rightarrow h_2 = 0.282$

$h_2 = 0.282 \Rightarrow h_3 = 0.270$

$h_3 = 0.270 \Rightarrow h_4 = 0.272$

$h_4 = 0.272 \Rightarrow h_5 = 0.272$ Alors en prend **: h=0.5**

Tableau XI. 12 : Dimensions des fossés

Fossé	PK		Q drainée (m^3/s)	Pente (m/m)	Largeur b (cm)	Hauteur h Calcule (cm)	h approuvée
	Début	Fin					
F1	44+675	44+950	0.042	0.003	40	11.30	50
F2	44+675	45+225	0.203	0.003	40	17.60	50
F3	45+225	45+725	0.158	0.003	40	23.80	50
F4	45+725	46+150	0.061	0.003	40	12.46	50
F5	45+257	45+975	0.152	0.003	40	23.30	50
F6	46+25	46+150	0.024	0.003	40	8.20	50

Comme nous pouvons le voir, les hauteurs calculées ont des valeurs différentes, alors et pour uniformiser le travail dans le long de la gare, nous prenons une valeur constante pour toutes les hauteurs de fossé

XI.5 Bassin de décontation :

Le terme « bassin de décantation » est généralement utilisé pour désigner une structure qui permet de collecter et de filtrer les eaux de ruissellement provenant des voies ferrées.

Notre gare dispose d'une grande superficie de drainage efficace pour assurer l'évacuation de tous les débites. Pour cela, nous avons mis en place un système d'assainissement qui permet une répartition des débites vers des fosses spécifiques. Ces fosses assurant ensuite le transfert des eaux à l'extérieure de la gare.

En ce qui concerne le reste des débites d'eau, vous avez aménager un système d'assainissement supplémentaire qui utilise des drains et des collecteurs. Ces dispositifs permettent de collecter les eaux provenant de ces drains et d e les acheminer vers un **bassin de décantation au PK 45 + 250**

NB : Plan d'assainissement et de voie de la gare Hassi El fedoul ci- joints en plan format **A0**

Pour les profiles en long des drains vérifiez **l'annexe 05**

XI.6 Conclusion :

La gare est considérée comme un élément important de tout projet ferroviaire, et elle est très vulnérable aux accidentes d'inondation nous avons donc dû réduire ce risque, dans notre projet en complétant le système de drainage, qui est :

- Assainissement profond réalise par des drains de diamètre entre 200 mm et 250mm.
- Evacuation par collecteurs de diamètre entre 250mm et 300 mm.
- Fossés en béton latéral, avec des regards de nettoyage et contrôle
- Un bassin de décantation.

Le tracé de système de drainage est fait à l'aide de COVADIS VRD 2016

CHAPITRE XII. SIGNALISATION FERROVIAIRE

Signalisation ferroviaire

XII.1 Introduction :

La signalisation ferroviaire regroupe tous les signaux conventionnels et les équipements techniques utilisés sur le réseau ferroviaire pour garantir la sécurité et réduire les risques.

XII.2 Objectifs de la signalisation :

Les installations de signalisation ferroviaire sont mises en place pour résoudre les cinq principaux problèmes suivants :

- L'espacement des circulations pour éviter les rattrapages
- La protection des circulations dans les établissements
- La circulation, dans les deux sens, sur même voie, le nez à nez
- Le franchissement des voies ferrées par des routes sur un même niveau

On prévient ces risques notamment par :

- La mise en place d'une signalisation.
- L'établissement d'un régime d'exploitation de la ligne (double voie ou voie unique).
- La mise en œuvre de procédures d'exploitation.

XII.3 Les signaux:

Les signaux sont utilisés pour communique aux conducteurs des ordres et des informations concernant la sécurité des circulations. Ils remplissent principalement les fonctions suivants:

- Signalisation de direction.
- Signalisation de limitation de Vitesse.
- Signalisation d' arret.

XII.4 Implantation longitudinal:

Les signaux d'annonce à distance ont pour rôle de prévenir le conducteur d'un train à une distance suffisante afin qu'il puisse s'arrête devant un signal d'arrêt ou respecter une limitation de Vitesse dans une zone définie. Cela permet au mécanicien d'avoir la tempe nécessaire pour appliquer les freins de manière appropriée dans des conditions normales.

Ces distances sont appelées, respectivement :

- Distance d'arrêt.
- Distance de ralentissement.

XII.5 Les types de signalisation ferroviaire :

En plus des signaux mentionnés précédemment, voici les principaux éléments pris en compte dans le système de signalisation :

XII.5.1 Signalisation classique :

XII.5.1.1 Cantonnement :

Le canton est une section de voie ferrée alimentée par une source d'énergie électrique, qui constitue le fondement du système d'espacement des trains et permet d'éviter les collisions. Son rôle principal est de garantir qu'un seul train occupe le canton à la fois, en maintenant une distance de sécurité entre les trains et en évitant les rattrapages.

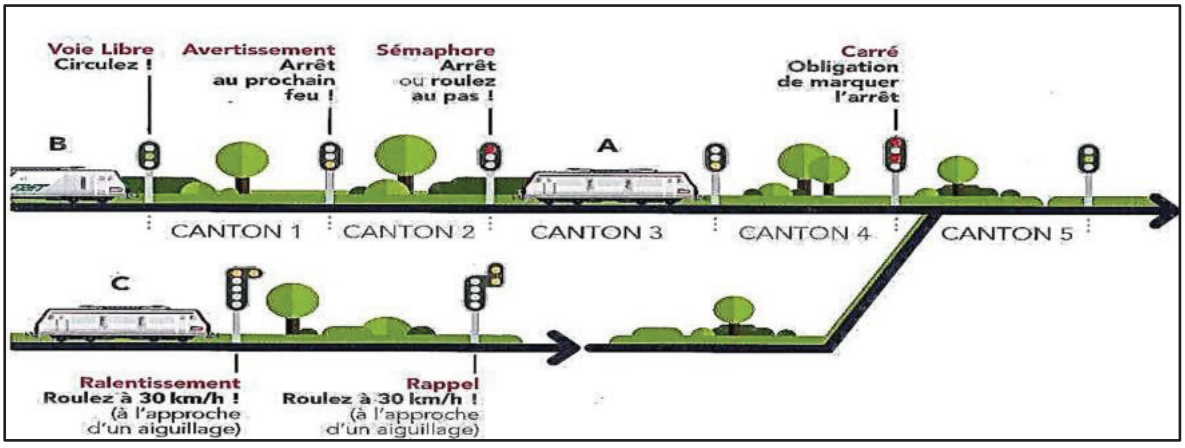


Figure XII. 3 : Schéma illustratif de canton.

XII.5.1.1.1 Type de cantonnement:

- **Cantonnement absolu :** désigne une règle stricte de cantonnement où il est interdit de pénétrer dans un canton occupé par un autre train.
- **Cantonnement permissif :** est une approche du cantonnement qui permet l'admission d'un train suivant dans un canton déjà occupé, mais sous certaines conditions spécifiques.

XII.5.1.2 Système d'Enclenchement :

Le module d'enclenchement a pour objectif principal de garantir le passage en sécurité des trains dans la zone d'action du poste. Il assure cela en commandant les appareils de voie afin de les positionner conformément aux itinéraires prévus, en gérant les enclenchements pour éviter les conflits de circulation, en contrôlant l'espacement entre les trains sur les parties de voie dotées de signalisation latérale.

XII.5.1.3 Poste de commande locale :

Il est prévu d'installer dans chaque gare équipée d'un enclenchement un poste de commande local. Ce poste sera situé dans la cabine de commande des bâtiments techniques et sera équipé d'un système de commande vidéographique. L'objectif de ce poste de commande local est de permettre aux opérateurs de gérer et de contrôler les différentes fonctionnalités liées à l'enclenchement de manière efficace et intuitive grâce à l'interface graphique fournie par l'écran.

XII.5.1.4 Compteurs d'essieux :

Ces compteurs d'essieux sont des dispositifs qui enregistrent le passage des essieux des véhicules ferroviaires et transmettent ces informations aux systèmes de signalisation et de contrôle.

XII.5.2 Signalisation moderne :

En effet, avec l'augmentation du trafic ferroviaire et de la demande de transport, il est devenu nécessaire d'adopter des systèmes plus avancés pour gérer et contrôler le réseau ferroviaire.

XII.5.2.1 Définition de système ERTMS :

European **R**ailways **T**raffic **M**anagement **S**ystem signifie en Français système européen de la gestion de la circulation ferroviaire.

Fonctionnement d'ERTMS :

Le système **ERTMS** fonctionne grâce à une communication entre des balises au sol et un équipement embarqué à bord des trains. Contrairement aux anciens systèmes, l'ERTMS permet une transmission continue de la position et de la vitesse du train via une antenne GSM. Cette fonctionnalité permet au centre de commande et au conducteur du train suivant de connaître en temps réel la position du train précédent, sans devoir attendre son entrée ou sa sortie d'une zone spécifique. Cela permet d'avoir une distance précise entre les trains et facilite l'ajustement des intervalles de sécurité. De plus, cette information en temps réel rend les feux de signalisation latéraux inutiles, puisque la position des trains est connue en continu. Ainsi, l'ERTMS contribue à une gestion plus précise et efficace du trafic ferroviaire, améliorant ainsi la sécurité et l'efficacité du réseau.

Grâce au système ERTMS, les informations relatives à l'accélération, au ralentissement ou à l'arrêt sont transmises en continu et en temps réel au conducteur de train. Cela lui permet d'ajuster sa conduite à tout moment en fonction des conditions de circulation.

ERTMS est divisé en trois niveaux, comme le montre la figure ci-dessous :

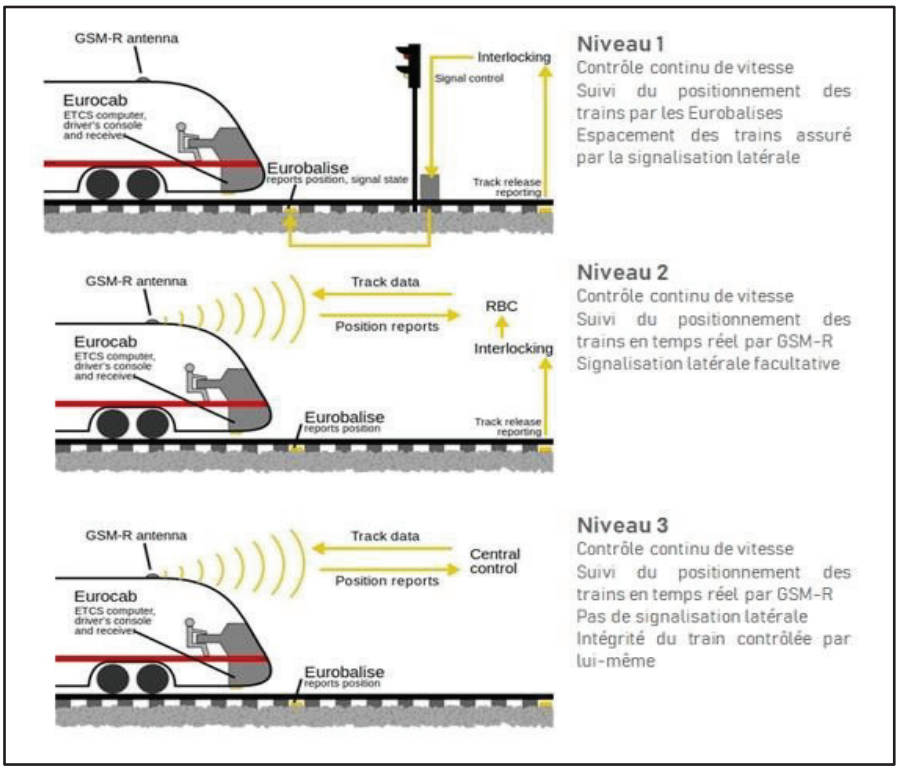


Figure XII. 4 : les trois niveaux ERTMS

XII.5.2.2 Application du système dans notre projet :

Dans la ligne ferroviaire Tissemsilt – Boughezoul Le type de système de signalisation choisi par le maitre d'ouvrage est ERTMS Niveau 2.

Le niveau 2 d'ERTMS est un système de contrôle de la marche des trains qui repose sur une communication bidirectionnelle par radio entre l'équipement embarqué à bord du train et celui installé le long de la voie.

Le niveau 2 d'ERTMS offre une surveillance continue de la vitesse des trains, ce qui permet de prévenir les dépassements non autorisés. De plus, la détection des trains et la surveillance de l'intégrité de leur composition sont assurées par l'équipement fixe installer le long de la voie, tel que les enclenchements et les compteurs d'essieux.

L’implémentation de l'ERTMS permettra à SNTF Réseau d'augmenter la capacité de circulation des passagers et des marchandises sur son réseau existant.

Avec l’ERTMS:

- La signalisation deviant numérique.
- Toutes les informations arrivent dans la cabine du conducteur.
- Des gains de capacité.

XII.6 Conclusion :

L’évolution des outils informatiques et des technologies de l'information a eu un impact significatif sur le domaine de la signalisation ferroviaire ces dernières années. Grâce à des systèmes de signalisation plus avancés et sophistiqués, il est possible de réduire les risques d'accidents et d'améliorer la sécurité de la circulation ferroviaire.

CHAPITRE XIII. ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Etude d'impact sur l'environnement

XIII.1 Introduction :

L'étude de l'impact environnemental des infrastructures constitue la première et principale étape de l'évaluation environnementale. Elle vise à évaluer les conséquences, à la fois directes et indirectes, que la création d'infrastructures de base peut avoir sur l'environnement à court, moyen et long terme. Son objectif est d'identifier les mesures nécessaires pour prévenir, réduire ou compenser les impacts négatifs, tout en améliorant les effets positifs du projet sur l'environnement.

XIII.2 Objectif de l'étude d'impact sur l'environnement :

Les objectifs de la présente étude d'impact sur l'environnement sont les suivants :

- Assurer l'intégration des contraintes et opportunités inhérentes au milieu dans la démarche de conception de la nouvelle voie ferrée.
- Identifier et évaluer l'importance des impacts appréhendés du projet sur le milieu physique, biologique et humain, ainsi que sur le climat sonore et le paysage.
- Proposer des mesures visant à atténuer les impacts identifiés afin d'optimiser l'intégration du projet dans le milieu récepteur.

XIII.3 Description du milieu

XIII.3.1 Milieu physique :

Il est essentiel de fournir une description des caractéristiques physiques de la région afin de mieux comprendre son contexte géologique, géomorphologique, climatique et sismologique.

XIII.3.1.1 Situation :

La zone d'étude fait partie de la daïra de Sidi Ladjel dans la commune de Hassi Fedoul, elle est située à 170 km au nord-ouest de Djelfa chef-lieu de wilaya et 250 km d'Alger.

XIII.3.1.2 Climat :

Le climat de la région est de type méditerranéen, avec un été chaud et hiver froid. Les températures annuelles varient de 5.3 °C et 27.1, le cumul annuel des précipitations s'élevé à 275 millimètres, révélant une faible pluviosité. En juillet, le niveau de précipitation est de 11 mm, tandis qu'en septembre, mois le plus humide, il atteint 35 mm.

XIII.3.1.3 Relief :

Située dans la partie septentrionale de la région des hauts-plateaux, la wilaya de Djelfa présente une altitude moyenne de 690 mètres. Quant au relief du site étudie, il est généralement plat.

XIII.3.1.4 Géologie et lithologie :

Selon la carte géologique, Le tracé s'étend essentiellement sur des roches cohérentes du Néogène ainsi que sur des roches meubles quaternaires. En ce qui concerne les roches néogènes, il s'agit de grès, de roches carbonatées et de roches sédimentaires à granulations fines telles que les limons et les argiles.

XIII.3.1.5 Sismologie :

Selon la carte sismique de l'Algérie, La zone d'étude appartient à une zone sismique **« I »** caractérisé par une sismicité faible.

XIII.3.2 Milieu biologique :

XIII.3.2.1 La faune :

La faune est variée. Elle est typique des zones sahariennes et des hauts plateaux : oiseaux, lézard, vipères, renard, grand corbeau.

XIII.3.2.2 Végétation :

Les arbres couvrent 150 hectares. Ces zones forestières sont situées dans le sud-ouest et le nord-est de la wilaya. Elle est dominée par les types de : pin d'Alep et genévrier, auxquels s'ajoutent les types de plantes épiphytes, telles que les alliées, qui couvraient autrefois une superficie estimée à : 658000 hectares, l'absinthe et le diadème.

XIII.3.3 Milieu humain :

XIII.3.3.1 Démographie :

Selon, les résultats du recensement général de la population et l'habitat de 2008 l'ensemble des communes de la wilaya de Djelfa a enregistré une population totale de 490 248 habitants.

XIII.4 Analyse des impacts :

XIII.4.1 Identification des impacts :

L'identification des impacts du projet repose sur une analyse des relations potentiellement conflictuelles entre l'environnement traversé et l'infrastructure à implanter. Cette analyse vise à établir des liens entre les sources d'impact liées aux phases de pré-construction, de construction et d'exploitation de la voie ferrée, ainsi que les différentes composantes de l'environnement susceptibles d'être affectées.

XIII.4.2 Activités génératrices des impacts envisages :

Afin de bien identifier les impacts environnementaux découlant de l'aménagement de la voie ferrée, il est nécessaire de déterminer les activités qui pourraient modifier l'environnement.

Tableau XIII. 2 : Les activités génératrices des impacts envisagés.

Elément affecté	Impact
Géologie et Géomorphologie	- Les altérations géologiques et géomorphologiques locales sont principalement causées par les activités de terrassement, l'exploitation de carrières et d'emprunts, la création de décharges et l'occupation de l'espace par l'infrastructure elle-même.
Végétation	- Les principales altérations de la végétation sont causées par les interventions pendant la phase de construction, notamment le débroussaillage effectué sur les zones que le tracé occupera.
Hydrologie	- Les cours d'eau situés dans la zone d'influence des travaux peuvent être impactés de différentes manières, tant pendant la phase de construction que pendant l'exploitation de l'infrastructure. Cela constitue le principal défi dans la zone d'étude qui se caractérise par la présence d'un réseau hydrographique important.

Faune	- La construction et la mise en service de la voie ferrée auront des impacts différents sur la faune, qui peuvent être classés en quatre types principaux : la destruction ou la dégradation des habitats propres à la faune, l'effet barrière qui limite les déplacements des animaux, le risque de collision avec les trains
Qualité de l'air	- Pendant la phase de construction, les niveaux de particules dans l'air, de gaz d'hydrocarbures, de fumées et les émissions odorantes augmenteront en raison des activités telles que le débroussaillage, l'excavation, le remblayage et la circulation des engins de chantier.
Bruit et des Vibrations	- En ce qui concerne le niveau sonore, pendant la phase de construction, les niveaux acoustiques augmenteront en raison des activités telles que le débroussaillage, l'excavation, le remblayage et le mouvement des engins de chantier, notamment dans les zones proches des travaux.

XIII.4.3 Impacts positifs :

La réalisation de ce projet ferroviaire entraînera des retombées positives pour la wilaya de Djelfa, notamment en termes de sécurité, d'économie et de tourisme. Les avantages potentiels de cette voie comprennent :

- Augmenter la part de desserte ferroviaire dans la région
- Une réponse aux besoins de confort, et de la sécurité dans le déplacement.
- Contribuer au développement socioéconomique de la région
- Optimiser l'utilisation du transport ferroviaire et contribuer à réduire le trafic routier.
- La réalisation de ce projet ferroviaire entraînera la création d'emplois à court terme pendant la période de construction, ainsi que d'emplois durables une fois les travaux terminés.

XIII.5 Les mesures prises pour minimiser les impacts :

Tableau XIII. 3 : Les mesures prises pour minimiser les impacts.

Impact		Les mesures prises
Qualité de l' aire	- D'épandage et le malaxage des liants hydrauliques.	- Pas d'épandage par vent supérieure à 40 km/h. - Pas de circulation sur des surfaces venent d'être traitées - Etanchéité des épandeurs, afin d'éviter toute fuite lors du transport des produits.
	- L'émission de poussières et de particules de taille variables lors des terrassements	- Arrosage des pistes, notamment par vent fort et temps sec pour limiter les envols de poussières. - Eviter les opérations de chargement et de déchargement de matériaux par vent fort. - Vitesse de circulation des engins limitée à 30 km/h dans les zones sensibles à la poussière.
La flore	- La circulation des engins sur le chantier de construction - La suppression des arbres et de la végétation	- Les arbres doivent être transplantés plutôt que supprimés. - L'arrosage des voies de circulation sur le chantier par temps sec permettra de limiter la propagation de la poussière.
La faune	- Il existe un risque potentiel de perturbation causée par le bruit et les vibrations. - Implantation d'une infrastructure étrangère dans une zone de colonisation faunistique	- Création des passages supérieur comme des passages pour animaux. - L'impact des vibrations sera atténué progressivement avec le temps - La mise en place de barrières le long des passages forestiers ou des zones de colonisation faunistique pour préserver la faune.

Sur les aux	**Les eaux superficielles:** - La redirection des flux d'écoulement pendant la construction de l'ouvrage. - La pollution des eaux.	- La mise en place d'un système de drainage et de collecte des eaux de ruissellement provenant des terrassements, avec leur traitement dans des bassins de décantation. - Le stockage du carburant, la mise en place de mesures de confinement et la maintenance du matériel seront effectués sur des aires spécialement aménagées à cet effet
	Les eaux souterraines: - Risques de pollution par rejets directs d'eaux de lavage, d'eaux usées. - Risque de pollution par une mauvaise gestion des déchets.	- La mise en végétation immédiate des talus, des fossés et berges de cours d'eau, en saison favorable. - Le traitement des eaux de chantier dans des bassins de décantation/ filtration provisoires avant rejet dans les cours d'eau sensibles.
Sur les habitants	- Fermeture partielle où Totale des certains itinéraires. - Traverse des terrains Agricole.	- Il sera assuré un maintien de l'accès aux résidences et aux secteurs utilisés pour diverses activités socio-économiques. - Crée des passages supérieurs pour permettre aux agriculteurs de déplacé des deux côtes de rail. - Réaliser les travaux en dehors de la période nocturne pour limiter la perturbation des résidents avoisinants les aires de travaux. - Des mesures seront prises pour restaurer les lieux affectés une fois les travaux terminés.

Remarque : le bassin de décontation établi à la gare Hassi Fedoul est bénéfique pour la zone agricole et animale environnante, car il fournit une source d'eau essentielle à la population locale. Il contribue ainsi à l'irrigation des terres agricoles et à l'approvisionnement en eau du bétail, ce qui a un impact positif sur l'activité agricole et la santé du cheptel.

XIII.6 Conclusion :

L'objectif principal est d'intégrer l'équipement dans le paysage traversé avec un minimum de nuisances économiques, environnementales et écologiques. Afin d'atteindre cet objectif, il est recommandé de mettre en place un programme de surveillance qui supervisera la phase de construction et d'exploitation de la voie ferrée et des infrastructures associées. Ce programme permettra de suivre et de surveiller les mesures de préservation et de récupération mises en place pour minimiser les impacts négatifs sur l'environnement.

CHAPITRE XIV. DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Devis quantitatif et estimatif

Lot N^{O}	Désignation	Unité	Prix unitaire De base en H.T	Quantité	Montant DA H.T
1	Forfait				
1.1	Etudes d'exécution	F	-	1	4 500 000
1.2	Installation générale du chantier	F	-	1	150 000 000
PRIX TOTAL		154 500 000.00 DA			
2	TERRASSEMENT				
2.1	Décapage	m³	219	66 556	14 575 545
2.2	Déblai mise en Remblais	m³	800	38189.9	30 551 920
	Déblai mise en depot	m³	400	69720.17	27 888 068
2.3	Remblais d'apport	m³	690	168811.5	116 479 935
PRIX TOTAL		189 495 468.00 DA			
3	COUCHES D'ASSISE				
3.1	Fourniture et mise en œuvre de la Couche de ballast	m³	3 080	25804,9	79 479 092
3.2	Fourniture et mise en œuvre de la Couche de sous- ballast	m³	2 231	20506,2	45 749 332
3.3	Fourniture et mise en œuvre de la Couche de forme	m³	600	58149,1	34 889 460
PRIX TOTAL		160 117 884.00 DA			
4	TRAVAUX DE LA VOIE SUR LE PARCOUR				
4.1	Fourniture des rails NEUFS UIC 60	T	173 880,00	1484,18	258 069 218,40
4.2	Fourniture des traverses bi-bloc En béton armé (VAX U31)	U	9 256	20543	190 146 008
4.3	Fourniture des attachés pour rails UIC60	U	2 257	20543	46 365 551
4.4	Pose de la voie	ml	1 988	12325	24 502 100
4.5	Soudures aluminothermiques et électriques	U	19 715	1370	27 009 550
PRIX TOTAL		546 083 427.40 DA			

5	TRAVAUX DE LA VOIE DANS LA GARE				
5.1	Fourniture des rails NEUFS UIC 60	T	176 260	283	49 881 580
5.2	Fourniture des traverses bi-bloc en Béton armé (VAX U31)	U	9 256	3923	36 311 288
5.3	Fourniture des attachés pour rails UIC60	U	2 257	3923	8 854 211
5.4	Pose de la voie	ml	1 988	2353	4 677 764
5.5.1	Fourniture des appareils de voie				
	UIC60-500-1/12	U	9 474 040	4	37 896 160
	UIC60-190-1/9	U	6 841 980	2	13 683 960
5.5.2	Pose des appareils de voie				
	UIC60-500-1/12	U	112 933	4	451 732
	UIC60-190-1/9	U	106 216	2	212 432
5.6	Bâtiment de voyageurs	F	25 000 000	1	25 000
5.7	Les quais avec tous ces installations	F	19 417 281	2	38 834 562
5.8	Passage souterrain (Étude, fourniture et mise en œuvre)	F	10 609 063	1	10 609 063
PRIX TOTAL		218 830 152.00 DA			
6	DRAINAGE ET ASSAINISSEMENTS				
6.1	Drainage sur parcour				
6.1.1	F/P Dalot en béton armé 2× (2.00×2.00)	F	8 334 700	1	8 334 700
6.1.2	Fossés trapézoïdaux en béton armé b= 0.6 ;h=0.7	ml	6 200	10905	67 611 000
6.2	Drainage sur gare				
6.2.1	F/P Regards de contrôle	U	150 000	7	1 050 000
6.2.2	F/P Regards de Nettoyage	U	100 000	7	700 000
6.2.3	F/P Drain en PVC Ø 200 mm	ml	4000	690	2 760 000
6.2.4	F/P Drain en PVC Ø 250 mm	ml	5000	448	2 240 000
6.2.5	Collecteur en béton armé Ø250 mm	ml	21 940	42	921 480
6.2.6	Collecteur en béton armé Ø300 mm	ml	26 328	45	1 184 760

6.2.7	Fossés trapézoïdaux en béton armé b= 0.5 ;h=0.5	ml	6075	2950	17 921 250
6.2.8	Bassin de décantation	F	5 000 000	1	5 000 000
PRIX TOTAL		185 495 490.00 DA			
7	Signalisation				
7.1	Installation de l'ERTMS				
7.1.1	Etude	F	1 121 760	1	1 121 760
	Fourniture	F	32 049 249	1	32 049 249
	Travaux (Montage, raccordement, intégration sur site et essais)	F	35 307 068	1	35 307 068
	Genie civil (pose ou construction)	F	27 989 949	1	27 989 949
PRIX TOTAL		96 468 026.00 DA			
MONTANT TOTAL DU PROJET (en H. T)		1 411 890 447.40 DA			
MONTANT TOTAL FINAL (en TTC)		1 680 149 632.406DA			

ONTANT TOTAL EN TTC (EN LERTTRES) :

UN milliard six cent quatre-vingts millions cent quarante-neuf mille six cent trente-deux virgule quatre cent six DINNARE ALGERIENNE.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce projet de fin d'étude a été une occasion unique pour moi d'appliquer les connaissances que j'ai acquises tout au long de mon parcours universitaire afin de résoudre des problèmes concrets dans le domaine professionnel des infrastructures. J'ai réalisé une étude approfondie d'un tronçon d'une nouvelle ligne ferroviaire. Cette étude a été réalisée en conformité avec les normes et les spécifications techniques de l'UIC, ainsi qu'avec les exigences de la SNTF en matière de confort, de sécurité, d'économie et d'environnement pour les utilisateurs.

Dans le cadre de ce projet, j'ai eu l'occasion de mieux maîtriser les outils informatiques de calcul et de conception tels que COVADIS, AUTOCAD, GLOBAL MAPPER. Grâce à l'exploitation de ces derniers, j'ai pu concevoir un meilleur tracé, bénéficiant d'un traitement rapide et de résultats précis. J'ai également eu l'opportunité de profiter de l'expérience des personnes du domaine que j'ai rencontrées lors de mon stage chez l'entreprise de réalisation infra fer- Eulma. Leurs remarques précises sur le domaine m'ont apporté un énorme soutien. De plus, mon encadreur m'a permis d'apprendre une méthodologie rationnelle à suivre pour élaborer un projet complexe dans le domaine des travaux publics.

Bibliographie

[1] les normes UIC (741). Quais des gares à voyageurs-Règles pour l'implantation des bordures des quais par rapport à la voie.

[2] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 2005.

[3] SETIRAIL, « Rapport de l'étude géologique ».

[4] SETIRAIL, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».

[5] Mémoires de voie ferrée école nationale des travaux publics.

[6] Cour voie ferrée de monsieur MORSLI.

[7] Cour assainissement routier de monsieur RAHMANI.

ANNEXE

ANNEXE 01: Listing de la géométrie.

Listing Axe en Plan

Axe: Axe Projet TISSEMSSILT-BOUGHEZOUL (PK 44+675 AU PK 57+000)

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	115.26gr	1902.004	44+675.000	428725.212	3922325.834
Clothoïde 1	Paramètre	402.492	90.000	46+577.004	430572.866	3921874.401
Arc 1	Rayon	1800.000 m	640.102	46+667.004	430660.467	3921853.770
	Centre X	431043.847 m				
	Centre Y	3923612.468 m				
Clothoïde 2	Paramètre	-402.492	90.000	47+307.106	431296.770	3921830.326
Droite 2	Gisement	89.43gr	1121.503	47+397.106	431385.651	3921844.455
Clothoïde 3	Paramètre	-458.258	30.000	48+518.609	432491.742	3922029.748
Arc 2	Rayon	-7000.000 m	991.881	48+548.609	432521.333	3922034.683
	Centre X	433663.064 m				
	Centre Y	3915128.422 m				
Clothoïde 4	Paramètre	458.258	30.000	49+540.490	433508.103	3922126.706
Droite 3	Gisement	98.73gr	4463.475	49+570.491	433538.097	3922127.327
Clothoïde 5	Paramètre	400.000	20.000	54+033.966	438000.679	3922216.574
Arc 3	Rayon	8000.000 m	273.152	54+053.965	438020.675	3922216.982
	Centre X	437850.718 m				
	Centre Y	3930215.177 m				
Clothoïde 6	Paramètre	-400.000	20.000	54+327.117	438293.613	3922227.446
Droite 4	Gisement	96.39gr	2652.818	54+347.117	438313.582	3922228.570
				56+999.935	440962.145	3922378.746
Longueur totale de l'axe 12324.935 mètre(s)						

Listing Profil en Long

Axe: Axe Projet TISSEMSSILT-BOUGHEZOUL (PK 44+675 AU PK 57+000)

Elts Caractéristiques				Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente	0.00 %	1733.401	44+675.000	796.899
Cercle 1	Rayon	-20000.000 m	133.207	46+408.401	796.899
	Sommet Absc.	46+408.401 m			
	Sommet Alt.	796.899 m			
Pente 2	Pente	-0.67 %	384.617	46+541.608	796.455
Cercle 2	Rayon	15000.000 m	147.478	46+926.225	793.894
	Sommet Absc.	47+026.131 m			
	Sommet Alt.	793.561 m			
Pente 3	Pente	0.32 %	795.599	47+073.703	793.636
Cercle 3	Rayon	-50000.000 m	122.182	47+869.302	796.160
	Sommet Absc.	48+027.875 m			
	Sommet Alt.	796.411 m			
Pente 4	Pente	0.07 %	2185.848	47+991.484	796.398
Cercle 4	Rayon	-12000.000 m	127.215	50+177.332	797.989
	Sommet Absc.	50+186.066 m			
	Sommet Alt.	797.992 m			
Pente 5	Pente	-0.99 %	1101.391	50+304.546	797.407
Cercle 5	Rayon	-20000.000 m	119.941	51+405.937	786.532
	Sommet Absc.	51+208.469 m			
	Sommet Alt.	787.507 m			
Pente 6	Pente	-1.59 %	863.701	51+525.878	784.988
Cercle 6	Rayon	12000.000 m	156.241	52+389.579	771.279
	Sommet Absc.	52+580.024 m			
	Sommet Alt.	769.768 m			
Pente 7	Pente	-0.29 %	4056.722	52+545.820	769.816
Cercle 7	Rayon	-20000.000 m	102.988	56+602.542	758.253
	Sommet Absc.	56+545.535 m			
	Sommet Alt.	758.335 m			
Pente 8	Pente	-0.80 %	294.405	56+705.530	757.695
				56+999.935	755.339
Longueur totale de l'axe 12324.935 mètre(s)					
Longueur développée totale de l'axe 12325.160 mètre(s)					

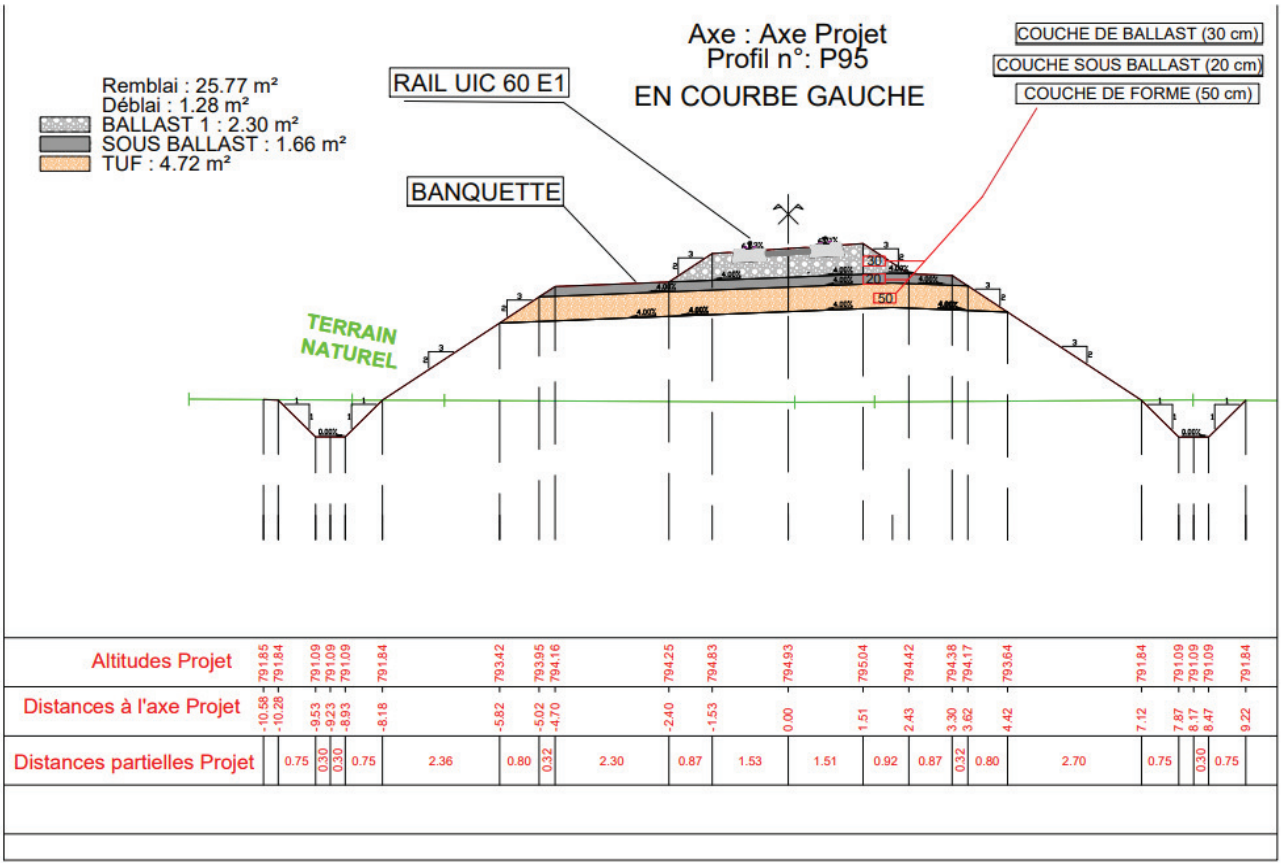
Annexe 02: Tableau de vérification des conditions d'auto-curage:

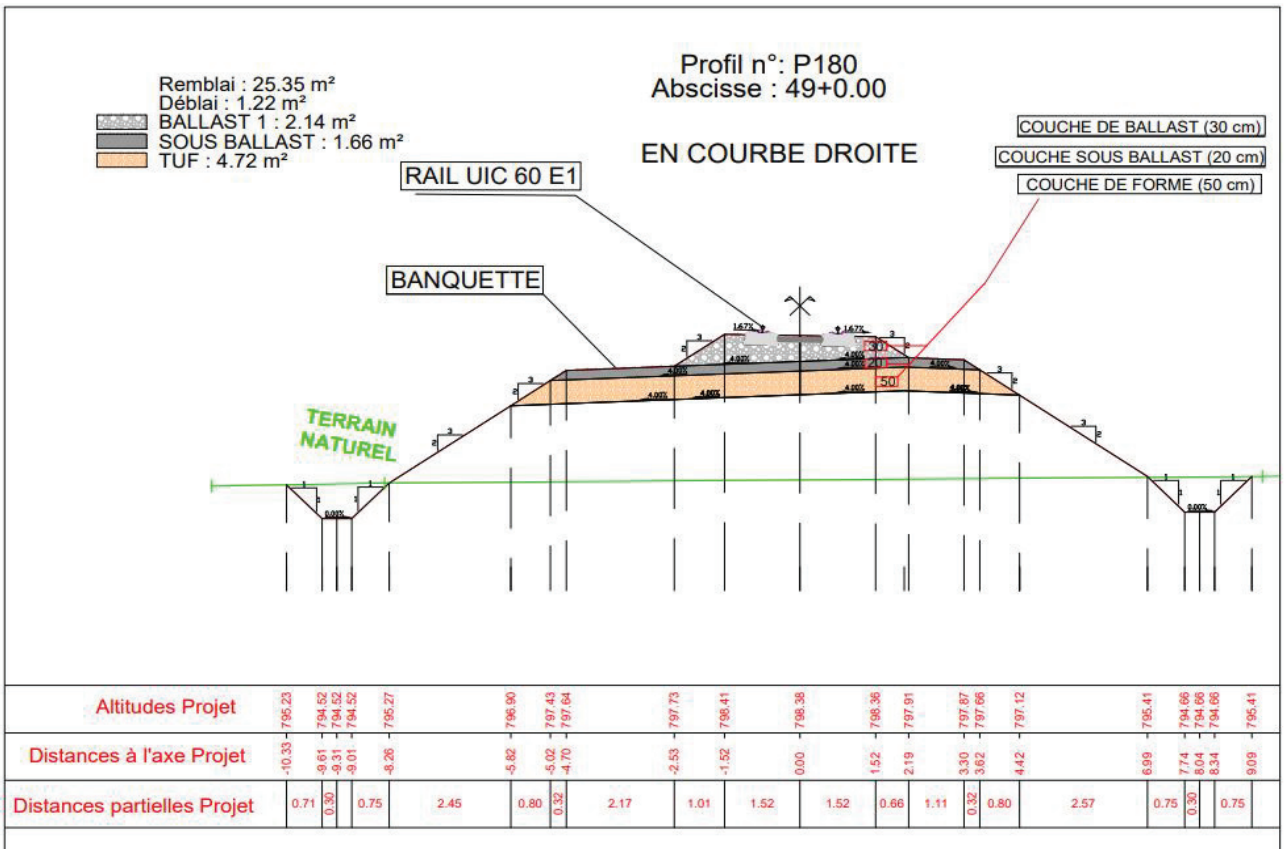
Q / Q p s	V / V p s	h /D	Q / Q p s	V / V p s	h /D
0, 0 0 1	0,1 4	0,0 2	0, 5 3 4	1, 0 2	0, 5 2
0, 0 0 3	0,2 2	0,0 4	0, 5 6 8	1, 0 3	0, 5 4
0, 0 0 7	0, 2 9	0,0 6	0, 6 0 3	1, 0 5	0, 5 6
0, 0 1 3	0, 3 5	0,0 8	0, 6 3 7	1, 0 6	0, 5 8
0, 0 2 1	0, 4 0	0,1 0	0, 6 7 2	1, 0 7	0, 6 0
0, 0 3 1	0, 4 5	0,1 2	0, 7 0 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 03: Classifications des sols salon UIC:

Classe de qualités des sols	Classification des sols (identification géotechnique)
QS0 : Sols impropres	0.1 sols organiques. 0.2 sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonné, humides et donc non compactables. 0.3 sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse) 0.5 sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels par exemple). 0.6 sols mixtes « minéraux organique ».
QS1 : Sols médiocres	1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (sauf sols0.2). 1.2 Roches très évolutives par exemple : - Craies de ρd <1.7t/m^3 et de friabilité forte – Marnes - Schistes altérés. 1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (sauf sols 0.2). 1.4 Roches évolutives par exemple : - Craies de ρd < 1.7 <t/m3 et de friabilité faible - Schistes non altérés. 1.5 Roches tendres par exemple : Si Microdeval en présence d'eau (MDE)>40 et Los Angeles LA>40.
QS2 : Sols moyens	2.1 Sol comportant de 5 à 15% de fines. 2.2 Sols comportant moins de 5% de fines mais uniformes (Cu≤6). 2.3 Roches moyennement dures par exemple : Si 25<MDE≤40 et 30<LA<40.
QS3 : Bons sols	3.1 Sols comportant moins de 5% de fines 3.2 Roches dures par exemples : Si MDE≤25 et LA≤30

Annexe 04 : Profils en travers courants :





Annexe 05 : Profils en long des drains :

