République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة
فرنسـيس جانســون
École Nationale Supérieure des Travaux Publics
Francis Jeanson



Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire a la voie unique avec une vitesse 220Km/h entre Méchria et El-Bayadh sur un tronçon du PK 40+00 au PK 60+00 avec conception de la gare mixte de Tousmouline

Présenté par :
BAZIZ IZZEDDINE
ARZAG RADOUANE

Encadré par :
Mme: SERIDJI Widad
Co-encadré par :
Mr : HAMADI Kamel

Promotion 2019/2020

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba


بسم الله الرحمن الرحيم

REMERCIMENT

En premier lieu nous remercions Allah tout puissant qui nous a donné le courage, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

On adresse nos vifs remerciements à notre encadreur Mme. W.Serridji, pour l'aide qu'il nous a apporté et pour nous avoir encadrés et accompagnés tout au long de ce travail.

Aussi nous tenons à remercier l'organisme SETI Rail Annexe ROUIBA, et tous les ingénieurs qui nous ont accompagnés tous au long du stage Mr. DEGDAG MOSTAFA, M.LAIEB, M.HADDAD pour l'aide qu'ils nous ont apportés et les Conditions agréables qu'ils ont mis à notre disposition.

Nous voudrons aussi remercier une personne qui a consacré une partie de son temps pour nous aider, Mr.T.HADDADOU

Nos remerciements s'adressent également à toute la famille de L'ENSTP.

Nos remerciements vont également aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre modeste travail.

En fin nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à la bonne réalisation de ce travail.

DÉDICACE

JE DÉDIÉ CE MODESTE TRAVAIL À :

LA LUMIÈRE DE MA VIE, À MES PARENTS, J'ESPÈRE QU'ILS TROUVERONT ICI LE FRUIT DE LEURS SACRIFICES POUR MOI

MES FRÈRES
MES SŒURS
MA TANTE
MES ONCLES

TOUTES MES COUSINES SPÉCIALEMENT : YOUSEF

TOUS LES MEMBRES DE MA FAMILLE

MON CHER BINÔME ARZAG RADOUANE

TOUS MES AMIS ET TOUS CEUX QUE JE CONNAIS ET ME CONNAIS SPÉCIALEMENT :

BENBABA ALI OUSSAMA ET HMIMICHE

DÉDICACE

JE DÉDIÉ CE MODESTE TRAVAIL À :

LA LUMIÈRE DE MA VIE, À MES PARENTS, J'ESPÈRE QU'ILS TROUVERONT ICI LE FRUIT DE LEURS SACRIFICES POUR MOI

MES FRÈRES
MES SŒURS
MES TANTES
MES ONCLES

TOUS LES MEMBRES DE MA FAMILLE

MON CHER BINÔME BAZIZ IZZEDDINE

TOUS MES AMIS ET PARTICULIÈREMENT :DODO RAFIK, AMER BOURBIA, YASSER, MIDO , MILOUD LIBERTA, WALID MOSTA,OUSSAMA HANKOUS,MAHMOUD, MAHBOUB,OUSSAMA BEN BABAALI , HOUARI

Résumé

Le présent mémoire est consacre essentiellement a l'étude avant-projet détaillé (A.P.D) d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Mechria / El bayadh (tronçon de 20 km), avec aménagement de la gare de Tousmoline.

L'étude a été menée conformément aux normes en vigueur (code de l'union internationale des chemins de fer). Différentes disciplines techniques ont été consultées et appliquées. Les outils de calcul utilisés sont les Logiciels Civil 3D et AutoCAD. Le tracé en plan et le profil en long ont été géométriquement optimisés et répondent aux conditions de confort et de sécurité. Les couches d'assises ont été définies et dimensionnées.

Les aspects environnementaux ont été abordés. Un devis estimatif a été proposé.

Mot clé :

Ballast, traverse, appareil de voie, bassins versant.

Abstract

This memory is devoted mainly to the detailed preliminary design (A.P.D) of a section of the new Mechria / El bayadh single-track railway line (20 km section), with the development of Tousmoline station.

The study was conducted in accordance with the standards in force (code of the International Union of Railways). Different technical disciplines were consulted and applied.

The calculation tools used are Civil 3D Software and AutoCAD. The plan layout and the longitudinal profile have been geometrically optimized and meet the requirements of comfort and safety. The layers of seating have been defined and sized.

Environmental aspects were discussed. An estimate has been proposed.

Keyword:

Ballast, crossbeam, switchgear, watersheds.

ملخص

هذه الأطروحة مخصصة بشكل أساسي للتصميم الأولي التفصيلي لقسم من خط السكة الحديدية أحادية المسار الجديدة مشرية / البيض (20 كم)، مع إنشاء محطة مشرية

جريت هذه الدراسة وفقا لمعايير (الاتحاد الدولي للسكك الحديدية) مختلف التخصصات التقنية تم تطبيقها، الأدوات الحسابية في البرنامج تم وضع محور في مستوى مقطع طولي أمثل هندسية و المتوافق مع شروط الراحة و الأمان، وقد تم كذلك تحديد مختلف الطبقات الأساسية المكونة للقاعدة و تعيين حجمها.
كما تمت مناقشة الجوانب البيئية و أخيرا تم اقتراح تقدير مالي للمشروع .

الكلمات المفتاحية:

السكة الحديدية، محطة، التصميم، المنشئات الفنية، محطة نقل المسافرين.

LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS

Symbole	Désignation	Unité
R	Rayon de raccordement circulaire	m
Rmin	Rayon minimal	m
Lmin	Longueur minimale de l'alignement droit	m
dmax	Dévers maximum	mm
I	Insuffisance de dévers	mm
Imax	Insuffisance de dévers maximal	mm
E	Excès de dévers	mm
Emax	Excès de dévers maximal	mm
dv	Dévers théorique	mm
L	Longueur de la courbe de transition m	m
dp	Dévers pratique mm	mm
C	Coefficient de dévers	-
LRP	Longueur du clotoïde	m
A	Paramètre de clotoïde	m
Rvmin	Rayon verticale minimal	m
dd/dl	Variation de dévers en fonction de la longueur	-
dI/dt	Variation d'insuffisance de dévers	-
dd/dt	Variation de dévers en fonction du temps	-
Rp	Résistance de pointe	-
WP	Limite de plasticité	-
WL	Limite de liquidité	-
IP	Indice de plasticité	-
Ic	Indice de consistance	-
γh	Poids volumique humide	t/m^3
γd	Poids volumique sec	t/m
Sr	Degré de saturation	-
ω	Teneur en eau naturel	-
Rc	Résistance à la compression	Mpa
C'	Cohésion fictive du sol	Kpa
ϕ'	Angle de frottement fictif	°
ES	Equivalent de sable	cm
A	Superficie du bassin versant	ha
Qa	Débit d'apport	m^3/s
Qs	Débit de saturation	m^3/s
DN	Diamètre nominale	m^3/s
Cr	Coefficient de ruissèlement	-
I	Intensité de la pluie	mm/h
T	Période de retour de l'averse	ans
Tc	Temps de concentration	h
Sm	Section mouillée	m^2
Kst	Coefficient de rugosité	-
Rh	Rayon hydraulique	m

P	Pente moyenne du bassin versant	-
H	Différence entre la cote moyenne et la cote minimale	m
L	Longueur du bassin versant	Km
Qps	Débit a plein section	m^3/s
m	Pente du fossé	-
V	Vitesse d'écoulement	m/s

ABRÉVIATION DÉSIGNATION

APD Avant-projet Détaillé.

LRS Long Rail Soudé. BV Bassin versant.

PU puits de reconnaissance.

S sondage carotté.

PD Essai de pénétration dynamique type B.

QSi Classe du sol (UIC).

Pi Classe de la plateforme.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERAIE……..……1

CHAPITRE I : **Recherche bibliographique sur le comportement du ballast**

I.1 INTRODUCTION....2
I.2 LE MECANISME DE LA VOIE....2
I.2.1 Le rôle de la voie....2
I.2.2 Les efforts exercés sur la voie....3
I.2.3 Le matériel roulant....4
I.3 FONCTIONS ET CARACTERISTIQUES DU BALLAST....4
I.3.1 Le role du ballast....4
I.3.2 Les fonctions du ballast....5
I.3.3 Caractéristiques du ballast....5
I.3.4 Les qualités requises pour le ballast :....7
I.4 DÉGRADATION DU BALLAST....8
I.4.1 Causes de dégradation du ballast :....8
I.4.2 Déformation du ballast....8
I.5 LES ÉTUDES SUR LE COMPORTEMENT DU BALLAST....10
I.5.1 Etudes expérimentales:....10
I.5.2 Les essais au laboratoire à échelle réduite....10
I.5.3 les essai in situ dans les conditions réelles....13
I.5.4 essai en laboratoire à échelle réelle....14
I.6 MAINTENANCE DU BALLAST....14
I.6.1 Disposition du ballast et sa stabilité....14
I.6.2 Nettoyage du ballast:....15
I.6.3 Réhabilitation du ballast:....15
I.7 CONCLUSION GENERAL....16

CHAPITRE II : Le transport ferroviaire

II.1 INTRODUCTION……17
II.2 AVANTAGES DES CHEMINS DE FER....17
II.3 HISTOIRE DU CHEMIN DE FER EN ALGERIE....18
II.3.1 Période coloniale :....18
II.3.2 Période postindépendance :....19
II.3.3 Réseau actuel :....20
II.4 INVESTISSEMENT ET PROGRAMME D'EXTENSION DE DEVELOPPEMENT ET DE MODERNISATION....20
II.4.1 L'investissement dans le secteur :....20
II.5 PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DU RESEAU FERROVIAIRE……..23
II.6 CONCLUSION....24

CHAPITRE III : Présentation du projet

III.1 Introduction
III.2 CONTEXTE GÉNÉRAL 26
III.2.1 La nouvelle ligne ferroviaire comporte : 26
III.3 PRESENTATION DU PROJET DE FIN D'ETUDES 27
III.4 OBJECTIF DU PROJET 27
Pour nos études seront menées : 27
III.5 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ETUDE 27
III.5.1 Mécheria: 27
III.5.2 El bayadh 28
III.5.3 Infrastructure de Base: 30
III.6 CARCTÉRISTIQUES DE BASE DU PROJET 31
III.7 CONCLUSION…….32

CHAPITRE IV : Géométrie de la voie

IV.1 INTRODUCTION
IV.2 TRACE EN PLAN 33
IV.2.1 Les règles à respecter dans le trace en plan : 33
IV.2.2 Catégorie de trafic : 33
IV.2.3 Eléments de trace en plan : 34
IV.2.4 Les conditions de raccordement : 35
IV.2.5 Paramètres de conception de la voie : 35
IV.3 CALCUL D'AXE 42
IV.3.1 Application au projet: 43
IV.4 PROFIL EN LONG 44
IV.4.1 Introduction: 44
IV.4.2 Les règles à respecter dans la trace du profil en long : 45
IV.4.3 Eléments géométriques du profil en long : 45
IV.4.4 Déclivité: 45
IV.4.5 La longueur minimale des déclivités: 46
IV.4.6 Rayon admissible en raccordements de profil en long : 46
IV.4.7 Coordination profil en long-trace en plan : 46
IV.4.8 Exemple de calcul de profil en long : 49
IV.5.1 Définition : 49
IV.5.2 Profil en travers type : 49
IV.5.3 Profil en travers courant : 49
IV.5.4 Les éléments du profil en travers :…….49

CHAPITRE V : Etude géologique et géotechnique

V.1 INTRODUCTION……..52
V.2 ENCADREMENT GEOLOGIQUE ET TECTONIQUE DE LA REGION 52
V.3 CONTEXTE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE 52
V.4 LA NATURE TOPOGRAPHIQUE 53

V.4.1 Secteur n°1 : 53
V.5 CADRE SISMIQUE : 55
V.6 CONCLUSION 56
V.7 INTRODUCTION 56
V.8 ESSAIS IN SITU 57
V.8.1 But des essais in situ : 57
V.8.2 Sondage carotté: 57
V.8.3 Puits de reconnaissance : 58
V.8.4 Sondage pressiometriques : 58
V.9 ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD 58
V.10 ESSAIS AU LABORATOIRE 58
V.10.1 Analyses granulométrique du sol : 59
V.10.2 Essai au bleu méthylène : 59
V.10.3 Essais limites d'Atterberg : 59
V.10.4 Analyses chimique des sols : 59
V.10.5 Essai teneur en eau : 59
V.10.6 Essai Proctor : 59
V.10.7 Essai CBR : 60
V.10.8 Essai de cisaillement rectiligne : 60
V.10.9 Essai de compressibilité à l'odomètre : 60
V.11 CLASSIFICATION DES SOLS SUR LE LONG DU TRACE 60
V.12 CONCLUSION 64

CHAPITRE VI : LA SUPER STRUCTURE DE LA VOI

VI.1 INTRODUCTION 64
VI.2 CATEGORIE DE LA VOIE 64
VI.3 LES CARACTÉRISTIQUES DE LA VOIE 64
VI.4 LES CONSTITUANTS DE LA VOIE FERRÉE 64
VI.4.1 Les rails 65
VI.4.2 Les traverses: 70
VI.4.3 Les Accessoires de poses: 72
VI.5 LES APPAREILS DE VOIE 73
VI.5.1 Types des appareils de voie : 73
VI.6 CONCLUSION 75

CHAPITRE VII : Terrassements et assise de voie

VII.1INTRODUCTION 76
VII.2 TERASSEMENTS 76
VII.2.1 Pentes de talus 76
VII.2.2 Déblais 76
VII.2.3 Remblai 77
VII.2.4 Gites d'emprunts et carrières 77
VII.2.5 Réutilisation des matériaux des déblais 78

VII.3 LA STRUCTURE D'ASSISSE....79
VII.3.1 Ballast:....79
VII.3.2 Sous-couche....80
VII.4 LA PLATE FORME....80
VII.4.1 Couche de forme....80
VII.4.2 Classe de portance de la plateforme....81
VII.4.3 Epaisseur minimal des couches d'assisse :....82
VII.5 APPLICATION AU PROJET....83
VII.6 Calcul de l'épaisseur minimale de la couche d'assise :....83
VII.7 DETERMINATION DES CUBATURES....84
VII.7.1 Définition....84
VII.7.2 La méthode utilisée....84

CHAPITRE VIII : Etude hydrologique et assainissement

VIII.1 INTRODUCTION....85
VIII.2 PRESENTATION HYDROLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE....85
VIII.2.1 Présentation générale:....85
VIII.2.2 Le climat:....85
VIII.2.3 Etude de la temperature:....86
VIII.2.4 Précipitation:....86
VIII.2.5 Classification du climat de la région :....86
VIII.2.6 Pluies journalières....87
VIII.2.7 Caractéristique des bassins versants....88
VIII.3 ETUDE HYDRAULIQUE DE LA ZONE....89
VIII.3.1 Temps de concentration:....89
VIII.3.2 Estimation de debits d'apport:....89
VIII.3.3 Intensité maximale des précipitations....90
VIII.3.4 Coefficient de ruissellement....91
VIII.3.5 Application au projet:....92
VIII.4 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES....93
VIII.4.1 Critères de dimensionnement:....93
VIII.4.2 Débits de saturation:....93
VIII.4.3 Dimensionnement des dalots:....94
VIII.4.4 Dimensionnement des buses:....94
VIII.4.5 Vérification conditions d'autocurage....95
VIII.1 INTRODUCTION....85
VIII.2 PRESENTATION HYDROLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE....85
VIII.2.1 Présentation générale:....85
VIII.2.2 Le climat:....85
VIII.2.3 Etude de la temperature:....86
VIII.2.4 Précipitation:....86
VIII.2.5 Classification du climat de la région :....86

VIII.2.6 Pluies journalières 87
VIII.2.7 Caractéristique des bassins versants 88
VIII.3 ETUDE HYDRAULIQUE DE LA ZONE 89
VIII.3.1 Temps de concentration: 89
VIII.3.2 Estimation de debits d'apport: 89
VIII.3.3 Intensité maximale des précipitations 90
VIII.3.4 Coefficient de ruissellement 91
VIII.3.5 Application au projet: 92
VIII.4 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES 93
VIII.4.1 Critères de dimensionnement: 93
VIII.4.2 Débits de saturation: 93
VIII.4.3 Dimensionnement des dalots: 94
VIII.4.4 Dimensionnement des buses: 94
VIII.4.5 Vérification conditions d'autocurage 95
VIII.4.6 Exemple de calcul : 96
VIII.4.7 Dimensionnement des fossés: 97
VIII.5 CONCLUSION 98

CHAPITRE IX : Conception des ouvrages d'art

IX.1 INTRODUCTION 99
IX.2 LES CRITERES DE CONCEPTION DES OUVRAGES D'ART 99
IX.2.1 Critères appliqués aux ouvrages d'art : 99
IX.3 LES OUVRAGES D'ART POUR NOTRE PROJET 99
IX.3.1 Géologie générale: 99
IX.3.2 Reconnaissance des sols 100
IX.3.3 Essais « in situ »: 100
IX.3.4 Essais en laboratoire: 101
IX.3.5 Stabilité d'ensemble: 101
IX.3.6 Fondations des ouvrages: 101
IX.4 DRAINAGE DES OUVRAGES D'ARTS 102
IX.5 CONCLUSION 102

CHAPITRE X : Conception de la gare

X.1 INTRODUCTION 103
X.2 INSTALLATIONS D'UNE GARE VOYAGEURS 103
X.3 INSTALLATIONS D'UNE GARE MARCHANDISES 103
X.4 RESEAU DE VOIE 103
X.4.1 Garage Franc: 103
X.4.2 La marge de glissement à l'aval des signaux : 104
X.4.3 Le heurtoir: 104
X.4.4 La longueur utile d'une voie de stationnement : 105
X.5 LA GARE DE TOUSMOULINE 105
X.5.1 Localisation de la gare: 105

X.5.2 Caractéristique géométrique de la gare : 106
X.6 ASSAINISSEMENT DE LA GARE.....109
X.6.1 Assainissement transversale:.....109
X.6.2 Assainissement longitudinal:……109

CHAPITRE XI : Etude environnementale et social

XI.1 INTRODUCTION……110
XI.2 CONTEXTE JURIDIQUE 110
XI.3 DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE :.....112
XI.4 L'ANALYSE DE L'ETAT INITIAL :.....112
XI.5 IDENTIFICATION DES SOURCES D'IMPACT 112
XI.6 MESURES D'INSERTION (D'INTEGRATION)…….114
XI.6.1 Milieu physique :.....114
XI.6.2 Milieu biologique 114
XI.6.3 Milieu humain 115
XI.6.4 Passage et patrimoine 115
XI.6.5 Milieu ambiant 115
XI.7 PHENOMENE D'ENSEMBLEMENT ET DE DESERTFICATION 116
XI.7.1 Processus et dynamique de l'ensablement : 116
XI.7.2 Perspectives de lutte contre la désertification et la pollution du ballast :.....117
XI.8 SUIVI ET BILAN ENVIRONNEMENTAL 118
XI.8.1 Le programme de surveillance environnementale : 118
XI.8.2 Le programme de surveillance environnementale : 118
XI.9 CONCLUSION : 118

CHAPITRE XII : Devis estimatif et quantitatif

XII.1 Devis estimatif et quantitatif…….…….119
Conclusion général……..……121

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 le système ferroviaires. [1] 2
Figure I-2 charges verticale. [2] 3
Figure I-3 le matérielle roulant. [3] 4
Figure I-4 granulométrie du ballast (NF EN 13450). 6
Figure I-5 forme des granulats. 6
Figure I-6 perméabilité du ballast. [4] 7
Figure I-7 ballast souillé. 8
Figure I-8 évolution de la pression et de la contrainte de cisaillement directement sous la traverse. [5] 10
Figure I-9 déplacement vertical des traverses après un cycle de bourrage (Fischer 1983). 11
Figure I-10 proportion schématique du tassement vertical du ballast, de la sous-couche, et de la plate forme en fonction de trafic cumulé (Selig and Waters1994). [6] 12
Figure I-11 dispositif global micro ballast Guérin. [7] 12
Figure I-12 dispositif de l'essai BETTER (Bodin). 13
Figure I-13 Exemple de propagation du ballast. 15
Figure I-15 la dégarnisseuse. 16
Figure I-14 Stabilisateur de voie et cylindre de compression de gauche a droite. 16
Figure I-16 AHM 800 R……..... 17
Figure II-1 ferroviaire durant l'époque coloniale. 19
Figure II-2 le réseau ferroviaire algérien avant 1980 (SNTF) 21
Figure II-3 le réseau ferroviaire algérien, investissement décennie 1980 (SNTF). 21
Figure II-4 le réseau ferroviaire algérien, investissement décennie 1990 (SNTF). 22
Figure II-5 le réseau ferroviaire algérien, investissement à partir de 2000 (SNTF). 22
Figure II-6 le réseau ferroviaire algérien et son plan de développement (ANESRIF)……...24
Figure III-1 Le réseau ferré algérien et ses perspectives de développement. 26
Figure III-2 Plan de localisation du projet Méchria- El bayadh. 27
Figure III-3 localisation de la commune de Méchria dans la wilaya de NAAMA. 28
Figure III-4 Localisation de la Wilaya d'El Bayadh et ses frontières. 30
Figure III-5 La zone géographique d'el Bayadh. 31
Figure III-6 Réseau Routier de la Wilaya……..32
Figure IV-1 Les éléments de trace en plan. 35
Figure IV-3 Voies sans dévers 36
Figure IV-2 Voies avec devers. 36
Figure IV-4 Courbe de raccordement. 40
Figure IV-5 les éléments de courbe avec clothoïde. 42
Figure IV-7 Raccordement du profil en long 47
Figure IV-8 Constituants du profil en travers. 50
Figure IV-9 profil en travers type……..51

V-1 Schéma hypothétique présentant l'allure générale et la nature géologique des terrains traversés entre Mecheria et Tousmouline.....54
V-2 Vu panoramique présentant le début du projet. 54
V-3 Vu panoramique montrant un oued qui traverse le tracé et la route reliant Mécheria-Tousmouline Notons le phénomène d'ensablement.....55
Figure V-4 Vu panoramique montrant une dépression topographique (zone d'inondation) traversée par notre tracé.Notons le phénomène d'ensablement. 55
Figure V-5 représente la carte des zones sismiques de l'Algérie et le zonage……....56
Figure VI-1 Les constituants de la voie ferrée. 65
Figure VI-2 Rail à gorge. 66
Figure VI-3 Rail à double champignon.....66
Figure VI-4 Rail Vignole. 66
Figure VI-5 Le rail Vignole (UIC 60).....66
Figure VI-6 Profil rail du type UIC60 E1. 67
Figure VI-7 Ecartement des rails.....67
Figure VI-8 Le soudage électrique.....69
Figure VI-9 Soudage aluminothermique.....69
Figure VI-10 Assemblage des rails par éclissage.....70
Figure VI-11Assemblage du rail par soudure des LRS.....70
Figure VI-12 Traverse en bois. 71
Figure VI-13 Traverse métallique. 72
Figure VI-14 Traverses en béton bi-bloc. 72
Figure VI-15 Traverse monobloc en béton précontraint. 72
Figure VI-16 les semelles.....73
Figure VI-17 Attache élastique Nabla.....74
Figure VI-18 Attache élastique E-Clip.....74
Figure VI-19 Liaison rail-traverse.....74
Figure VI-20 Eléments de branchement.....75
Figure VI-21 Élément traversée oblique……75
Figure VII-1 Les déférentes couches de la plateforme.....81
Figure VIII-1Situation géographique de la zone d'étude.....86
Figure VIII-2 Situation de la station de Mechria sur Climato gramme d'Emberger. 88
Figure VIII-3 Situation du projet sur carte des bassins versants.....89
Figure VIII-4 Dimensionnement de dalot. 95
Figure VIII-5 Dimensionnement de buse.....95
Figure VIII-6 Fosse trapézoïdale……99
Figure X-1 l'emplacement du garage franc GF. 104
Figure X-2 un heurtoir.....105
Figure X-3 longueur utile d'une voie.....105
Figure X-4 coupe longitudinale de passage souterrain……109

Figure XI-1 ouvrage hydraulique provisoire.....114
Figure XI-2 mise en place d'un filtre dans 114
Figure XI-3 passage à grande faune. 115
Figure XI-4 passage hydraulique et passage petite faune. 115
Figure XI-5 protection par écran antibruit 116
Figure XI-6 protection par butte de terre.....116
Figure XI-7 phénomène d'ensablement sur la vois. 117
Figure XI-8 en plan de solutions proposées pour lutter contre L'ensablement de la voie……...118

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II-1 Longueur du réseau ferroviaire (km).....20
Tableau IV-1 Tableau Longueur minimale des éléments de tracé L_min 35
Tableau IV-2 valeurs maximales des dévers.....37
Tableau IV-3 valeurs maximales admissible des insuffisances de dévers. 38
Tableau IV-4 valeurs maximales admissible des excès de dévers. 39
Tableau IV-5 valeurs admissibles de la variation de dévers. 39
Tableau IV-6 taux de variation de dévers en fonction du temps.....39
Tableau IV-7 taux de variation de dévers en fonction du temps.....40
Tableau IV-8 longueur minimale des déclivités.....47
Tableau IV-9 Valeurs de rayon de raccordement en profil en long. 47
Tableau IV-10 les coordonnées des points de profil en long (exemple)……49
Tableau V-1 la répartition de sismicité par chaque zone. 55
Tableau V-2 coefficient d'accélération.....56
Tableau V-3 récapitulatif des niveaux de l'eau souterraine.....57
Tableau V-7 classement du sol (UIC 719R). 61
Tableau V-8 définition de la classe de la qualité des sols (NFP113005).....61
Tableau V-9 la classification des sols selon GTR et UIC 719R à partir des sondages carottiers. .63
Tableau V-10 la classification des sols selon GTR et UIC 719R à partir des puits de reconnaissance……63
Tableau VI-1 les caractéristiques de la voie.....64
Tableau VI-2 les Caractéristiques du rail UIC 60 E1 selon (EN13674-1).....66
Tableau VI-3 caractéristique des traverse monobloc en béton précontrainte B70.....72
Tableau VI-4 Caractéristiques des composantes adoptées……75
Tableau VII-1 localisation des zones de déblai.....77
Tableau VII-2 localisation des zones de remblais.....77
Tableau VII-3 résultats des essais de laboratoire relatif aux puits d'exploitation des gites d'emprunt.....78
Tableau VII-4 classes de portance de la plateforme (UIC719R). 81
Tableau VII-5 les paramètres de dimensionnements et leurs valeurs (UIC 719R).....82
Tableau VII-6 cubatures des terrassements.....85
Tableau VII-7 cubatures des couches d'assises……85

Tableau VIII-1 Température moyenne annuelle de la ville de Méchria. 86
Tableau VIII-2 Précipitations moyennes mensuelles. 87
Tableau VIII-3 Précipitations journalière. 88
Tableau VIII-4 caractéristiques des bassins versants de la zone d'étude. 89
Tableau VIII-5 formules des temps de concentrations 90
Tableau VIII-6 Paramètre de Montana a et b des courbes IDF pour la région de l'étude. 91
Tableau VIII-7 Désignation des Coefficient de ruissellement par zones. 92
Tableau VIII-8 Résultats débit d'apport. 92
Tableau VIII-9 valeur du coefficient Ks. 94
Tableau VIII-10 Dimensionnement des dalots. 95
Tableau VIII-11 Résultats des calculs des dimensions des buses. 96
Tableau VIII-12 résultats de vérification auto curage des buses et dalots. 96
Tableau VIII-13 Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai……..98
Tableau X-1 Les caractéristiques géométriques du quai. 106
Tableau X-2 Appareils de Changement de Voie. 107
Tableau X-3 Caractéristiques des courbes de voie……...108
Tableau XI-1 Contexte juridique. 110
Tableau XI-2 Grille d'identification des impacts sur les milieux biophysique et humain……113

INTRODUCTION GENERALE

Le transport représente un des piliers fondamentaux du développement et de la prospérité de tout pays. Des systèmes de transport efficaces et des réseaux modernes sont donc une nécessité pour le développement économique, le bien-être social, la production à grande échelle.

L'infrastructure de transport est constitué d'un ensemble de moyens dont la finalité est de satisfaire un besoin de déplacement et de mobilité des citoyens dans les meilleures conditions de confort, de sécurité, de disponibilité, de coût, d'efficacité, etc.

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

Parmi ces secteurs on trouve le secteur du transport ferroviaire qui a connu un développement remarquable dans les dernières années.

Le réseau des chemins de fer algérien est aujourd'hui parmi les plus modernes d'Afrique. Il fait son apparition à la fin du XIXe siècle, il sert au transport de personnes et de marchandises, aussi pour un but 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 double voie à trafic mixte « Voyageurs, Marchandises » électrifiée reliant la wilaya de Nâama à partir de la ville Macheria PK 00 et la wilaya de El-Bayadh sur un linéaire de 130 km.

Notre présent projet de fin étude consiste à faire une étude avant-projet détaillé « APD » d'un tronçon de cette nouvelle ligne situé dans la wilaya de El-Bayadh sur linéaire de 20 km allant de PK 40+000 jusqu'à PK 60+000, avec la conception de la nouvelle gare de voyageurs à El-Bayadh implantée du PK 52+147 jusqu'à PK 54+500.

Ce travail est structuré on onze chapitres comme suit.

Dans le premier chapitre qui concerne le sujet de master nous avons élaboré une recherche bibliographique sur le comportement du ballast.

Le cœur de ce travail « projet de fin d'étude » s'articule autour de ces axes principaux

- Historique de la ferré en Algérie.
- Présentation du projet et objectifs.
- Etude géométrique : tracé en plan, profil en long, profils en travers.
- Les différents éléments qui constituent la superstructure de la voie ferrée.
- Terrassements et dimensionnement de la structure on se basant sur des études géotechnique, hydrologique et hydraulique. Aspects général sur les ouvrages d'arts rencontrés.
- Conception de la nouvelle gare de voyageurs de Tousmoline.
- Etude environnementale et sociale.

Un devis estimatifs et quantitatifs du projet.

Et pour finir une conclusion générale sur le travail effectué.

CHAPITREI

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE COMPORTEMENT DU BALLAST

[1]- Thèse «comportement du ballast sous l'action du bourrage et du trafic ferroviaire » Chiara Paderno, 2010.

[2]- Cours de chemin de fer, la voie ferrée, voie courante et appareils de voie, longs rails soudés.

[3]- Site officiel de société nationale de chemin de fer (www.sntf.dz).

[4]- Thèse « Analyse des déformations permanentes des voies ferrées ballastées-approche Dynamique ».

[5]- Manuel de la voie, infrastructure, superstructure, maintenance, rentabilité, Dr. Bernhard Lichtberber. Edition 2009.

[6]- Thèse « Analyse numérique de la réponse dynamique de structures ferroviaires », Antoine Martine, 2004.

[7]- Thèse «Approche expérimentale et numérique du comportement du ballast des voies ferrées» Nathalie Guérin, 1996.

I.1 INTRODUCTION

La voie ferrée n'est qu'une partie du système ferroviaire, comprenant deux éléments étroitement liés, l'infrastructure et le véhicule. L'objectif du système est la capacité, qui représente la présentation de trafic susceptible d'être assurées durant un temps donnée, sur un réseau, dans des conditions données et avec un niveau de qualité de service donné.

Elle met donc en relation le véhicule et l'infrastructure au travers de l'horaire, qui représente l'offre de trafic. Le schéma suivant illustre ces relations :

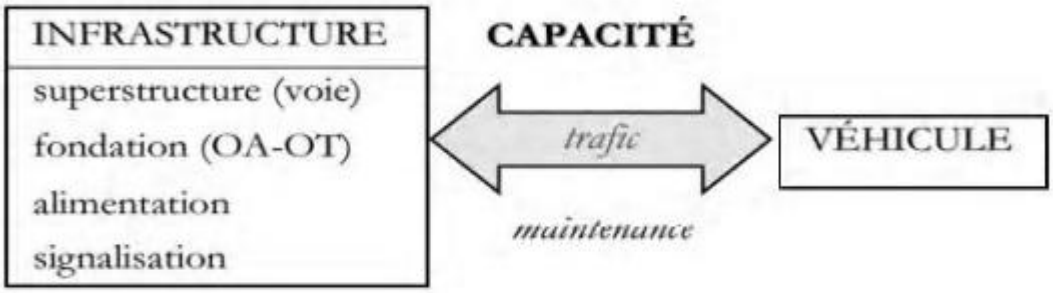


Figure I-1 le système ferroviaire. [1]

Le comportement d'un élément ne peut être considéré comme indépendant des autres. Ainsi, toute modification d'un élément aura des effets immédiats ou sur le long terme - sur les autres.

I.2 LE MECANISME DE LA VOIE

Est la science qui a pour but l'étude de comportement de la voie sous les charges roulantes.

Elle traite des sujets importants comme l'interaction de roue-rail et le fonctionnement du ballast dont le but de définir les limites de fonctionnement de la voie aussi bien en termes de vitesse que de charges admissibles mais aussi d'améliorer les composantes actuelles de la voie.

Néanmoins, les problèmes posés par la grande vitesse n'ont pu être surmontés que grâce à une connaissance sans cesse améliorer des phénomènes d'interaction véhicule-voie.

La voie supporte des efforts verticaux, transversaux et longitudinaux. Si ces derniers n'ont que peu d'influence sur la superstructure, les autres ont des actions déterminantes sur les éléments constitutifs.

Une expérience séculaire a progressivement une adaptation correcte de la forme et les dimensions de ces éléments aux efforts, mais avec l'évolution vers les grandes vitesses a imposé d'approfondir par l'expérience et le calcule l'influence des diverse contraintes.

Les simplifications sont nécessaires car les phénomènes sont rarement élastiques et les deux extrémités de la chaine de transmission des efforts, le contact rail-route et celui du ballast avec la plateforme sont encore insuffisamment connus.

I.2.1 Le rôle de la voie

La voie n'est pas uniquement constituée d'éléments pouvant être considérés séparément, elle fait partie du système véhicule (roue/voie). La voie :

- ✓ Guide les véhicules pour qu'ils ne déraillent pas.
- ✓ Absorbe les efforts verticaux et horizontaux des matériels roulants.

- ✓ Dirige ces efforts vers la plate forme, par l'intermédiaire du châssis et de la couche de ballast.
- ✓ Garantit un bon confort de marche.

I.2.2 Les efforts exercés sur la voie

❖ Les efforts longitudinaux

Ces efforts sont dus essentiellement aux accélérations et freinages, sont peu importants et ne posent d'éventuels problèmes que sur certains ouvrages d'art à fixation direct.

❖ Les efforts verticaux

Ces efforts sont dus aux passages des essieux reprise par l'ensemble de la plate-forme, ils sont beaucoup plus importants, ils sont représentés par des charges statiques (poids propres des véhicules), et des surcharges dynamiques dues à l'interaction roue-rail.

La charge statique est distribuée sur les essieux du véhicule. En fonction des poids des rails et de l'espacement des traverses.

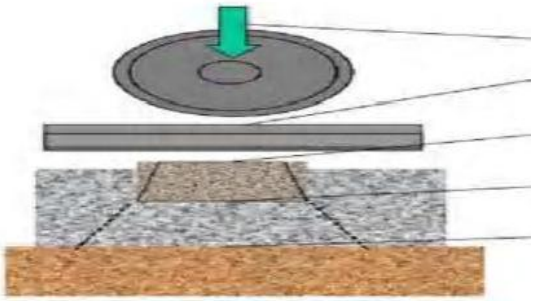


Figure I-2 charges verticale. [2]

L'UIC a classé les voies en trois catégories :

- A : 16 t paressieu.
- B : 18t paressieu.
- C : 20tpar essieu.

Ces trois catégories sont elles-mêmes décomposées chacune en trois sous-groupe d'indice 2, 3, 4, caractérisés par le rapport entre le poids total du véhicule et la longueur mesurée entre ses deux extrémités :

- Sous-catégorie 2: 6,4 t/m.
- Sous-catégorie 3: 7,2 t/m.
- Sous-catégorie 4: 8 t/m.

❖ Les efforts transversaux

Ces efforts sont définis par les forces centrifuges, provenant de l'existence d'un rail en courbe, et les forces d'origine thermique dues au blocage de la dilatation du rail (dans le cas des rails soudés). Ils sont moins importants que les efforts verticaux, mais le ballast est beaucoup moins rigide dans la direction latérale.

I.2.3 Le matériel roulant

Le matériel roulant ferroviaire est généralement désigné par le terme de « train », qui correspond, à un « engin moteur remorquant ou non un ou plusieurs véhicules ».

Cette définition renvoie à un assemblage de véhicules, ou convoi ferroviaire, conçus pour se déplacer sur une infrastructure spécifique la voie ferrée.

Ce matériel est donc guidé sur l'intégralité de son parcours. L'unité de base du matériel ferroviaire est la caisse. Une caisse peut faire partie du matériel moteur et du matériel remorqué.

Le matériel moteur a pour fonction de tracter ou de pousser un convoi ferroviaire. Il peut donc être une locomotive ou une caisse motorisée.

Le matériel remorqué est la partie du matériel roulant qui ne fournit pas l'énergie motrice du train. Il s'agit des voitures dans le cas du transport de voyageurs et des wagons pour le fret. Et lorsque le matériel roulant remplit ces deux fonctions en même temps, c'est-à-dire qu'il fournit l'énergie motrice et qu'il transporte les voyageurs, on parle d'automoteur ou bien d'automotrice.



Figure I-3 le matérielle roulant. [3]

I.3 FONCTIONS ET CARACTERISTIQUES DU BALLAST

I.3.1 Le role du ballast

Si les traverses reposaient directement sur la plateforme, elles s'enfonceraient plus ou moins dans le terrain naturel dont la résistance est généralement insuffisante pour supporter la charge transmise par les traverses, le nivellement de la voie serait compromis. La résistance du sol est d'ailleurs très inégale.

En outre, sur un sol imperméable, les traverses baigneraient souvent dans l'eau et les gelées détermineraient des soulèvements locaux des rails.

On évite ces inconvénients en interposant, entre les traverses et la plateforme, une couche de ballast d'une hauteur suffisante pour que la pression reçue par les traverses, sous l'action des charges roulantes, se répartisse aussi uniformément que possible sur une plus grande surface de la plateforme.

Mais le ballast ne doit pas seulement assurer aux traverses une position stable dans le sens vertical (maintien du nivellement de la voie), mais aussi dans le plan même de la voie, en résistant aux efforts transversaux qui tendent à déformer le tracé (maintien du dressage de la voie), et aux efforts longitudinaux qui tendent à faire cheminer les rails et les traverses (séparément et conjointement), et à fermer les joints de dilatation.

Le « bourrage » du ballast sous la traverse conserve à la voie son nivellement correct. Il freine aussi les déplacements longitudinaux et transversaux car, dès qu'une tendance au déplacement se manifeste, il naît un frottement résistant entre la traverse et le ballast.

Les efforts longitudinaux et transversaux sont également combattus par les banquettes de ballast contrebutant les extrémités des traverses, et par le ballast introduit entre les traverses jusqu'au niveau de la face supérieure de celles-ci.

I.3.2 Les fonctions du ballast

Les fonctions du ballast sont les suivantes :

- ✓ Transmettre uniformément jusqu'à la plate-forme les charges dues à la circulation de véhicules ferroviaires,
- ✓ Ancrer la voie aussi bien dans le sens longitudinal que transversal.
- ✓ Contribuer aux caractéristiques de souplesse et d'amortissement de la voie sous l'action dynamique des essieux de véhicules; ce qui permet de limiter la fatigue des constituants de la voie, et d'absorber les vibrations mécaniques et sonores grâce à sa structure plutôt poreuse.
- ✓ faciliter l'entretien du nivellement de la voie.
- ✓ assurer le drainage de la voie.

I.3.3 Caractéristiques du ballast

I.3.3.1 Caractéristiques physiques

❖ **Granulométrie :**

On utilise actuellement en Algérie la 25/50mm (documents SNTF). Les fuseaux de contrôle et de refus sont représentés sur le Graphe. Les fuseaux de contrôle et de refus minimaux et maximaux déterminent la zone de tolérance qu'il ne faut pas dépasser.

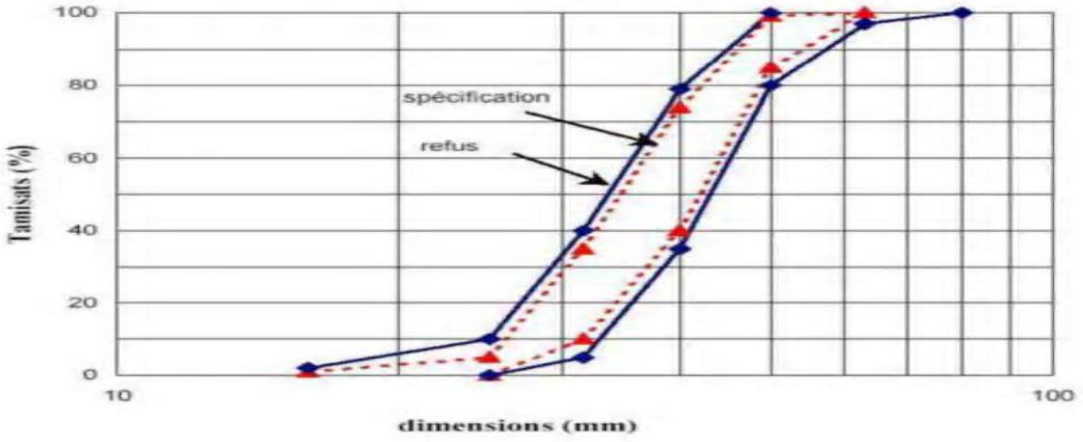


Figure I-4 granulométrie du ballast (NF EN 13450).

❖ **Forme des granulats**

Les éléments de ballast sont de forme polyédrique à arêtes vives. Seulement, il existe aussi des grains allongés qui nuisent à la stabilité de la couche compactée car ils sont susceptibles de se rompre et par conséquent de désorganiser l'assemblage granulaire stable formé par l'ensemble du ballast. C'est pourquoi il est nécessaire de délimiter sévèrement la quantité des aiguilles et des éléments plats présents dans le ballast. Les prescriptions concernent la longueur (aiguilles) et l'épaisseur des grains (plats).



Figure I-5 forme des granulats.

❖ **Homogénéité des granulats :**

Un ballast hétérogène (âge et dureté différents) s'altère très rapidement.

❖ **Propreté des granulats :**

Le ballast doit être exempte des éléments fins et débris. Pour obtenir un ballast propre la masse relative des éléments passant au tamis de 1.6mm doit être inférieur à 0.5% (UIC719R).

I.3.3.2 Caractéristiques mécanique

❖ **Resistance d'alteration :**

- Deval à sec DS : DS> 14 pour les pierres dures (ballast).
- Deval humide DH : DH > 12 pour les calcaires (pierres carbonatées).

❖ **Résistance aux chocs :**

Sous l'effet des contraintes transmises au ballast, il se produit un frottement des granulats entre eux, et des chocs engendrés par les traverses et les bourroirs, donc pour mesurer la résistance combinée a la fragmentation par chocs et l'usure par frottement réciproque des granulats, on réalise l'essai LOS ANGELES pour un ballast acceptable le coefficient LA doit être inferieur à 25%(LA<25).

❖ **La dureté :**

Est mesurée par une évaluation statique du double aspect de la résistance à l'attrition et aux chocs, elle est exprimée par le coefficient de la dureté relative globale, un ballast doit avoir pour notre cas une DRG>18 (il varie selon la nature des traverses et du trafic).

❖ **Résistance a la compression simple :**

Les contraintes verticales transmises au ballast peuvent lui provoquer des ruptures, en effet, les granulats doivent présenter une résistance à la compression suffisante, elle est mesurée a partir d'un essai laboratoire, en Algérie (R_c >14 KN/cm, document SNTF).

I.3.4 Les qualités requises pour le ballast :

❖ **La Perméabilité:**

Le ballast doit assurer un bon écoulement des eaux car l'eau qui reste dans le ballast y forme finalement de la boue, les traverses qui s'y appuient sont mal assises (traverses boueuses ou danseuses), cette eau se congèle en hiver, d'où gonflement du ballast et soulèvement de la voie. En outre, la voie gelée perd son élasticité.

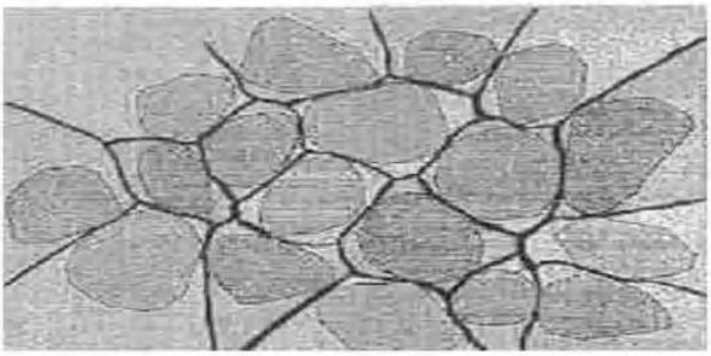


Figure Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.**-6 perméabilité du ballast. [4]**

Si le ballast est insuffisamment perméable, les pluies y creusent des ravinements qui créent des portes à faux compromettant l'assiette de la voie.

Un ballast souillé est un ballast qui a perdu sa perméabilité parce que ses vides se sont remplis de cendrées tombant des foyers des locomotives, de poussières de charbon, de déchets de ballast, de matières étrangères de toute nature.



Figure I-7 ballast souillé.

❖ **Elasticité :**

Celle-ci dérive de la mobilité relative des éléments constituant le ballast. Pour qu'elle soit bonne, il faut que les pierrailles soient de dimensions suffisamment grandes et qu'elles soient bien calibrées.

Le ballast doit conserver son élasticité et ne pas former sous les traverses une masse compacte, comprimée sous le poids des trains et ne « revenant » pas lorsque la charge a disparu.

❖ **Solidité :**

Le ballast doit être assez dur pour résister aux chocs provoqués par les charges roulantes (broiement) et pour supporter l'action destructrice des outils de bourrage (émiettement).

Un ballast tendre ou poreux se désagrège rapidement, il absorbe l'humidité qui retient les poussières et les corps étrangers. Toutes choses égales, le ballast pourra être d'autant plus fin qu'il sera plus dur.

I.4 DÉGRADATION DU BALLAST

I.4.1 Causes de dégradation du ballast :

❖ **Mécanique:**

D'abord, il y a les charges dynamiques induites par le trafic ferroviaire. Ces charges sont distribuées sur les surfaces de contact entre traverse et ballast.

Des chaines de répartition des charges se forment entre les arêtes de ballast, qui peuvent se briser à cause des contraintes qui y sont concentrées.

Puis L'opération de bourrage, en particulier la plongée des pioches, provoque une fragmentation des grains de ballast sous la traverse et entre les traverses, et à long terme et une diminution de sa granulométrie.

Des essais in situ montrent que les opérations de bourrage abiment le ballast plus que le trafic. Après 28 plongées, la granulométrie du ballast est tellement réduite, que tous les vides sont saturés par les grains de taille plus petite.

A cet état, les fines représentent plus de 30% en poids du ballast, et le renouvellement du ballast devient alors nécessaire.

❖ **Environnementale :**

Dès sa pose, le ballast subit l'influence de son environnement, en particulier des agents atmosphériques les poussières et les plantes.

Le choix de la nature du ballast et un désherbage effectué périodiquement sont prévus pour prévenir ce type de pollution. Pendant l'exploitation de la ligne, à la sollicitation ferroviaire s'ajoute une pollution provenant des éventuelles pertes de matériel des trains, et de la poussière d'acier des rails.

I.4.2 Déformation du ballast

La charge de trafic entraine un réarrangement des grains (tassement permanent) et une

usure des pierres à ballast (abrasion, rupture), ce qui se traduit par des variations indésirables de la qualité géométrique, celles-ci sont éliminées lors des travaux de maintenance avec des engins de travaux.

Le tassement du ballast en fonction du nombre de cycles de charge évolue en deux phases :

Une phase initiale de tassement rapide (jusqu'a 104 cycles des charges environ), suivie d'une phase de consolidation, avec un tassement quasiment linéaire.
Le tassement est surtout influencé par la pression du ballast (charges d'essieu statique, sollicitation par chocs dynamiques).

Les tassements présentent une très forte dispersion, même lorsque les conditions aux limites sont à l'évidence les mêmes, ce qui est attribue a la disposition aléatoire des pierres à ballast l'une par rapport à l'autre et aux différences initiales de compactage. Ce comportement est à l'origine de la dense de certaines traverses.

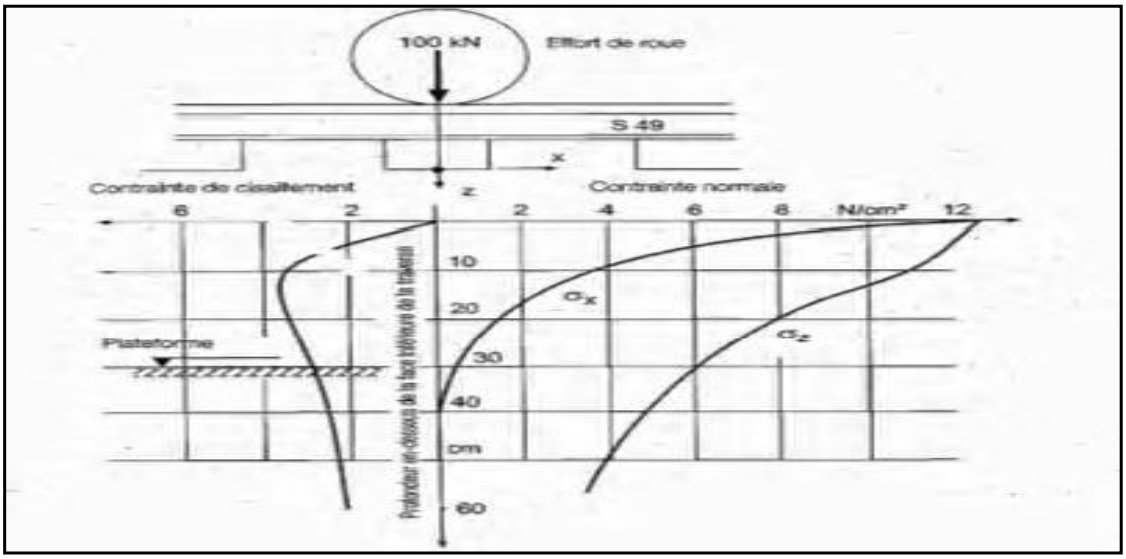


Figure I-8 évolution de la pression et de la contrainte de cisaillement directement sous la traverse. [5]

A partir d'une excitation de 40Hz environ, le comportement du ballast est élasto-liquide (fluidisation). Pour des excitations dynamiques dans une plage de fréquences élevées, le ballast tend à se fluidifier et à devenir instable quant à sa forme (modification de la forme de la couche de ballast).

Pour les mêmes charges, l'humidité du ballast entraine des déformations supplémentaires. La part de tassement d'un sol support sans défaut est réglable par comparaison avec le tassement du ballast.

La forme angulaire des pierres à ballast influence davantage le tassement que les caractéristiques d'abrasion des pierres.

Des courbes granulométriques plus larges et/ou des tailles de particules petites améliorent les caractéristiques de tassement du ballast qui est alors plus facile à compacter.

I.5 LES ÉTUDES SUR LE COMPORTEMENT DU BALLAST

I.5.1 Etudes expérimentales:

Les études expérimentales en laboratoire sur le ballast peuvent être classées en deux catégories, celles qui traitent des effets du bourrage sur le ballast et celles qui traitent du tassement et des déformations du ballast.

La plupart des essais sont effectués sur des échantillons de petites tailles, voire des bancs d'essais à échelle réduite. L'avantage de ce type d'approche est que l'échantillon a un poids et des dimensions adaptés aux presses de laboratoire. Le désavantage de la réduction consiste dans l'adaptation des paramètres entre le cas réel et le modèle réduit. Pour certains paramètres la loi de transfert est linéaire et la réduction est facile. D'autres paramètres, comme par exemple l'accélération de gravité, ne peuvent pas être réduits. Il est donc nécessaire de tenir compte des limitations et des leur influence sur les résultats, lors de leur analyse et discussion.

Les essais à échelle réelle, comprenant plusieurs traverses, sont très rares puisque couteux en argent, moyens et temps. Peu d'instituts de recherche possèdent des installations permettant de tester une voie en grandeur réelle.

I.5.2 Les essais au laboratoire à échelle réduite

I.5.2.1 Le ballast sous vibration:

Morgan et Markland ont fait une étudie qui a pour but de déterminer l'effet des vibrations sur la stabilité d'un lit de ballast calcaire, à échelle ½ (Morgan and Markland 1981).

L'essai en question consiste à placer un échantillon de ballast sur une table vibrante qui impose une fréquence de vibration variable entre 24 et 60Hz et les accélérations sont mesurées. Le déplacement d'une plaque posée sur le ballast est mesuré. Les résultats montrent que le ballast se déstabilise par des accélérations supérieures à celle de la gravité, jusqu'à une valeur limite. Pour des accélérations inférieures à celle de la gravité, aucun changement n'est remarqué.

Dans une deuxième campagne d'essais les vibrations sont appliquées par la plaque à la surface du ballast. Les essais mettent en évidence la présence d'une fréquence de résonance, située entre 30 et 40Hz, pour laquelle une faible force d'excitation provoque un enfoncement instantané de la plaque dans le ballast.

I.5.2.2 Bourrage du ballast :

Parmi les études les plus connues sur le comportement du ballast sous bourrage, la thèse de (Fischer 1983), met en valeur l'influence de la fréquence et de l'amplitude des vibrations du bourrage sur le déplacement verticale du ballast.

L'essai consiste à mettre un échantillon de ballast dans un banc d'essai de dimensions : ($1x0.38x0.25m$), qui comprend aussi un bout de traverse et une pioche en profondeur.

Les fréquences testées sont [8, 16, 25, 35, 50, 60, 70 et 80Hz], et les amplitudes de vibration [1, 3 et 5mm], (le double aux pioches). Pendant le bourrage, aucun relevage n'est appliqué à la voie, ensuite le ballast est à chaque fois renouvelé. Les expériences montrent que la fréquence dirige le comportement du ballast de la manière suivante:

Pour des fréquences inférieures à 35Hz, le ballast se comporte comme un solide et son

arrangement requiert l'action de grandes forces.

Pour des fréquences moyennes (35 à 50Hz), le ballast est dans un régime visqueux, et l'action conjointe de la fréquence des vibrations et la force du serrage permet un réarrangement contrôlé des grains.

Au-delà de 50Hz la vibration engendre l'effondrement de la structure constituée de ballast.

Les déplacements des grains ne sont plus maîtrisables, même pour des faibles forces on assiste à une liquéfaction du ballast

L'amplitude de la vibration accélère le passage de l'état raide à visqueux ou liquide. D'ailleurs, on peut observer qu'une amplitude de vibration de 2mm inhibe le passage aux régimes visqueux et liquide pour les fréquences de travail, et le ballast reste en régime solide.

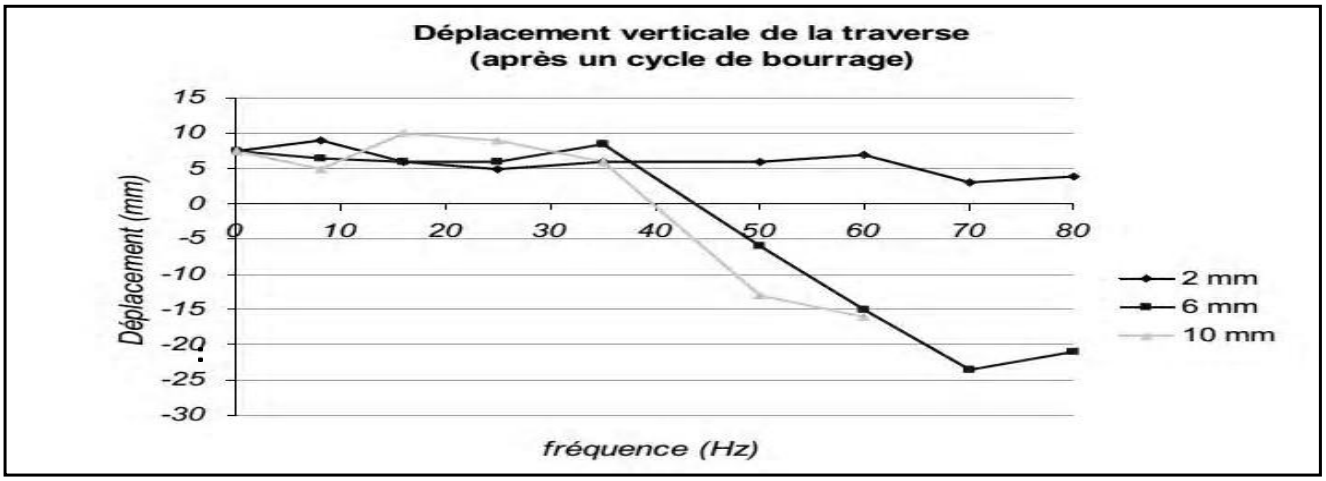


Figure I-9 déplacement vertical des traverses après un cycle de bourrage (Fischer 1983).

I.5.2.3 Tassement de la voie:

La dégradation d'une voie ferroviaire se manifeste en partie par la perte progressive de sa qualité géométrique. Celle-ci se traduit principalement par le « tassement » vertical (et latéral) de la voie.

Il s'avère que globalement le tassement totale de la voie est à 50%-70% dû à la couche de ballast comme le montre la figure en comparaison des sous-couches et de la plate-forme (Ferreira, 2010; Selig and Waters, 1994).

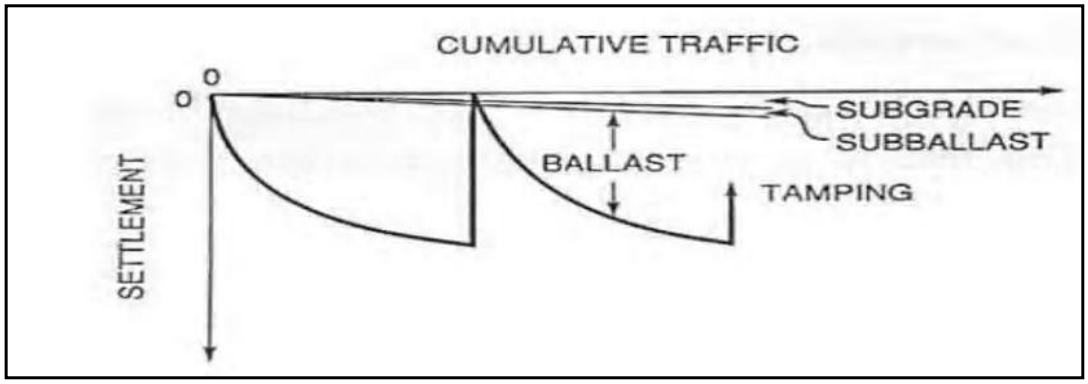


Figure I-10 proportion schématique du tassement vertical du ballast, de la sous-couche, et de la plate forme en fonction de trafic cumulé (Selig and Waters1994). [6]

Parmi les études les plus connues sur Le comportement du ballast après bourrage, soumis à trafic, sont celles de Guérin 1996 et Bodin 2001 qui ont fait des essais qui consiste a modélisé dans un banc d'essai un échantillon de ballast à échelle 1/3.

Dans ce banc d'essai est utilisé un matelas d'élastomère de raideur connue comme couche de fondation. Les essais effectués sont de deux types: essais quasi statiques de stabilité latérale, et essais de fatigue sous le passage d'un grand nombre d'essieux.

Le but de ces essais est l'appréhendassions du comportement du ballast après bourrage, soumis à trafic et la validation de lois de prédiction des défauts de voie verticaux (Guérin) et latéraux (Bodin) obtenues par simulation numérique.

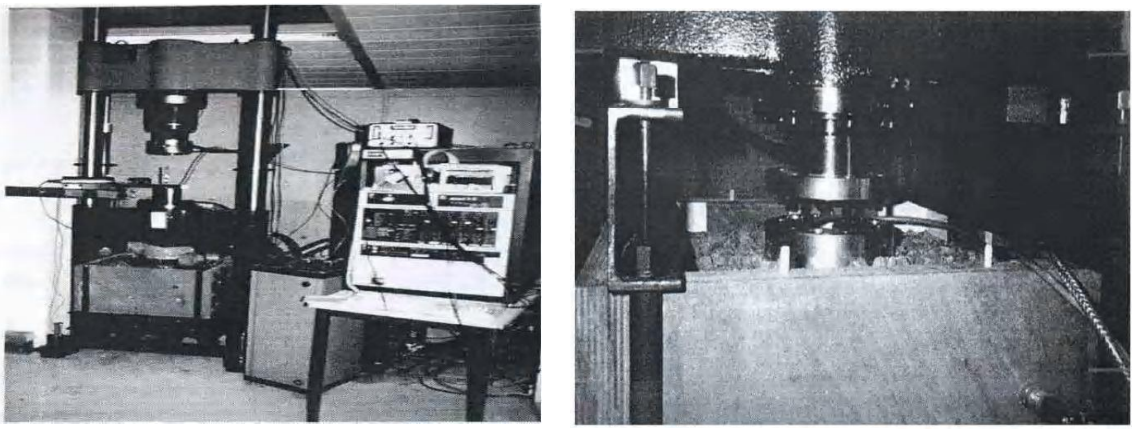


Figure I-11 dispositif global micro ballast Guérin. [7]

Guérin et Bodin ont obtenus les résultats suivants :

Les tassements du ballast sont liés davantage à la déflexion élastique, plutôt qu'à la charge imposée. Les essais ont aussi montré que les vibrations, entrainant des réassemblages granulaires, sont la cause principale des tassements. L'usure des grains n'est responsable que du 10% du tassement global sous trafic. Dans ses résultats, Bodin met en évidence la nécessité de mesurer les contraintes au niveau du sol pour évaluer la répartition de charge à travers le ballast.

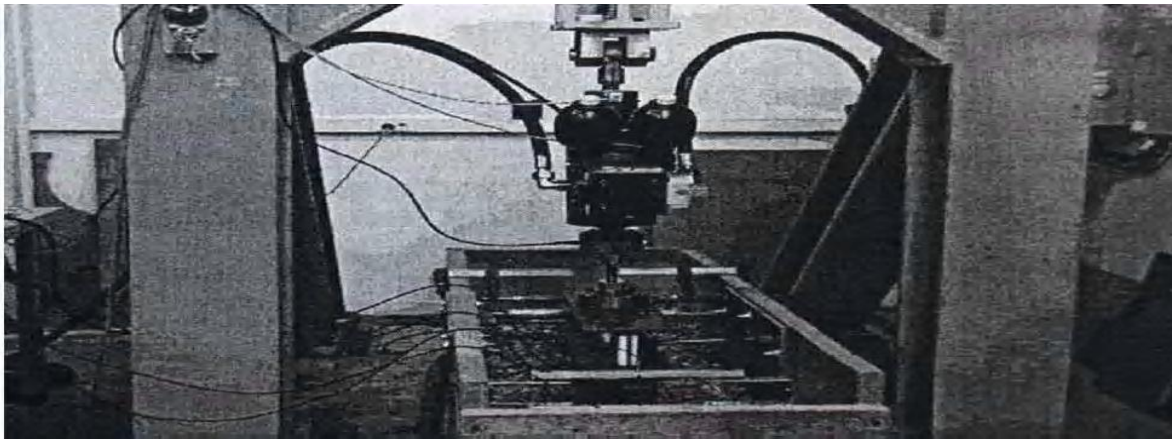


Figure I-12 dispositif de l'essai BETTER (Bodin).

Les essais de (Karrech 2007) avec du ballast à échelle 1/3 ont montré que le mécanisme de tassement est guidé par l'écoulement des grains vers des zones moins chargées, plutôt que par le réarrangement des grains. Le tassement concerne essentiellement les couches supérieures de la structure, tandis que l'élasticité de la fondation affecte la vitesse de tassement.

I.5.3 les essai in situ dans les conditions réelles

Les expérimentations in situ pour analyser le comportement du ballast dans les conditions réelles sont rares en littérature. Les entreprises de chemins de fer effectuent parfois des recherches et des essais in situ, pour contrôler la dégradation des éléments de la voie et mieux planifier sa maintenance à moyen et long terme. Toutefois, ces essais restent, dans la plupart des cas, à usage unique des gestionnaires des infrastructures. Les rapports sont confidentiels. Souvent ces essais sont effectués dans des voies secondaires, pour faciliter l'accès et éviter des interférences avec le trafic.

Les essais in situ sont moins fréquents que ceux réalisés en laboratoire pour les raisons suivantes:

- ✓ la difficulter d'isoler l'echantillon des condition extérieures, don't la variabilité peut influencer les mesures.
- ✓ la difficulté de contrôler tous les paramètres en jeu.
- ✓ la difficulté d'accéder régulièrement à un tronçon de voie sous exploitation, à cause des risques pour la sécurité.
- ✓ la difficulté d'effectuer les mesures et de les interpréter.

Les essais documentés en littérature sont souvent de courte durée. Et ils sont mis en place pour obtenir des paramètres de calibration et validation de modèles ou tester des nouveaux systèmes de mesure.

Des accéléromètres ont été introduits dans le ballast au dessous de la traverse pour détecter la vibration du ballast sous le passage des trains, en présence de défauts de géométrie (Zhai et al. 2004). Ces mesures ont permis de valider un modèle conique de vibration du ballast. En outre, une fréquence de résonance du ballast entre 80 et 100 Hz a été mesurée.

Des essais semblables ont été menés par (Dahlberg 1995) pour déterminer les accélérations du ballast et de la voie sous charge et vérifier les modèles d'interaction voie-véhicule.

Les paramètres du ballast sont mesurés ponctuellement au moyen d'accéléromètres et extensomètres insérés dans le ballast.

Actuellement plusieurs méthodes continues et non destructives d'inspection de la voie sont en cours d'expérimentation.

Parmi les plus important, le pénétromètre radar ou GPR, la thermographie infrarouge et la mesure des variations de conductivité ont été analysés par plusieurs auteurs (Narayanan et al. 2004; Zagyapan and Fairfield 2002).

Ces méthodes d'investigation permettent de mesure l'épaisseur du ballast et d'identifier les discontinuités dans la voie.

Ces techniques de mesure ont été installées sur des chariots et testées in situ. L'avantage de ces mesures est leur durée d'application, qui ne demande qu'une plage très réduite d'occupation de la voie. De plus, ces essais ne demandent pas de mise en place de capteurs dans l'infrastructure.

Les essais sous trafic de longue durée sont peu documentés. En effet, le suivi d'un tronçon sous trafic, même chargé, demande des délais longs, et pendant ce temps les variations des conditions climatiques peuvent influencer les résultats.

I.5.4 essai en laboratoire à échelle réelle

Le plus impressionnant essai en laboratoire, de par sa taille et de par la problématique traitée, a été développé dans le cadre du projet européen SUPERTRACK (NGI 2005). Il consiste d'un tronçon de voie de 21m, reproduisant les caractéristiques et les conditions d'une des sections mesurées in situ. La structure profonde de 4 m a été équipée de nombreux capteurs, posés à différentes niveaux. La simulation du trafic à haute vitesse est effectuée par trois vérins décalés, donnant ensemble une fréquence de 17Hz. Des extensomètres, capteurs de pression, géophones et accéléromètres ont été installés.

Une modélisation numérique complète l'analyse de la voie a été validée par les mesures expérimentales. Les résultats du projet européen SUPERTRACK sont très complets dans la description du comportement dynamique de la voie sous la charge des trains à grande vitesse. Ces analyses servent de base aux gestionnaires des infrastructures pour prévoir les causes de dégradation de la voie liées à la grande vitesse.

La mise en place des essais à grande échelle en laboratoire demande des gros moyens et des investissements importants. Toutefois, cette solution permet d'effectuer des nombreuses manipulations et mesures, en vitesse et sans compromettre le trafic et la sécurité des personnes.

En outre, le tronçon est à l'abri des variations climatiques, en particulier de l'effet de l'eau. Il permet ainsi d'étudier le comportement de la voie indépendamment de tout paramètre externe qui pourrait rendre difficile l'interprétation des résultats.

I.6 MAINTENANCE DU BALLAST

I.6.1 Disposition du ballast et sa stabilité

- **La disposition du ballast :**

La section transversale est d'une grande importance, elle est définie par de multiples normes de voie ferrée. Toute propagation inutile de la couche du ballast.

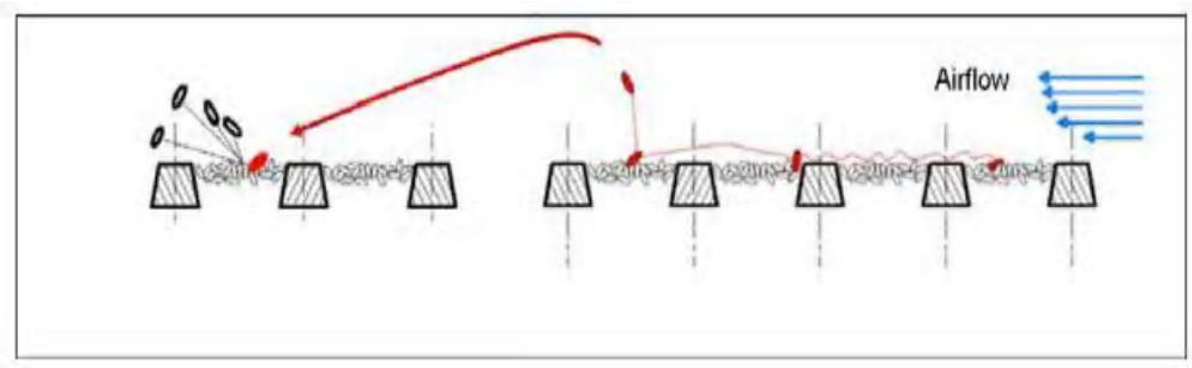


Figure I-13 Exemple de propagation du ballast.

Pour contrecarrer cette tendance, il est essentiel de réaliser une section transversale qui respecte les dimensions réglementaires, lors de l'entretien de la voie, mais aussi lors de l'implantation d'un nouveau ballast. Si cette maintenance n'est pas effectuée régulièrement d'énormes quantités de ballast pourraient être inutilisées sur la ligne ferroviaire.

❖ **Stabilisation :**

La disposition du ballast est suivie d'une stabilisationà l'aide du « Dynamique Track Stabiliser». L'objectif de cette stabilisation est d'atteindre un meilleur ancrage de la voie à la base du ballast. Après cette stabilisation, la voie offre une plus grande sécurité d'exploitation et permet sur les nouvelles lignes, en particulier, une circulation à des vitesses maximales.
Cela contribue à éviter des limitations de vitesse.



Figure I-14 Stabilisateur de voie et cylindre de compression de gauche a droite.

I.6.2 Nettoyage du ballast:

La dégarnisseuse (Figure I-15) est utilisée pour creuser plus loin le ballast à une profondeur minimale de 25cm au-dessous les traverses à l'aide d'une chine sur laquelle sont attachées des dents excavatrices.

La chaîne transporte le ballast vers un système de vibration constitué de tamis où le matériel avec un diamètre inférieur de 35mm est filtré. Le matériel restant libéré par mètre de voie.



Figure I-15 la dégarnisseuse.

I.6.3 Réhabilitation du ballast:

L'insertion à la main de couche de sable n'est pas seulement couteuse, de plus la compacité et l'homogénéité de cette couche n'est pas conservée.

Différentes machines et systèmes existent pour insérer cette couche de sable couvertures, de géo synthétiques ou d'autres couches protection sous la voie.

- L'AHM 800 R est une machine de creusement qui utilise le ballast recyclé pour la formation d'une couche protectrice.
- L'AHM 800 R a deux excavatrices indépendantes.
- La plus petite ramasse la couche supérieure du vieux ballast (20 à 25 cm).
- La deuxième procède aux grands travaux d'excavation supprimant le vieux ballast et la couche supérieure de l'ancienne plateforme. Les compacteurs lissent la surface restante.



Figure I-16 AHM 800 R.

I.7 CONCLUSION GENERAL

Les lignes à grande vitesse assument une grande importance dans la dynamisation du transport, qu'il soit de marchandises ou de passagers au niveau mondial, ceci en réponse à une demande et une compétitivité accrue des modes de transport ces dernières décennies.

Dans ce contexte, il a fallu mettre en place des voies répondant à un certains nombres de critères de sécurité, d'usure, de confort du passager, en sachant que tout ceci a une incidence sur la vie quotidienne de tous citoyens mondiales.

Dans cette synthèse, l'objectif a été de donner une vision globale sur le comportement du ballast. Et le but était de réunir et compiler des informations sur ce thème afin de créer une base solide pour de futures analyse plus approfondies et d'apporter un document présentant les spécificités du comportement du ballast.

Cette synthèse nous a permis d'enrichir nos connaissances, et de cerner globalement tous les aspects concernant le comportement du ballast. Cette étude a été une occasion pour nous d'apprendre une méthodologie rationnelle pour mener à bien un projet de recherche.

En perspective nous avons bien aimé traiter le comportement du ballast en le modélisant numériquement ou bien faire une étude expérimentale (essais au laboratoire à échelle réelle, essai in situ dans des conditions réelles, essai au laboratoire à échelle réduite), mais faute de temps et de moyen nous n'avons pas pu.

CHAPITRE II

LE TRANSPORT FERROVIAIRE

II.1 INTRODUCTION

En Algérie, la bonne conjoncture économique de cette dernière décennie a incité à l'usage et à la demande croissante des transports comme partout ailleurs dans le monde. L'amélioration de ces infrastructures provoque un effet d'entraînement sur l'économie dans une optique s'inscrivant dans l'utilisation appropriée des instruments stratégiques de planification et dans un contexte d'aménagement du territoire et de l'environnement.

Parmi les objectifs stratégiques poursuivis, dans le cadre du processus de réformes et transitions économiques en Algérie, figure en bonne place le renforcement et la modernisation des chemins de fer, dont le secteur a bénéficié d'un ambitieux programme. Avec un budget de plus de 1 000 milliards de dinars.

II.2 AVANTAGES DES CHEMINS DE FER

Le chemin de fer est le moyen de transport issu de la première révolution industrielle, associant une infrastructure, la voie ferrée, des véhicules spécifiques, les locomotives, voitures et wagons, et un système d'exploitation totalement intégré.

Le transport ferroviaire s'effectue sur des voies ferrées, et comprend par conséquent, le train, le métro, le tramway. C'est le seul moyen de transport (avec certains navires a propulsion nucléaire) qui utilise à ce jour, l'électricité massivement, comme source d'énergie. Il présent par conséquent de nombreux avantages, sur les autres modes de transport :

- Le transport par voie ferrée est souvent plus rapide que par la route (Système de guidage et absence d'obstacle).
- Il est relativement peu couteux, car la puissance développée par des moteurs électriques relativement légers permet le transport de charges importantes, parce que l'énergie n'a pas besoin d'être stockée, parce qu'elle est bon marché si elle est produite par des installations nucléaires.
- Il est non polluant, et peut être bientôt encore plus si l'énergie est produite par les systèmes géothermiques, solaire.
- Il garantit aux états leur indépendance énergétique a long terme, si le pays n'utilise pas d'hydrocarbures pour la production (Pétrole) de gaz ou de charbon pour la produite, et qu'il en détient pas.
- Fluidité du trafic et respect des délais.

Ceci explique le succès grandissant du transport par voie ferrée de voyageurs au niveau de la ville et du pays (liaisons interurbaines, suburbaines, et urbaines) et maintenant, aussi pour les marchandises au niveau continental grâce aux trains à grande vitesse **T.G.V** aux ponts et aux tunnels (Tunnel sous la manche).

Le transport ferroviaire de marchandises ou de personnes nécessitent la mise en œuvre d'infrastructures de transferts (multi modalité), pour acheminer et transborder les personnes jusqu'à leur train, et la marchandise ou la remorque et le camion, jusqu'à sa plate-forme, et pour effectuer ensuite l'opération inverse.

II.3 HISTOIRE DU CHEMIN DE FER EN ALGERIE

II.3.1 Période coloniale :

La réalisation du réseau de chemin de fer algérien s'est faite par étapes successives. Durant la période coloniale, trois programmes ont été initiés par l'administration.
Le programme de 1857, de 1879 et celui de 1907.

- **Programme de 1857 :**

Le 8 avril 1857, la force d'occupation française autorise la construction de 1357 km de lignes. Le 12 décembre 1859, le chantier de la ligne Alger-Blida a été ouvert.

Au cours de la période 1857-1878, les lignes ou tronçons de lignes suivantes, totalisant une longueur de 1365 km, ont été réalisés : Annaba-Ain Mokra, Annaba-Bouchegouf-Guelma, Khroub-Oued Zenati, Constantine-Skikda, Constantine-Sétif, Alger-Thénia, Alger-Oran, Arzew-La Macta-Mohammadia, Mohammadia-Mécheria, Oued Tlélat-Sidi Bel Abbès.

- **Programme de 1879 :**

Un programme de 1747 km de lignes nouvelles a été ajouté au réseau existant. Dans la période 1879-1906, 2035 km de lignes ont été réalisées ou entamées :

- Souk Ahras-Tébessa
- Le Kouif et embranchement vers la frontière.
- Ain-Mokra-Ramdane Djamel.
- Ouled Rahmoune-Khenchela.
- El Guerrah-Biskra.
- Bejaia et Sour El Ghozlane.
- Blida-Berrouaghia.
- Sétif-Thénia avec embranchements vers Tizi Ouzou.
- Mostaganem-Relizane-Tiaret.
- Oran-Arzew.
- Sénia-Témouchent.
- Sidi Bel Abbés-Tlemcen-frontière.
- Méchéria-Béchar.
- Tizi-Mascara.

- **Programme de 1907 :**

En 1907, un troisième programme de nouvelles lignes portant sur 1256 km est établi et vient s'ajouter au réseau existant.

Au cours de la période 1907-1946, les lignes ou tronçons de lignes suivantes, totalisant une longueur de 1614 km, ont été réalisés : Ain Beida-Tébessa, El Milia-Jijel, Biskra-Touggourt avec embranchements vers Tolga et El Oued (cette ligne classée secondaire d'une longueur de 387 km a été réalisée en plus du programme de 1256 km), Constantine-Oued Athmania, Berrouaghia-Djelfa, Tiaret-Mahdia-Cl.Bouguerra, Mascara-Mecheria avec embranchements vers Relizane, Sidi Bel Abbès-Tizi, Tlemcen-Beni-Saf, Mostaganem-La Macta.

En 1946, le réseau algérien comprend 5014 km de lignes en exploitation sans compter les embranchements miniers et les lignes de chemin de fer voire la Figure II.1

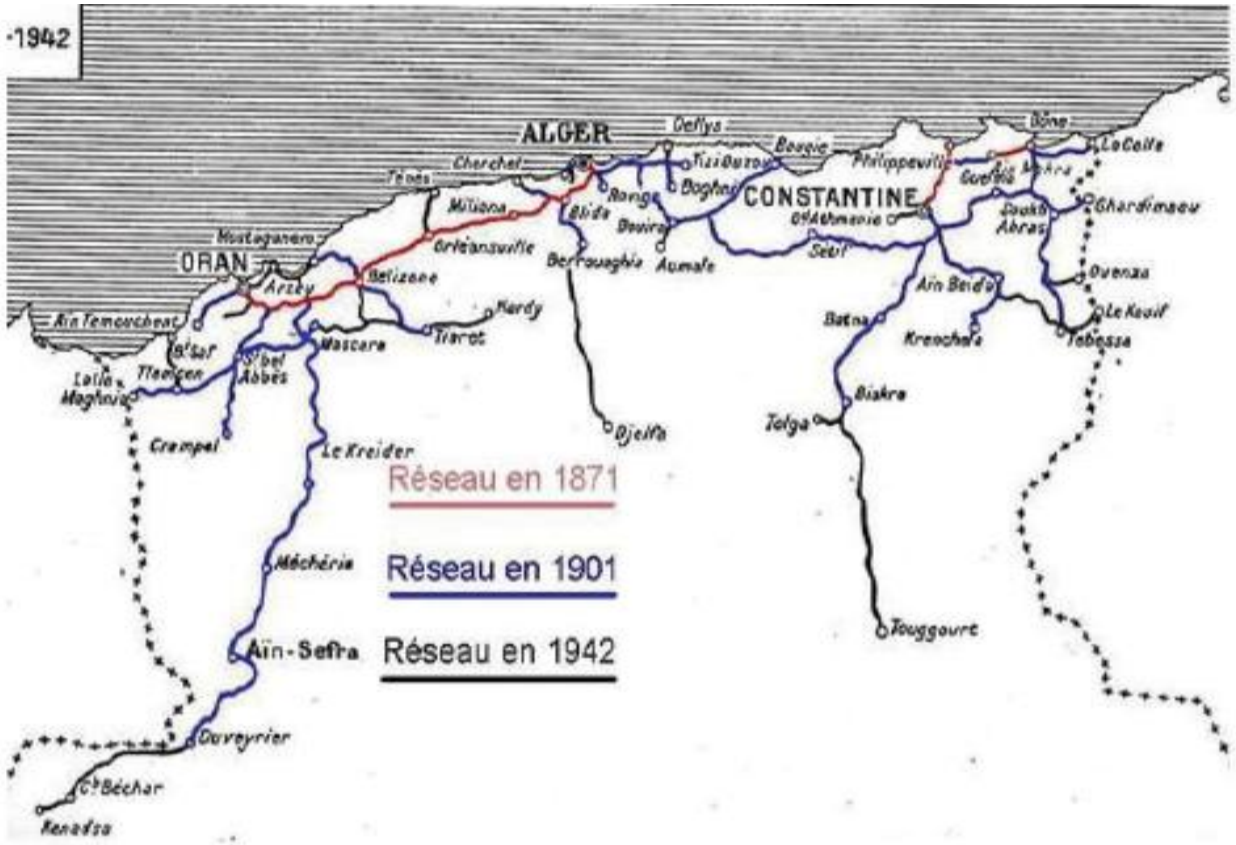


Figure II-1 ferroviaire durant l'époque coloniale.

II.3.2 Période postindépendance :

Au cours de cette période, un large programme d'investissement a été lancé. Il se caractérise surtout par la modernisation et l'accroissement de la capacité des lignes du réseau, les grands aménagements ferroviaires régionaux et l'extension géographique du réseau. Ce programme a permis les réalisations suivantes :

Lignes nouvelles : - Jijel / Ramdane-Djamel (140 km). - Dessertes des cimenteries de Beni-Saf (23 km), Saida (23 km) et Ain-Touta (15 km).

- Renouvellement complet (voie et ballast) d'une grande partie du réseau soit un total de 1400 km de voie.
- Mise à double voie de tronçons de la rocade nord (200 km).
- Aménagement, modernisation et reconstruction des gares réparties sur le réseau.
- Aménagement ferroviaire des régions d'Annaba et d'Alger (partiellement).

Le 31 mars 1976, à la fin de la concession de l'état français, l'état algérien a divisé la SNCFA en trois organismes distincts : La SNTF qui assure l'exploitation du réseau ferré algérien. l'ASNERIF chargé de la maintenance et de la construction des lignes ferroviaires; la SIF chargée du développement du réseau ferré algérien.

Dès **1999**, une attention particulière a été accordée au secteur ferroviaire :

Tableau II-1 Longueur du réseau ferroviaire (km).

Année	1996	1999	2002	2004	2005	2006	2008	2013
Chemin de fer en (km)	4820	4820	3973	3973	3973	3973	3973	4573

II.3.3 Réseau actuel :

Le réseau des chemins de fer algérien est aujourd.hui parmi les plus modernes d'Afrique. Il sert au transport de personnes et de marchandises. L'ambition des pouvoirs publics est de connecter toutes les villes d'Algérie entre elles par le réseau ferroviaire. Actuellement ce réseau est de 4498Km dont :

- Longueur des lignes en exploitation : 3750Km.
- Longueur des lignes en double voie : 553Km.
- Longueur des lignes en voie unique : 3217Km.
- Longueur des lignes électrifiées : 323Km.
- Nombre de gares en exploitation : 175.
- Nombre de haltes en exploitation : 215.
- Nombre d'Ouvrages d'Art dont l'ouverture est supérieure à 10 m : 553.
- Nombre d'Ouvrages d'Art dont l'ouverture est inférieure à 10 m : 5279.
- Nombre de tunnels : 139.
- Longueur des tunnels : 40Km.
- Nombre de passages à niveau gardé : 267.
- Nombre de passages à niveau non gardé : 959.

II.4 INVESTISSEMENT ET PROGRAMME D'EXTENSION DE DEVELOPPEMENT ET DE MODERNISATION

II.4.1 L'investissement dans le secteur :

Le réseau ferrée Algérien a connu beaucoup d'étapes depuis sa naissance jusqu'à aujourd'hui : avant 1980, le réseau complait 2649 km de lignes à voie normale et 1112 km de lignes a voie étroite (le total étant de 3761 km) , et dans sa décennie d'investissement (1980) on cite la création de 303 km de lignes nouvelles et renouvellement de la voie et ballast sur 800 km ainsi que 300 ponts et 4 tunnels.

Puis l'investissement dans la décennie 1990, le développement de 425 km de fibre optique, 277 km de lignes nouvelles et renouvellement de la voie et ballast sur 1000 km, ainsi que 200 ponts et 4 tunnels. Les figurent ci-après Schématisent sur la carte géographique d'Algérie le réseau ferroviaire algérien :



Figure II-2 le réseau ferroviaire algérien avant 1980 (SNTF).



Figure II-3 le réseau ferroviaire algérien, investissement décennie 1980 (SNTF).



Figure II-4 le réseau ferroviaire algérien, investissement décennie 1990 (SNTF).



Figure II-5 le réseau ferroviaire algérien, investissement à partir de 2000 (SNTF).

II.5 PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DU RESEAU FERROVIAIRE

Le programme ferroviaire national s'articule autour de huit (08) axes :

Axe 01 : la rocade ferroviaire nord et ses dessertes :

Elle contient les principales villes du nord du pays et va des frontières Est vers les frontières Ouest, dont les travaux de modernisation et de dédoublement s'étendent sur une distance de 1.250 kms dont 868 kms sont en cours de réalisation. Une partie de ce projet est opérationnelle à savoir celle de la région algéroise entièrement électrifiée.

Axe 02 : la rocade ferroviaire des hauts plateaux :

Il s'agit de la rocade ferroviaire des hauts plateaux qui sera parallèle à celle du nord: Longue de 1160 km, elle s'étend de la wilaya de Tébessa jusqu'a Sidi Bel Abbes, et dont 412km ont été réalisés. Il y a 748 km de cette rocade ont été lancé.

Axe 03 : ligne minière :

C'est une ligne reliant la wilaya d'Annaba (port commercial et site métallurgique) aux mines de Djebel Onk (Tébessa) sur un linéaire de 588 km, pour s'étendre vers le Sud à El-Oued et Touggourt.

Axe 04 : Pénétrante ouest :

Elle comprenant la ligne Tabia (Sidi Bel Abbes)-Bechar d'un linéaire de 580 km, elle est opérationnelle depuis plus de 6ans et permet des vitesses de parcours allant jusqu'à 160km/h, sachant que la jonction avec la wilaya de Tindouf (950 km plus au sud) fait l'objet d'études.

Axe 05 : pénétrante El Gourzi (au nord) – Hassi Messaoud (Sud) :

Il s'étend sur la pénétrante d'El Gourzi (wilaya Constantine) vers Hassi Messaoud d'une distance de 457 km, pour desservir, entre autres, le pôle pétrolier et la nouvelle ville de Hassi Messaoud, à une vitesse de 220 km/h**.**

Axe 06 : pénétrante centre :

Le premier tronçon dont les études sont en cours reliera la wilaya de Blida à la ville de Ksar El Boukhari (Médéa) sur un linéaire d'environ 100 km, tandis que le deuxième tronçon reliera les villes de Ksar El Boukhari, Djelfa et Laghouat sur 290 km.

Axe 07 : boucle sud- est :

Il est une boucle Sud-est d'une distance de 425 km qui ira de Laghouat a El Oued en passant par Ghardaïa, Ouargla, Hassi Messaoud et Touggourt.

Axe 08 : boucle sud – ouest :

Il s'agit d'une boucle de 1500 km de voies ferrées reliant toutes les villes-oasis du sud-ouest en allant de Ghardaïa jusqu'a la jonction avec la ville de Bechar. Les études de cette boucle, dont la vitesse de circulation prévue est de 220 km/h, sont en cours.

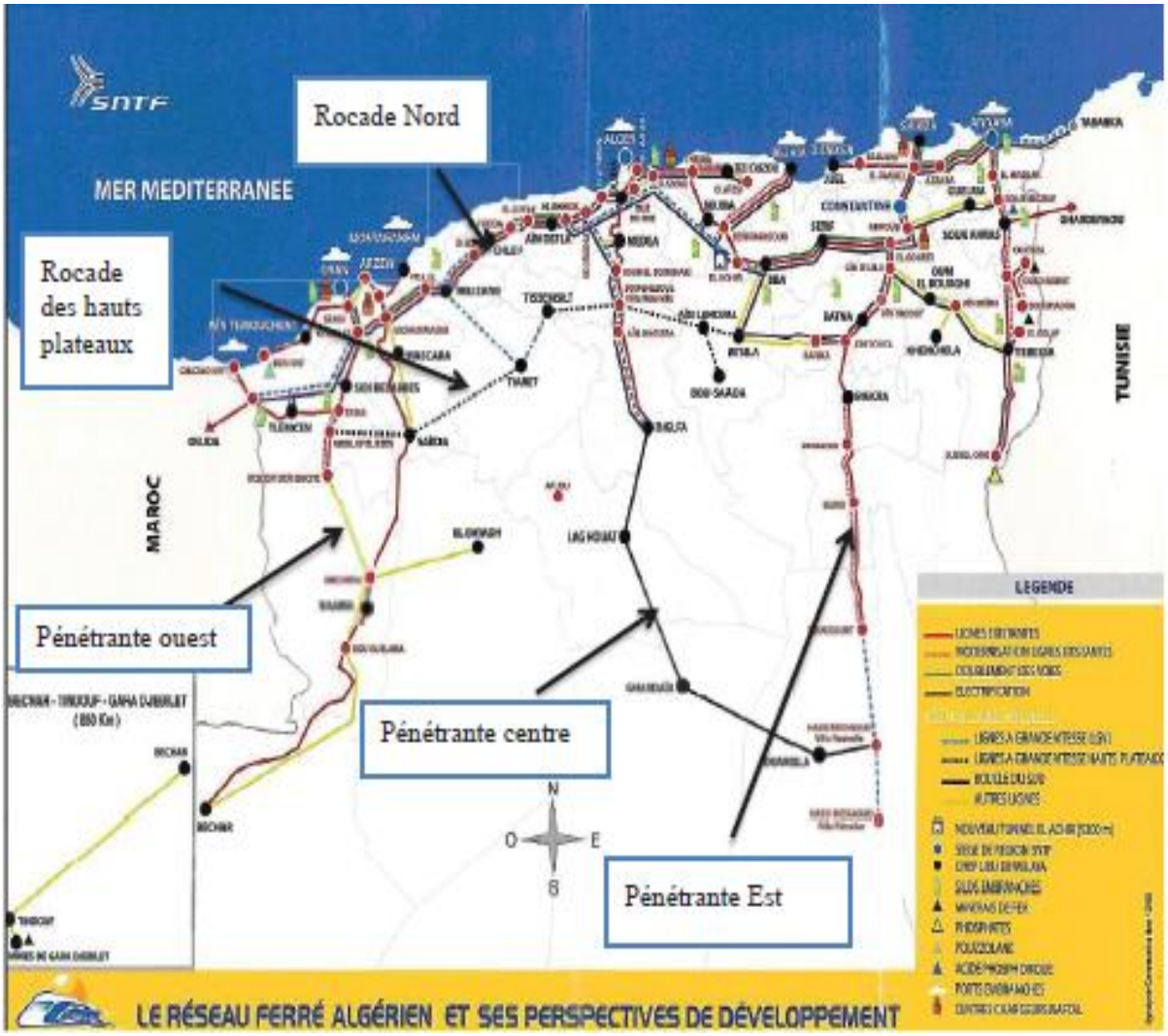


Figure II-6 le réseau ferroviaire algérien et son plan de développement (ANESRIF).

II.6 CONCLUSION

On peut conclure que la politique de l'Algérie est un peu en retard en ce qui concerne le développement des chemins de fer. Il est plus que nécessaire, pour l'amélioration des conditions de l'investissement ainsi que pour le commerce et l'augmentation des échanges entre les différentes régions dans le pays, de favoriser ce secteur.

Le projet de la rocade des hauts plateaux dans lequel s'intègre notre étude, permettra d'atteindre cet objectif et de rendre efficace le niveau de développements de l'économie du pays.

CHAPITRE III

PRÉSENTATION DE PROJET

III.1 Introduction

La situation actuelle, les prévisions urbanistiques et démographiques et la nécessité d'exploiter d'autres gisements et ressources minérales, comme aussi de satisfaire les besoins de la population à montrer la nécessité d'accélérer, d'assurer le développement du pays par le désenclavement des régions en développent le réseau de l'infrastructure du pays.

Il a été lancé un programme immense d'investissement dans le secteur ferroviaire. Plusieurs projets des lignes nouvelles et des modernisations, amélioration des paramètres des lignes des réseaux existantes sont en cours des études et déjà en réalisation.

Les projets en cours représentent un coût global de 11,4 milliards d'US dollars et sont relatifs à des opérations d'études de lignes nouvelles, d'aménagements ferroviaires régionaux, d'augmentation de capacité de lignes, de construction de gares et d'ouvrages d'arts, et de renouvellement de voies.

La carte suivante montre en complexe le programme actuel de développement du réseau ferroviaire algérien, géré par L'Agence Nationale d'Etude et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires **ANESRIF**.



Figure III-1 Le réseau ferré algérien et ses perspectives de développement.

Ce plan de développement intègre la construction d'une nouvelle ligne mixte (voyageurs et marchandises) non électrifiée à voie unique entre la ville de **Méchria** et la ville d'**ElBayadh.**

III.2 CONTEXTE GÉNÉRALE

Le projet concerne les travaux de réalisation de La nouvelle ligne mixte ferroviaire **Mécheria-El Bayadh** dans un linéaire d'environ cent trente (130) km. Pour une exploitation à 220 km/h.

La nouvelle ligne à voie unique sera construite selon les standards UIC, non électrifiée en cette phase avec les ouvrages d'art dimensionnés pour deux voies. Avec Une électrification ultérieure a été prise en considération

Ce projet situe au sud-ouest du pays.IL sert à desservir la région d'El Bayadh, et à la relier à la ligne principale mohammadia / bechar dont le tronçon mécheria / bechar Trois cent soixante (360) Km est en cours d'exploitation. Et établit la liaison de la ville d'el bayadh à mécheria et aux régions côtières du pays et constitue le premier tronçon de la liaison future possible de Mécheria à Aflou, Laghouat et Djelfa.

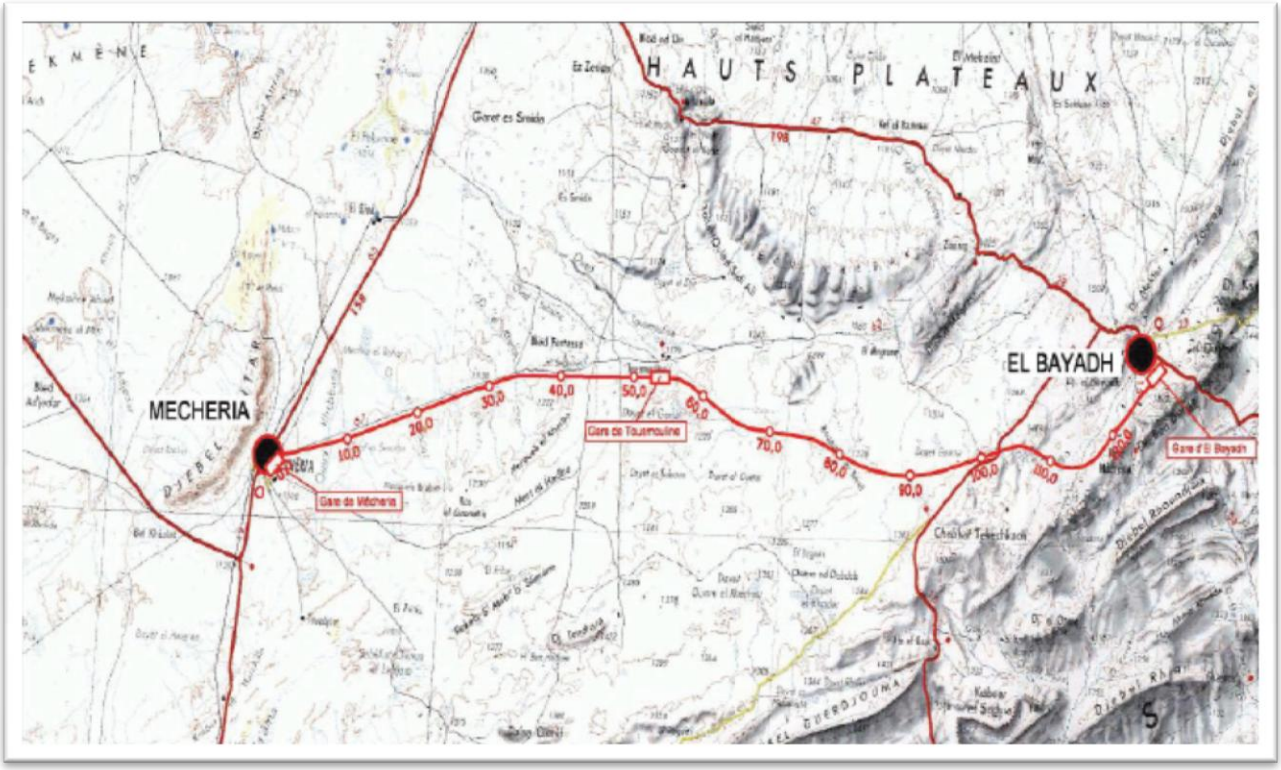


Figure III-2 Plan de localisation du projet Méchria- El bayadh.

Le début du projet est en Gare de Mecheria en PK 0+0,000 et la fin se termine enPK 129+890 avant de croiser de la RN 47 vers l'Aflou/Laghouat.

III.2.1 La nouvelle ligne ferroviaire comporte :

- ✓ Origine : Gare existante de Méchria.
- ✓ Fin : Gare d'El bayadh.
- ✓ Les Gares :
  - – Gare de croisement au **Pk 26+900 et Pk 91+100.**
  - – Gare mixte de tousmouline
- ✓ Ouvrages ferroviaires : 23.
- ✓ Ouvrages routiers : 4.

III.3 PRESENTATION DU PROJET DE FIN D'ETUDES

Notre projet de fin d'études porte sur L'Étude en phase Avant-projet détaillé (**APD**) de la ligne ferroviaire à voie unique **mécheria - el bayadh** du pk 40+000 au pk 60 +000 avec la conception de la gare de **tousmouline**.

Cette nouvelle ligne mixte est destinée au transport de marchandises et de voyageurs pour une vitesse d'exploitation à 220km/h pour les voyageurs et 80Km/h pour les marchandises.

III.4 OBJECTIF DU PROJET

- Amélioration des conditions d'exploitation « confort et vitesse ».
- Désenclavement et développement des régions.
- Amélioration des performances du chemin de fer.
- Amélioration des conditions d'approvisionnement.
- Réduction de temps de parcours.
- Un meilleur niveau de sécurité.

Pour nos études seront menées :

- La reconnaissance de cite de projet (terrain). ·
- L'optimisation du tracé en plan, profil en long, et profil en travers en considérant les contraintes hydrauliques et géotechniques ·
- Conception de la gare de **TOUSMOULINE**.
- L'étude d'impact environnemental et l'estimation du cout de projet (devis estimatif).

III.5 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

III.5.1 Mécheria:

La ville de Mécheria est une commune d'Algérie située dans la wilaya de Naâma, dans le nord-ouest algérien.

Elle est considérée comme l'un des carrefours qui relient le sud algérien à l'Oranie. Elle couvre une superficie de 736,25 km2.Elle est limité géographiquement :

- au Nord et à l'Ouest par la commune d'el-biodh.
- à l'Est par la wilaya d'El-Bayadh.
- au sud par la commune de NAAMA.

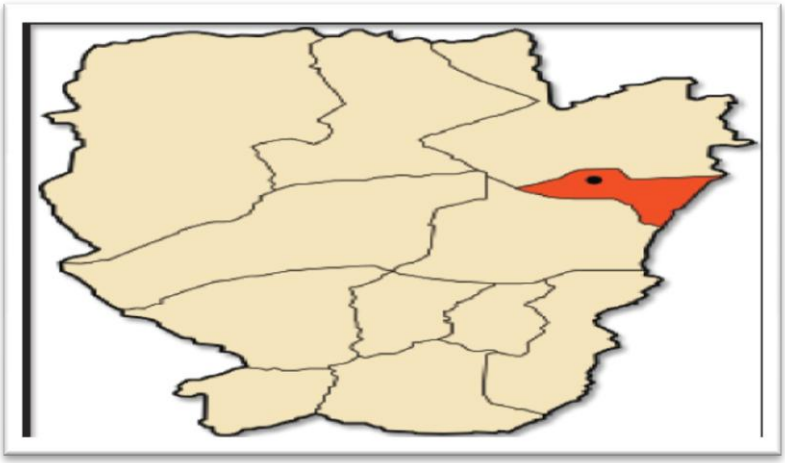


Figure III-3 localisation de la commune de Méchria dans la wilaya de NAAMA.

❖ **Démographie:**

La population totale de la ville de Méchria est estimée à 66 465 habitants, soit une densité de 90 habitants par km^2.

❖ **Relief:**

Situe entre l'extrémité des monts de ksour au nord-ouest et la région des hautes Plateaux au sud, la ville de Méchria s'étend au pied à L'Atlas saharien. Elle est recouverte par des vastes de forêts de chênes, pins d'Alep et alfa.

❖ **Climat:**

Le climat de la région de Méchria est du type méditerranéen aride à hiver frais. il est caractérise par deux saison contrastées, l'une froide et humide, qui s'étalede la fin octobre jusqu'au début Mai avec une température moyenne de 10.05°C et une pluviométrie de 147 mm, l'autre sèche et chaude, qui va de la mi-Mai à la mi-octobre avec une température moyenne de 21.77°C et une pluviométrie de 86.49 mm.

❖ **Infrastructure de base*:***

- **Réseau aérien :** La ville est desservie par l'aéroport national à 30 km environ au nord de Naâma.
- **Réseau routière :** la réalisation d'une nouvelle route reliant la zone touristique d'AinOuarka à la RN-47, aux limites territoriales avec la wilaya d'El-Bayadh, via les Oasis du ksarde Boussemghoune, l'élimination des virages dangereux et la réalisation de trois routes decontournement des villes de Naâma, Mécheria et Ain-Sefra.
- **Réseau ferroviaire :** la ville de Mechria dispose d'une ligne de chemin de fer qui relie la wilaya d'El-Bayad sur 130 km.

III.5.2 El bayadh

La wilaya d'el bayadh est située au Sud-Ouest du pays à 630 Km d'Alger, Elle couvre une superficie de 71.697 km^2 , issue du découpage administrative de 1984. Elle est comprise entre 1° et 1,02° de longitude Est et entre 33° et 33,68° de latitude Nord. Elle est délimitée:

- Au Nord : par les wilayas de Saïda et de Tiaret.
- A l'Est : par les wilayas de Laghouat et de Ghardaïa .
- Au Sud-est : par la wilaya d'Adrar.
- Au Sud-ouest : par la wilaya de Béchar.
- A l'Ouest : par la wilaya de Naâma.

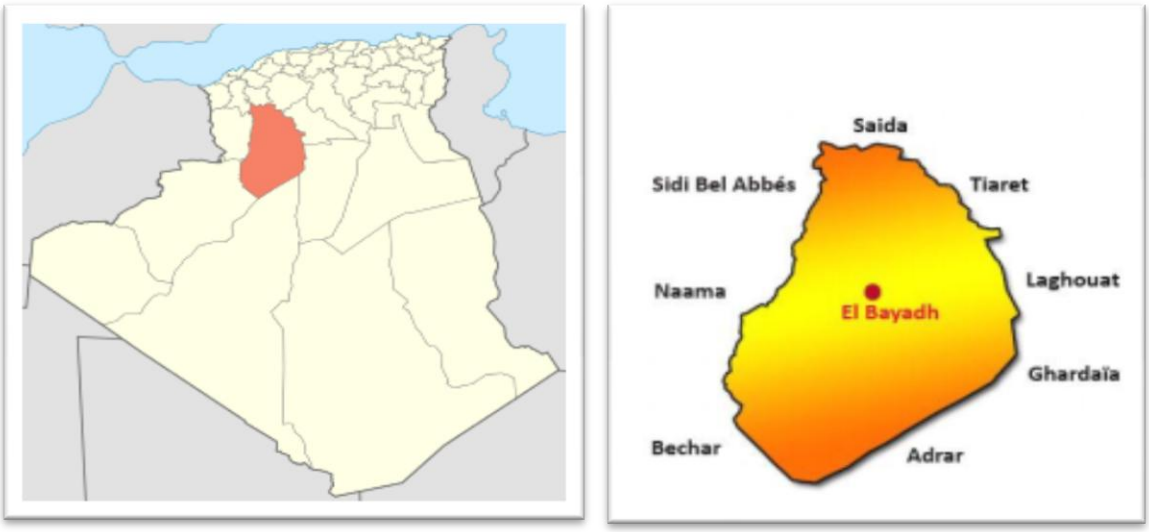


Figure III-4 Localisation de la Wilaya d'El Bayadh et ses frontières.

❖ **Démographie:**

La population de la Wilaya à fin 2010 est de 278 100 habitants, cette situation traduit une évolution importante de la population dans la mesure où en 44 ans, elle a doublée à un rythme moyen annuel absolu de 5.167 habitants selon les différents recensements de la population effectués depuis l'indépendance

Climat:

Sur le plan climatologique, la Wilaya d'El Bayadh est caractérisée par deux périodes principales qui expriment le contraste important durant l'année à savoir:

- Un Hiver rigoureux avec de fréquentes chutes de neige.
- Un Eté chaud et très sec. Ce qui favorise l'apparition des plantes résistantes à la sécheresse.

La situation dont découle des écarts thermiques brusques et importants :

- Pluviométrie : est très irrégulière et varie de 200 à 300 mm durant l'année on peut assister à plusieurs mois ou d'années de sècheresse de suite.
- Température : laisse apparaître des changements temporels (un Hiver froid de température moyenne de 6° C et un Eté chaud de 36° C).

Et une température annuelle moyenne de 14.2 °C. La moyenne des précipitations annuelles atteints 271 mm.

Relief:

Le relief de la Wilaya est constitué en grande partie de :

- Montagnes: 6.111 km²
- Collines et piémonts:10.422 km²
- Plaines:47.254 km²
- Autres: 7.910 km²

La Wilaya d'El Bayadh est constituée aussi de (03) zones distinctes qui sont :

1. **La zone des Hautes Plaines(8778 km²) :**

Composées de 06 communes. Cette zone se caractérise par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations, la gelée (40 à 60 jour) et la présence de vents chaux (sirocco) avec des périodes sèches. Sur le plan bioclimatique, cette zone fait partie de l'étage aride frais.

2. **La Zone de l'Atlas Saharien (11846 km²) :**

Composé de 13 communes. Elle présente une situation bioclimatique (semi-aride froid) et bénéficie de l'apport en eau et alluvions provenant des sommets et versants des reliefs montagneux. Les précipitations sont relativement plus importantes par rapport aux autres zones.

3. **La Zone Pré- Saharienne (51073 km²)** :

Constituée 03 communes, est la partie la plus désavantagée. Elle représente la superficie la plus importante de la Wilaya (71 % de la superficie totale).

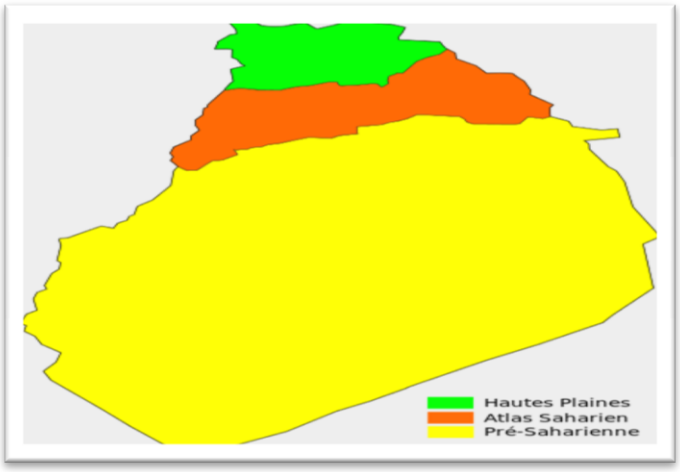


Figure III-5 La zone géographique d'el Bayadh .

III.5.3 Infrastructure de Base:

- **Réseau routier**

La Wilaya dispose d'un réseau routier d'une longueur totale de 1 355,10 km qui desserve principalement la partie Nord-Ouest vers Saida et Bechar et la partie Est vers Aflou et Laghouat. Il constitue l'ossature dorsale de ce réseau. Le réseau routier se compose de 539,50 km de routes nationales, représentant 38,40 % de l'ensemble de réseau, de 130 km de chemins Wilaya, soit 09,25 % et 735,40 km de chemins de communaux, soit 52,35 % du réseau total.

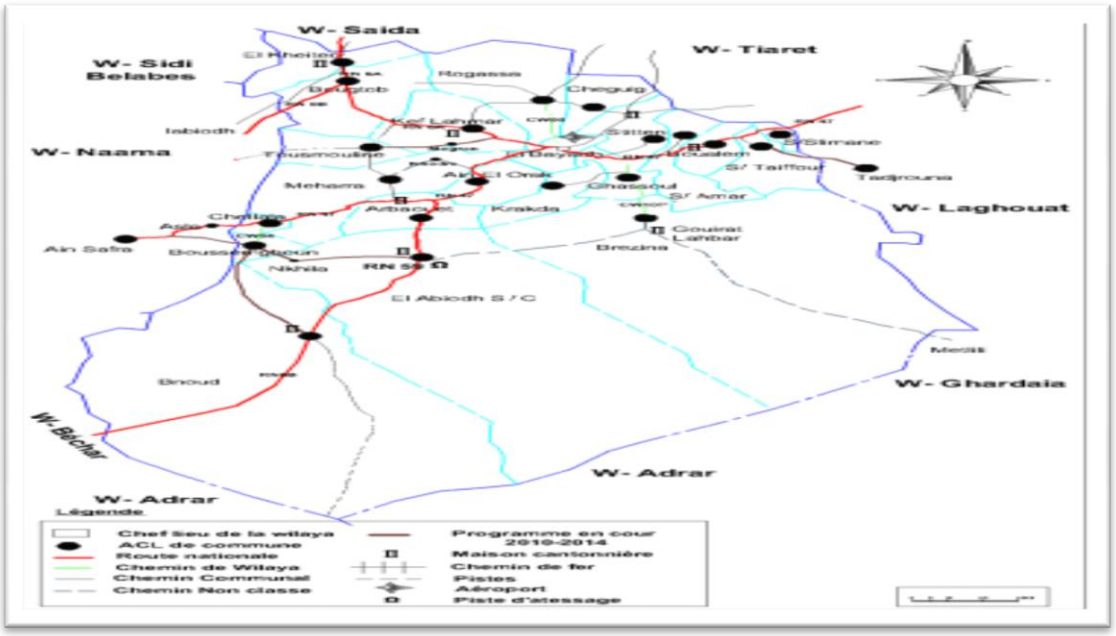


Figure III-6 Réseau Routier de la Wilaya.

- **Réseau Ferroviaire**

La wilaya est concernée par trois projets de voies ferrés :

- Ligne El-bayadh /El-bayadh prêt à être réaliser.
- Ligne El-bayadh /Saida en cours d'étude.
- Ligne El-bayadh /Aflou/Djelfa.

III.6 CARCTÉRISTIQUES DE BASE DU PROJET

- Paramètres de tracé suivant les normes UIC.
- Ligne à voie unique.
- Longueur de la ligne 130.00 km.
- Les ouvrages d'arts ferroviaires.
  - ✓ Les ouvrages en terres de hauteurs importantes (remblais) sont prévus pour double voie.
  - ✓ La ligne ne comprend aucun passage à niveau.

Trafic mixte de voyageurs et marchandises.

- Charge à l'essieu :
  - ✓ Infrastructure : 20.5t.
  - ✓ Ouvrages d'arts : 25t.
- Vitesse :
  - ✓ vitesse maximal : 220km /h.
  - ✓ Trafic marchandises en plaine et en zone montagneuse: 80km /h.
- Profil de la voie :
  - ✓ Rampes et pentes max en pleine voie : Maximale 16 ‰.

- ✓ Au niveau des gares : 0‰.

- Profil en travers :
  - ✓ Ecartement des rails (standard 1435 mm en alignement).
  - ✓ La largeur de la plate-forme en double voie est fixée à 13.6 m avec un entraxe 4.20 m.
  - ✓ La largeur de la plate-forme en voie simple est fixée à 8 m.

- Gabarit: UIC (y compris caténaire en 25 kV).
- de rails UIC 60 posés sur traverses monobloc type B70 en béton précontraint d'un poids allant jusqu'à 280 kg/ Pièce.
- Attache: Attaches Nabla.
- Signalisation de type ETCS de niveau 2 (Européen Train Control System) et de type latérale lumineuse.

III.7 CONCLUSION

Ce projet a pour but de la recherche d'un tracé économique et optimisé qui réponde aux objectifs économiques et aux besoins sociaux du pays et de la région, de plus elle doit répondre aux critères et aux normes internationales des chemins de fer.

CHAPITRE IV

GEOMETRIE DE LA VOIE

IV.1 INTRODUCTION

L'étude géométrique du tracé en plan ayant pour but d'obtenir un roulement parfait et sécurisé des wagons, avec le choix du tracé le plus économique, et qui répond aux conditions et recommandations exigées par les normes internationales ferroviaires.

IV.2 TRACE EN PLAN

Le tracé en plan d'une ligne de chemin de fer est l'un des trois éléments essentiels qui permettent de caractériser la géométrie d'une voie ferrée. Il est constitué par la projection horizontale sur un repère cartésien topographique de l'ensemble des points définissant le tracé de la voie. Le tracé en plan comporte :

- ✓ Des alignements droits.
- ✓ Des arcs de cercle.
- ✓ Des arcs de courbe à courbure progressive : essentiellement des raccordements type clothoïde.

En chemin de fer le tracé en plan est caractérisé par deux vitesses :

- $\boldsymbol{V_R}$: vitesse des trains rapides (voyageurs), $\boldsymbol{V_R = 220 km/h}$.
- $\boldsymbol{V_L}$: vitesse des trains lents (marchandises), $\boldsymbol{V_L = 80 km/h}$.

IV.2.1 Les règles à respecter dans le trace en plan :

Pour faire un tracé économique et technique, on doit respecter les règles suivantes :

- Utiliser le maximum d'alignements droits et entre deux courbes la longueur minimale est de **0.5 V (km/h)**
- Eviter le franchissement des oueds et des routes dans la mesure du possible qui nécessité la réalisation des ouvrages d'arts, dans le cas où c'était inévitable le franchissement s'effectuera perpendiculairement à sa ligne d'écoulement ou bien dans les endroits les plus étroits
- Pour les ouvrages d'art, trouver un terrain stable aux fondations.
- Suivre les courbes de niveau afin de diminuer le terrassement.
- Eviter les problèmes de talus :
  - ❖ **Talus en déblai** : éviter :
    - Présence de nappe
    - Terrains plastiques
    - Présence de roches fissurées
  - ❖ **Talus en remblai :** éviter :
    - Présence de terrain instable (pouvant être mis en mouvement par le remblai).
    - Sol très compressible.

IV.2.2 Catégorie de trafic :

On distingue les catégories de trafic suivantes :

I- lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs de 80km/h à120km/h maximum.

II-a lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs supérieures à 120 km/h et jusqu'à 160 km/h maximum

II-b lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs supérieures à 160 km/h et jusqu'à 200 km/h maximum.

III- lignes à trafic mixte, conçu pour une vitesse des trains de voyageurs supérieure à 200 km/h et jusqu'à 300 km/h maximum.

IV- lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs supérieures jusqu'à 230km/h (ou 250 km/h sur ligne aménagée) avec des véhicules présentant des caractéristiques techniques spéciales de conception (faible masse par essieu, faible coefficient de souplesse, etc.).

V- lignes spécialement dédiées aux trafics voyageurs avec des vitesses comprises entre **250 km/h** et **300 km/h**.

Dans le cadre de ce projet, la vitesse de référence est celle des trains de voyageurs (**V=220km/h**) donc la catégorie du trafic est : **catégorie III.**

IV.2.3 Eléments de trace en plan :

Un tracé en plan est constitué de trois éléments géométriques : alignement, un arc de cercle et une courbe de raccordement.

a) L'alignement (R=∞) :

C'est l'élément le plus simple et le plus favorable à l'exploitation La conception d'une voie ferrée avec des alignements longs offre un meilleur confort aux usagers ainsi que leur sécurité, donc il est recommandé d'utiliser plus d'alignement dans le tracé en plan quand la topographie de la zone le permet. Dans certains cas, on ne peut pas faire des grands rayons, on est obligé d'utiliser des rayons plus ou moins faibles mais qui correspondent à la vitesse de circulation des trains dans les courbes.

Tableau IV-1 Tableau Longueur minimale des éléments de tracé L_{min}

Valeur recommandée	$\frac{Vmax}{2}$
Valeur maximale	$\frac{Vmax}{3}$

b) L'arc de cercle (R=constant) :

Le raccordement entre les alignements se fait avec les raccordements circulaires. La valeur du rayon de raccordement est en fonction de la vitesse des trains dans la courbe. Le rayon des arcs de cercle et leurs dévers doivent permettre au minimum à un véhicule roulant à la vitesse de référence $V_R$de ne pas dérailler.

Dans certains cas, on ne peut pas faire des grands rayons, on est obligé d'utiliser des rayons plus ou moins faibles mais qui correspondent à la vitesse de circulation des trains dans les courbes.

c) La courbe de raccordement :

La géométrie des voies ferrées doit permettre une transition progressive (sans chocs) entre des éléments de tracé présentant des accélérations transversales différentes et éviter un accroissement subit de celles-ci à l'entrée d'une courbe. C'est la raison pour laquelle le passage d'un rayon de courbe, de dimension finie ou infinie, à un autre doit être progressif.

Ceci est obtenu par l'introduction d'une courbe de raccordement. Ces éléments liés aux rampes de dévers sont des contraintes importantes dans l'élaboration d'un tracé.

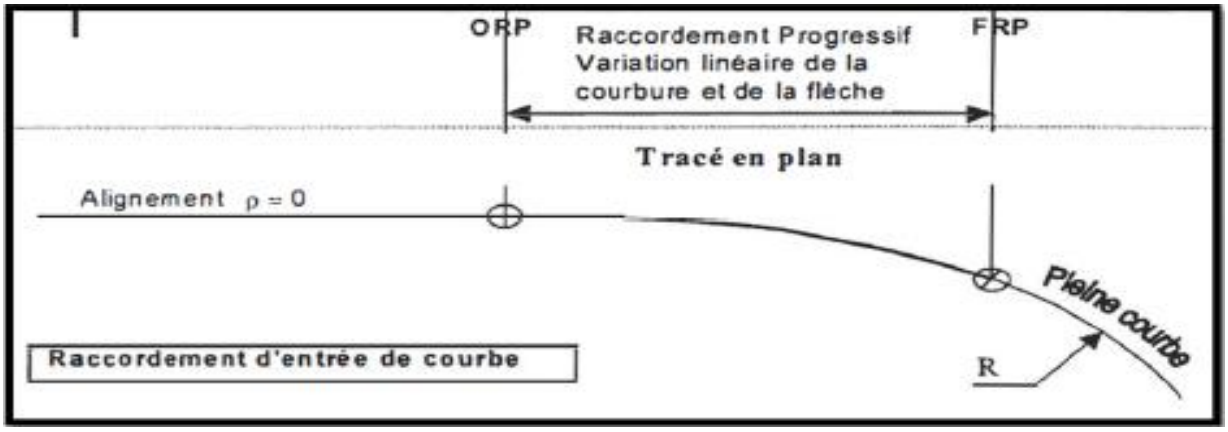


Figure IV-1 Les éléments de trace en plan.

IV.2.4 Les conditions de raccordement :

Il existe des conditions pour le raccordement qui sont :

- **Condition de gauchissement :**

On doit limiter, dans les zones de variation du dévers la pente relative au profil en long du rail déversé par rapport à l'axe de la voie.

- **Condition du confort dynamique:**

C'est pour que la progression du dévers et de la courbure assure la stabilité et le confort dynamique.

IV.2.5 Paramètres de conception de la voie :

Pour garantir la sécurité des usagers on doit prendre en considération les paramètres suivants :

- Le rayon de la courbe.
- La variation de la courbure.
- Le dévers et le taux de variation de dévers.
- L'insuffisance et l'excès de dévers.
- Longueur des éléments du tracé.

IV.2.5.1 Le rayon minimal d'alignement circulaire :

La valeur du rayon minimum admissible est limitée pour assurer, en fonction des vitesses de circulation, le confort des voyageurs et éviter que les efforts transversaux sur la voie ne soient trop importants.

Un niveau de confort sur toute une section de la ligne par une harmonisation des dévers et des insuffisances de dévers. Les rayons minimums recommandés et exceptionnels sont définis à partir de l'insuffisance de dévers admissible pour les vitesses maximales des trains voyageurs et à partir de l'excès de dévers admissible pour les vitesses minimales des trains de marchandise.

Le rayon minimum est calculé par la formule selon la formule suivante (UIC 719):

$$\frac{11.8\times v_L^2}{D_{max}-E_{max}} \geq R_{min} \geq \frac{11.8\times v_R^2}{D_{max}+I_{max}}$$

Avec :

- **Rmin** = Rayon minimum de courbe (m).
- **VR** = Vitesse des trains rapide (voyageurs) (km/h).
- **Dmax** = Dévers maximal (mm).
- **Imax** = Insuffisance de dévers maximum (mm).

IV.2.5.2 Devers d [mm] :

Comme tout mobile se déplaçant à une certaine vitesse, un train et ses passagers subissent les effets de la force centrifuge dans les courbes. Pour compenser cette attraction vers l'extérieur de la courbe, il est nécessaire d'incliner la voie vers l'intérieur.

Cette différence de niveau entre le rail extérieur et le rail intérieur d'une même voie s'appelle le dévers

-Sans dévers, les forces **P+F** (appliquées en **G**) Et $R_h + \boldsymbol{R_v}$ (appliquées en **C**) ne sont pas sur le même axe et exerce un couple de renversement.

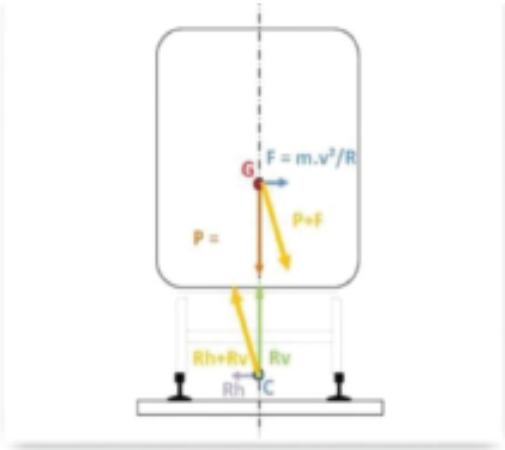


Figure IV-2 Voies sans dévers

-Avec un dévers (bien calculé) qui permet de ramener les deux forces sur le même axe, on le couple et le véhicule n'a plus de risque de renversement en courbe.

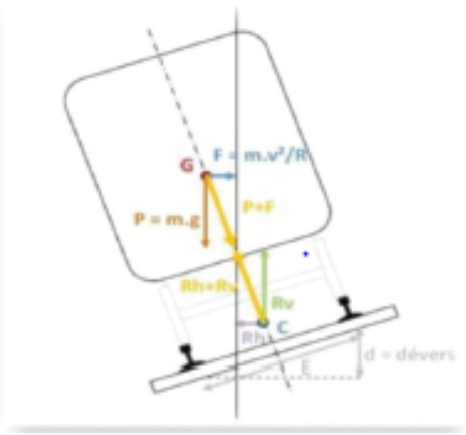


Figure IV-3 Voies avec devers.

Tableau IV-2 valeurs maximales des dévers.

Dévers maximum en (mm)		Source de référence
Limite normale	**160**	Référentiel SNTF chapitre 06. Géométrie de la voie
Limite exceptionnelle	**180**	Référentielle IC00272
Zone de quai	**110**	EN 13803-1

- **Dévers théorique (d'équilibre)d_{th}**

Le dévers théorique qui annule totalement l'effet de la force centrifuge lors d'un passage du train à une vitesse V sur une courbe de rayon R est donné par la formule suivante :

$$d_{th} = 11.8\frac{V^2}{R}$$

- d_{th} : Dévers théorique
- **R** : Rayon de courbe (m)
- **V** : Vitesse des trains rapide (voyageurs) (km/h)

Si l'on prenait pour valeur de **V** la vitesse maximale des trains de voyageurs, leur confort serait parfaitement assuré. Par contre, les boudins des roues des trains de marchandises, plus lents, porteraient sur le flan du champignon des rails de la file basse, ce qui rendrait le démarrage des trains, qui auraient dû s'arrêter dans les courbes de rayon inférieur à 1000m, difficile, sinon impossible.

La surcharge de ces rails entraînerait, en outre, l'écrasement du champignon et la formation de bavures transversales. Si on se basait sur la vitesse normale des trains de marchandises, le dévers serait nettement insuffisant pour les trains de voyageurs, ce qui se traduirait par un inconfort marqué, un chan freinage de la file haute et une fatigue anormale des attaches de celles-ci.

On adoptera donc, pour le dévers réel, une solution de compromis donnant une insuffisance (I) pour les trains les plus rapides, et un excès (E) pour les trains les plus lents.

- **Dévers Pratique dp :**

Le dévers pratique **(dp)** de la voie est inférieur au dévers théorique pour les trains lesplus rapides (voyageurs) et supérieur à ce dévers pour les trains les plus lents (marchandise).Afin de conserver l'homogénéité du confort sur l'ensemble de la ligne, le dévers pratique où dévers prescrit appliqué à la voie est donné par la formule :

$$dp=\frac{K}{R}$$

Tel que :

- dp: devers pratique
- **R**: Rayon de courbe (m)
- **K**: est le coefficient de la ligne. K=1000×C
- **C** : Coefficient de dévers $C = 0.006 \times V^2$(Norme RFF IC 00272)
  (V étant la vitesse du train le plus rapide exprimée en km/h).

IV.2.5.3 Insuffisance de devers (I) :

En pratique, on limite l'accélération transversale non compensée, afin d'assurer la sécuritédes circulations, le confort des voyageurs et assurer un coût raisonnable de l'entretien de lavoie.
La limitation de l'insuffisance de dévers I est donnée par la formule ci-dessous :

$$I = \frac{11.8 \times V_R^2}{R} - D \leq Lmin$$

Tableau IV-3 valeurs maximales admissible des insuffisances de dévers.

Insuffisance de dévers(I) Maximale admissible en (mm)		source de référence
Limite normale	**160**	Référentiel SNTF chapitre 6 Géométrie de la voie
Limite exceptionnelle	**180**	Référentiel SNTF chapitre 6 Géométrie de la voie

IV.2.5.4 Excès de devers (E) :

L'excès de dévers **E** est limité pour éviter l'usure prématurée du rail intérieur dans les courbes (pour les circulations fret donc lentes).

Il est calculé avec la formule : $E = d_p - d_{th}$

Donc : $E = d_p - \frac{11.8 \times V_l^2}{R}$

Tableau IV-4 valeurs maximales admissible des excès de dévers.

Excès de devers (E) maximale admissible en (mm)		Source de référence
Limite normale	**110**	Référentiel SNTF chapitre06. géométrie de la voie
Limite exceptionnelle	**130**	Référentiel SNTF chapitre06. géométrie de la voie

IV.2.5.5

IV.2.5.6 Variation de devers en fonction de la longueur [mm/m] :

La variation de dévers doit satisfaire aux **2** conditions suivantes :

- **$1^{ére}$condition** : en fonction de la vitesse **V** du mouvement le plus rapide :
- **$2^{éme}$condition** : en fonction des valeurs du dévers et du rayon de la pleine courbe adjacent aux raccordements considérés.

Tableau IV-5 valeurs admissibles de la variation de dévers.

Variation de dévers en(mm/m)		source de référence
Limite normale	**180/V=0.818**	Référentiel SNTF chapitre 06 Géomètre de la voie
Limite exceptionnelle	**216/V=0.982**	Référentiel SNTF chapitre 06 Géomètre de la voie

- Voie principale circulé $V = 220km/h$

IV.2.5.7 Variation des devers dans le temps $\frac{dd}{dt}$:

Pour une rampe de devers à pente constante, Une limite de la variation de dévers dans les courbes de transition est nécessaire pour que la vitesse de rotation des véhicules autour d'un axe longitudinal ne nuise pas à leur stabilité. Cette variation est donnée par la formule suivante :

$$\frac{dd}{dt} = \frac{D \times V_{max}}{3.6 \times L_{rp}} \quad \textbf{[mm/s]}$$

Où $\boldsymbol{Lrp}$ est la longueur de la courbe de transition exprimée en **(m)**

Tableau IV-6 taux de variation de dévers en fonction du temps.

Taux de variation de devers dd/dt en (mm/s)		source de référence
Limite normale	**50**	Référentiel SNTF chapitre 06 Géométrie de la voie
Limite exceptionnelle	**60**	Référentiel SNTF chapitre 06 Géométrie de la voie

IV.2.5.8 Variation de l'insuffisance de devers dans le temps $\frac{dI}{dt}$:

Cette limite permet de prendre en considération le fait que l'être humain est plus sensible aux variations d'accélération qu'aux accélérations elles-mêmes (Condition de confort).

$$\frac{dI}{dt} = \frac{I \times V_r}{3.6 \times L_{rp}} \textbf{[mm/s]}$$

Tableau IV-7 taux de variation de l'insuffisance de dévers.

Taux de variation de l'insuffisance de devers dI/dt en (mm/s)		source de référence
Limite normale	**75**	Référentiel SNTF chapitre 06 Géométrie de la voie
Limite exceptionnelle	**90**	Référentiel SNTF chapitre 06 Géométrie de la voie

IV.2.5.9 Raccordement progressive:

Le Devers augmente progressivement d'une valeur nulle en alignement, jusqu'au dévers prévu en courbe, cette progression se fait sur une longueur dite rampe de dévers.

La variation du dévers par unité de longueur où la rampe de raccordement est constante pour faciliter la pose, le contrôle et l'entretien de la voie. Pour passer d'un devers d'alignement a un devers de courbe, on surélève progressivement la file extérieure par rapport à la file intérieure et l'insuffisance ou l'excès varie jusqu'à la valeur prévue en plein courbe.

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

- **Géométrie de la courbe de raccordement :**

Les courbes de raccordement de la voie en plan doivent être conçues pour limiter la variation de l'accélération transversale non compensée (afin de répondre à des exigences de confort).

Ces courbes de raccordement de la voie en plan peuvent être réalisées de différentes manières ; la courbe la plus utilisée aujourd'hui est la clothoïde.

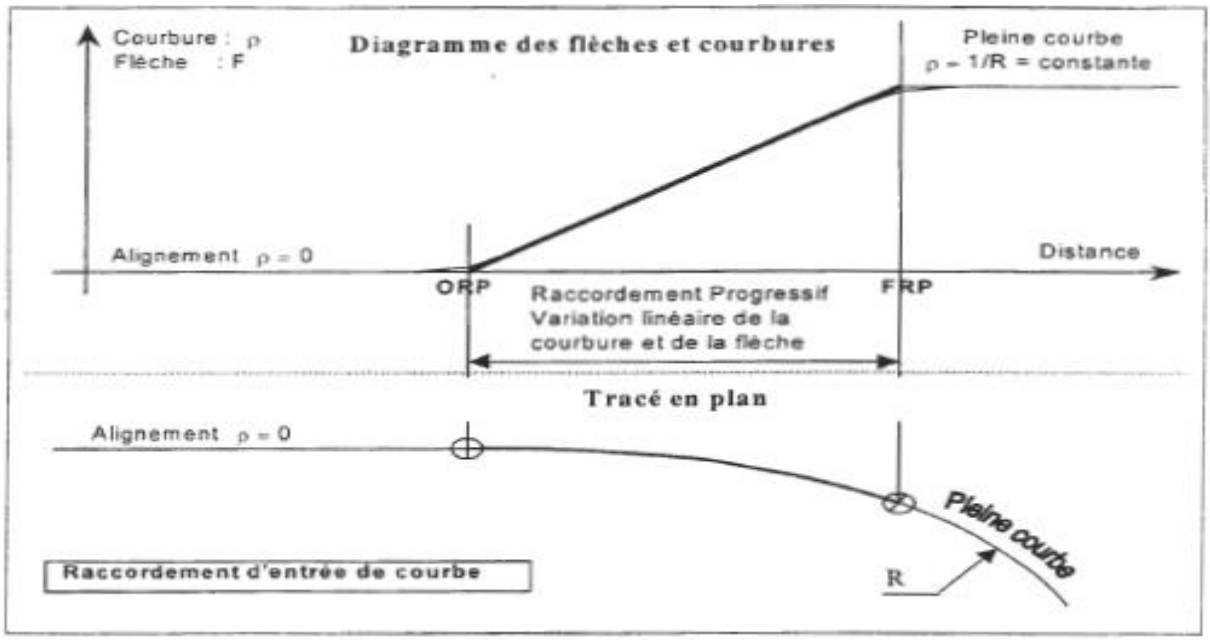


Figure IV-4 Courbe de raccordement.

- **Longueur de la clothoïde *:***

La longueur de la clothoïde doit être déterminée à partir des valeurs limites imposées parles paramètres suivants :

- Variation de l'insuffisance de devers en fonction du temps $\frac{dI}{dt}$
- Variation de dévers en fonction de la longueur $\frac{dd}{dl}$
- Variation de dévers en fonction du temps $\frac{dd}{dt}$

C'est la longueur de clothoïde qui doit satisfaire chacune des conditions de sécurité et de confort suivantes :

- $\mathbf{L} \geq \frac{Vv}{3.6} \times \Delta \mathbf{d} \times \left(\frac{\Delta d}{\Delta t}\right)_{lim}^{-1}$
- $\mathbf{L} \geq \Delta \mathbf{d} \times \left(\frac{\Delta d}{\Delta t}\right)_{lim}^{-1}$
- $\mathbf{L} \geq \frac{Vv}{3.6} \times \Delta \mathbf{I} \times \left(\frac{\Delta d}{\Delta t}\right)_{lim}^{-1}$

- **Paramètre de la clotoïde:**

Il est donnée dans la formule suivante : $A^2 = R \times L$

IV.2.5.10 Application au projet:

- **Calcul du rayon minimal :**

$$R_{min} = \frac{11.8}{I+D} \times {V_{max}}^2 R_{min} = \frac{11.8}{150+160} \times 220^2 = 1842.32\ m$$

Le calcul des paramètres géométriques est fait pour un rayon de :$R = 6600\ m$

- **Le dévers théorique$\mathbf{d_{th}}$:**

$$\mathrm{d_{th}} = 11.8 \times \frac{{V_{max}}^2}{R} = 11.8 \times \frac{220^2}{6600} \quad \rightarrow \quad \mathrm{d_{th}} = 86.53\ mm$$

- **Coefficient de dévers C :**

$$C = 0.006 \times {V_{max}}^2 = 0.006 \times 220^2 \quad \rightarrow \quad C = 290.4$$

- **Le dévers pratique $\boldsymbol{d_p}$:**

$$\boldsymbol{d_p} = \frac{1000 \times C}{R} = \frac{1000 \times 290.4}{6600}$$

$$\rightarrow \quad \boldsymbol{d_p} = 44\ mm < 160\ mm \quad \text{vérifié.}$$

- **L'insuffisance de dévers :**

$$I = \mathrm{d_{th}} - \boldsymbol{d_p} = 87.86 - 44$$

$$\rightarrow I = 43.86\ \boldsymbol{mm} < 150\ \boldsymbol{mm} \quad \text{vérifié.}$$

D'abord calcul Dévers théorique des trains lent :

$$d'_{th} = 11.8 \times \frac{{V_{min}}^2}{R} = 11.8 \times \frac{80^2}{6600} \quad \rightarrow \quad d'_{th} = 11.44\ mm$$

$$E = \mathrm{d_p} - \mathrm{d'_{th}} = 44 - 11.44$$

$$\rightarrow \quad E = 32.56\ \mathrm{mm} < 90\ \mathrm{mm} \quad \text{vérifié.}$$

- **la longueur et le paramètre de la clothoïde :**

$$L_{cl} = \frac{d_p \times V_{max}}{3.6 \times \left(\frac{\Delta \mathrm{d}}{\Delta \mathrm{t}}\right)_{ref}} = \frac{44 \times 220}{3.6 \times 50} \quad \rightarrow \quad L_{cl} = 53.77\ m$$

$$A = \sqrt{L_{cl} \times R} = \sqrt{53.77 \times 6600} \quad \rightarrow \quad A = 595.719$$

- **Variation de dévers :**

$$\frac{\Delta \mathrm{d}}{\Delta \mathrm{t}} = \frac{\mathrm{d_p} \times V_{max}}{3.6 \times L_{cl}} = \frac{44 \times 220}{3.6 \times 54} \quad \rightarrow \quad \frac{\Delta \mathrm{d}}{\Delta \mathrm{t}} = 49.79\ mm/s$$

$$\frac{\Delta \mathrm{d}}{\Delta \mathrm{t}} = 49.79\ mm/s < 50\ mm/s \quad \text{vérifié.}$$

- **Variation de l'insuffisance de dévers :**

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \times V_{max}}{3.6 \times L_{cl}} = \frac{43.86 \times 220}{3.6 \times 54} \qquad \rightarrow \qquad \frac{\Delta I}{\Delta t} = 49.63\ mm/s$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = 49.63 mm/s\ < 75\ mm/s \qquad \text{vérifié.}$$

- **Gauchissement et variation du dévers :**

$$\frac{d_p}{L_{cl}} = \frac{44}{54} \qquad \rightarrow \qquad \frac{d_p}{L_{cl}} = 0.81 mm/m$$

$$\frac{d_p}{L_{cl}} = 0.81 mm/m < 1.125 mm/m \qquad \text{vérifié.}$$

IV.3 CALCUL D'AXE

Le calcul consiste à déterminer tous les points de l'axe point par point du début de tronçons à sa fin, en exprimant leur coordonnée ou directions dans un repère fixe, et à partir par un point dont on connait les coordonnées, et il doit suivre les étapes les étapes suivantes :

- Calcul des gisements.
- Calcul de l'angle **γ**entre les alignements.
- Calcul de l'angle polaire **τ**.
- Calcul de la tangente **T**.
- Calcul de la corde polaire **SL**.
- Calcul de l'angle polaire **τ**.
- Verification de non-chevauchement.
- Calcul de l'arc en cercle.

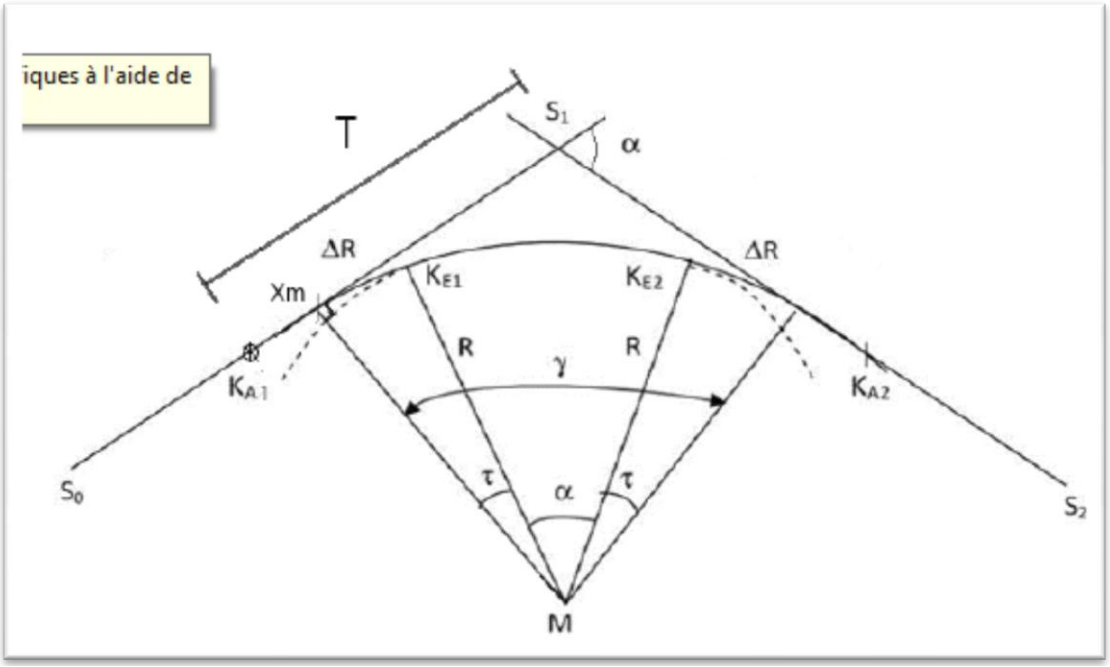


Figure IV-5 les éléments de courbe avec clothoïde.

IV.3.1 Application au projet:

$$R = 6600\ m$$
$$A = 597$$

Points	X(m)	Y(m)
S_0	251739.921	3725214.229
S_1	253886.714	3725198.081
S_2	255487.679	3724206.200

- **Calcul des distances :**

$$\Delta X_{S_0}^{S_1} = X_{S_1} - X_{S_0} = 253886.714 - 251739.921 = 2146.793 \text{ m}$$

$$\Delta Y_{S_0}^{S_1} = Y_{S_1} - Y_{S_0} = 3725198.081 - 3725214.229 = -16.148 \text{ m}$$

$$S_0S_1 = \sqrt{(\Delta X_{S_0}^{S_1})^2 + (\Delta Y_{S_0}^{S_1})^2} = \sqrt{(2146.793)^2 + (-16.148)^2} = 2146.853\ m$$

$$\Delta X_{S_1}^{S_2} = X_{S_2} - X_{S_1} = 255487.679 - 253886.714 = 1600.965 \text{ m}$$

$$\Delta Y_{S_1}^{S_2} = Y_{S_2} - Y_{S_1} = 3724206.200 - 3725198.081 = -991.881 \text{ m}$$

$$S_1S_2 = \sqrt{(\Delta X_{S_1}^{S_2})^2 + (\Delta Y_{S_1}^{S_2})^2} = \sqrt{(1600.965)^2 + (-991.881)^2} = 1883.326\ m$$

- **Calcul des gisements :**

$$G_{S_0}^{S_1} = 200 + arctg\left(\frac{\Delta X_{S_0}^{S_1}}{\Delta Y_{S_0}^{S_1}}\right) = 200 + arctg\left(\frac{2146.793}{-16.148}\right) = 100.479\ gr$$

$$G_{S_1}^{S_2} = 200 + arctg\left(\frac{\Delta X_{S_1}^{S_2}}{\Delta Y_{S_1}^{S_2}}\right) = 200 + arctg\left(\frac{1600.965}{-991.881}\right) = 135.311\ gr$$

- **Calcul de l'angle γ :**

$$\boldsymbol{\gamma} = \left|G_{S_1}^{S_2} - G_{S_0}^{S_1}\right| = |135.311 - 100.479| = 34.832\ \boldsymbol{gr}$$

- **Calcul de l'angle τ:**

$$\boldsymbol{\tau} = \frac{\boldsymbol{L}}{2\boldsymbol{R}} \times \frac{200}{\boldsymbol{\pi}} \qquad \textbf{avec} \quad \boldsymbol{L} = \frac{\boldsymbol{A}^2}{\boldsymbol{R}} = \frac{597^2}{6600} = 54\ \boldsymbol{m}$$

$$\boldsymbol{\tau} = \frac{54}{2 \times 6600} \times \frac{200}{3.14} = 0.26\ \boldsymbol{gr}$$

- **Calcul de tangent T :**

$$T = X_m + (R + \Delta R) \times tan\left(\frac{\gamma}{2}\right)$$

$$X_m = \frac{L}{2} = \frac{54}{2} = 27\ m$$

Le ripage $\Delta R = \frac{L^2}{24\,R} = \frac{54^2}{24 \times 6600} = 0.018\ m$

$$T = 27 + (6600 + 0.018) \times tan\left(\frac{34.832}{2}\right) = 1879\ m$$

- **Calcul de la distance S_0K_{A1}:**

$$S_0K_{A1} = S_0S_1 - T = 2146.853 - 1879 = 267.853\ m$$

- **Calcul de la corde S_L :**

$$S_L = \sqrt{{X_{KE}}^2 + {Y_{KE}}^2}$$

$X_{KE} = L = 54\ m$ X_{KE}: La longueur de clothoïde.

$Y_{KE} = \frac{L^2}{6\,R} = \frac{54^2}{6\times6600} = 0.073\ m$ Y_{KE}: La hauteur par rapport à l'axe.

$$S_L = \sqrt{54^2 + 0.073^2} = 54\ m$$

- **Calcul de l'angle polaire σ :**

$$\sigma = \text{arctg}\left(\frac{Y_{KE}}{X_{KE}}\right) = \text{arctg}\left(\frac{0.073}{54}\right) = 0.086\ gr$$

- **Vérification de non chevauchement :**

Pour vérifier la condition de non chevauchement il faut que: $\boldsymbol{\tau} < \frac{\boldsymbol{\gamma}}{2}$

$$0.26 < \frac{34.832}{2}$$

$0.26 < 17.416$ Condition vérifiée, pas de chevauchement

- **Calcul de α** :

$$\alpha = \boldsymbol{\gamma} - 2\,\boldsymbol{\tau} = 34.832 - 2 \times 0.26 = 34.312\ \boldsymbol{gr}$$

- **Calcul de l'arc :**

$$B = K_{E1}K_{E2} = \frac{\pi\ R\ \alpha}{200} = \frac{3.14 \times 6600 \times 34.312}{200} = 3555.41\ m$$

IV.4 PROFIL EN LONG

IV.4.1 Introduction:

Le profil en long est la projection horizontale de la cote de la file basse des rails des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé. Elle est composée généralement de la succession de pentes et rampes raccordées par des courbes paraboliques. Ces éléments représentent la ligne rouge ou ligne du projet.

Pour chaque point du profil en long, on doit déterminer les éléments suivants :

- L'altitude du terrain naturel.
- L'altitude du projet.
- La déclivité de la ligne du projet.
- Les distances cumulées.
- La valeur du remblai ou déblai.
- La position des appareils de voie des voies de raccordement.
- La position des sections neutre.

IV.4.2 Les règles à respecter dans la trace du profil en long :

Pour avoir une meilleure conception du profil en long, on doit tenir en compte les règles suivantes sauf dans des cas exceptionnels qu'il faut justifier :

- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.
- Rechercher un Equilibre entre le volume des remblais et les volumes des déblais.
- Eviter les angles rentrants en déblais pour assurer une bonne évacuation des eaux.
- Respecter les pentes nulles dans les gares, zones neutres.
- Respecter les valeurs géométriques (rayons et déclivités et longueur minimale).
- Un profil en long en léger remblai est préférable qu'un profil en long en léger déblai qui complique l'évacuation des eaux.
- Eviter une hauteur excessive en remblai.
- Dans les zones inondables, il est obligatoire de passer avec un profil en remblais dont la hauteur est supérieure à NPHE + 0.5m.

IV.4.3 Eléments géométriques du profil en long :

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

IV.4.4 Déclivité:

C'est la tangente de l'angle que fait la ligne rouge du profil en long avec l'horizontal .Elle prend le nom de pente pour les descentes et rampe pour les montées. La déclivité influence sur l'écoulement des eaux, la sécurité lors de freinage en pente et confort au démarrage de véhicule en rampe

On appelle déclivité la tangente de l'angle compris entre le profil en long et l'horizontale, elle est appelée pente pour les descentes et rampe pour les montées, elle joue un rôle important pour l'écoulement des eaux.

La déclivité admissible varie en fonction de sa longueur selon le référentiel SNTF qui stipule :

- En déclivité de longueur inférieure à 3000 m, elle ne doit pas dépasser 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 supérieure à 15000 m, la déclivité ne doit pas dépasser 13‰ et exceptionnellement 15‰.

IV.4.5 La longueur minimale des déclivités:

Afin d'éviter les sollicitations des véhicules dues aux variations successives des deux déclivités successives de sens différents.

Une longueur minimale de déclivité constante doit être respectée, donnée par la norme SNTF et résumée dans le tableau suivant :

Tableau IV-8 longueur minimale des déclivités

Valeur limite normale (m)	V/2 = 110 m
Valeur limite exceptionnelle(m)	V/2.5 = 88 m

La longueur de raccordement de déclivités doit, en principe, être d'au moins 30 m pour tenir compte des bases de nivellement des bourreuses.

IV.4.6 Rayon admissible en raccordements de profil en long :

Les pentes constituantes le profil en long sont reliées entre elle par des courbes circulaires. Les valeurs des rayons minimales admissibles en profil en long sont limitées pour tenir compte des considérations suivantes :

- Les raccordements de profil en long sont définis par des raccordements circulaires, Cela entraîne une accélération verticale brutale aux extrémités du raccordement, qui provoque une oscillation de la suspension du véhicule et perturbe le confort des voyageurs.
- Lorsqu'un véhicule franchit à une vitesse (V) un raccordement de profil en long de rayon Rv, il est soumis à une accélération centrifuge :

$$a_v = \frac{{V_{max}}^2}{12.96 \times R_V} \leq a_{v,rec}\ (m^2/s)$$

Cette accélération doit être limitée afin de ne pas perturber le confort des passagers. En conséquence, le rayon minimum adopté pour le profil en long sera également limité pour ne pas dépasser cette accélération à la vitesse maximale de circulation.

Les raccords de déclivité du profil en long doivent respecter la valeur de rayon minimum décrit dans le tableau suivant :

Tableau IV-9 Valeurs de rayon de raccordement en profil en long..

Valeur limite normale	0,35 ×V² = 16940 m
Valeur limite exceptionnelle	0,25 ×V² = 12100 m

Remarque :

Au point de changement de pente lorsque la déférence algébrique des déclivités est inférieure à 2‰ (peut être portée à 4 ‰) on ne fait pas le raccordement circulaire.

IV.4.7 Coordination profil en long-trace en plan :

Pour assurer une bonne coordination entre le profil en long et le tracé en plan, on doit respecter les conditions suivantes :

- Assurer un palier de 800 à 1200m pour l'implantation de la gare.
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe ou bien en déclivité.
- Positionner les points de changement de déclivité dans des éléments de tracé constants (alignements ou pleine courbe).
- Eviter le placement d'une courbe en profil en long immédiatement après une courbe en tracé en plan.
- En angle rentrant on doit satisfaire la condition de confort et une vitesse très grande.

IV.4.8 Exemple de calcul de profil en long :

Après la projection des pentes du profil en long on procède à l'étape suivante, qui est le calcul des coordonnées des points de tangence en coordonnées rectangulaires.

Dans les études des projets, on assimile l'équation du cercle :

$\mathbf{X^2 + Y^2 - 2R\,Y = 0}$. À l'équation de la parabole $\mathbf{X^2 - 2\,RY = 0 \Rightarrow Y = X^2 / 2R}$

Pratiquement, le calcul des raccordements se fait de la façon suivante :

- les coordonnées (abscisse, altitude) les points **A, D**.
- pente **P1**de la droite **(AS)**
- la pente **P2** de la droite **(DS)**
- le rayon **R**

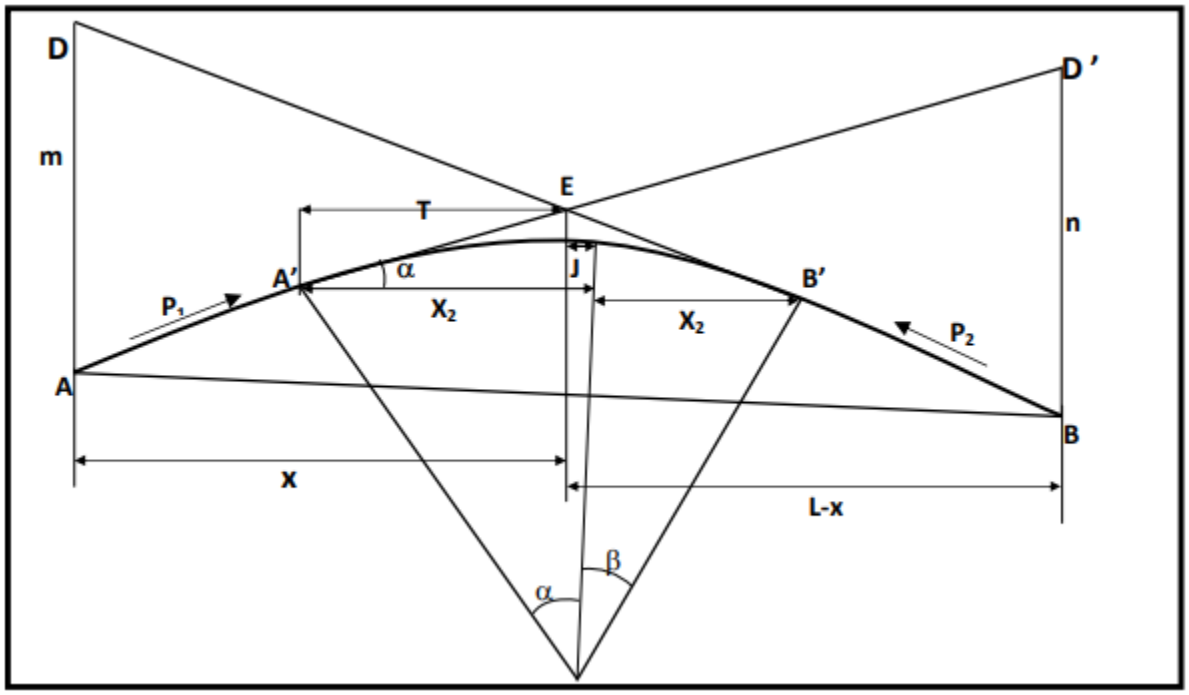


Figure IV-6 Raccordement du profil en long

- **A'** et **B'** : Extrémités du raccordement,
- **T** : Tangente de part et d'autre du sommet,
- **G** : Milieu de raccordement situé sur la variante,

- **A** et **B**: deux points connus sur P1 et P2,
- **F** : Hauteur de l'abaissement du sommet (Flèche),
- **X** : Distance entre le sommet et un point A sur P1,
- **(α + β)** : angle de variation, ou de changement de direction,
- **O** : Centre du cercle de rayon R,
- **E** : Sommet ou point de changement de déclivité
- **L** : Distance entre les deux points A et B,

Tableau IV-10 les coordonnées des points de profil en long (exemple).

Point	S (m)	Z (m)	R (m)
A	9463.7	1173.93	14000
E	11352.9	1191.43	
B	14512.8	1191.43	

➢ **Calcul des pentes :**

$$P_1 = \frac{\Delta Z_1}{\Delta S_1} = \frac{\mathbf{1191.43 - 1173.93}}{\mathbf{11352.9 - 9463.7}} = 9.31‰$$

$P_2 = \frac{\Delta Z_2}{\Delta S_2} = \frac{\mathbf{11191.43-1191.43}}{\mathbf{14512.8-111352.9}} = 0.00‰$ Au niveau de la gare

➢ **Détermination de T :**

$$T = \frac{R}{2}|P_2 - P_1| = \frac{14000}{2}|0.00 - 0.00931| = 65.17\ m$$

➢ **Calcul de la flèche F :**

$$F = \frac{T^2}{2R} = \frac{65.17^2}{2 \times 14000} = 0.1517\ m$$

➢ **Point du milieu de raccordement G :**

$$Z_G = Z_E + F = 1191.43 + 0.1517 = 1191.58m$$
$$P_{KG} = P_{KE} = 1352.9m$$

➢ **Point de début et de fin du raccordement :**

✓ **Début de raccordement A':**

$$Z_{A'} = Z_E - (P_1 \times T) = \mathbf{1191.43} - (\mathbf{0.00931} \times 65.17)$$
$$Z_{A'} = 1190.82\ m$$
$$P_{KA'} = P_{KE} - T = \mathbf{1352.9 - 65.17 = 11287.73m}$$

✓ **Fin de raccordement B':**

$$Z_{B'} = Z_E - (P_2 \times T) = 1191.43 - (0.00 \times 65.17)$$
$$Z_{B'} = 1191.43\ m$$
$$P_{KB'} = P_{KE} + T = 1352.9 + 65.17 = 1418.07\ m$$

Remarque : Les résultats du calcul manuel sont conforment à ceux du calcul automatique du logiciels qui sont joints en annexe.

IV.5 PROFIL EN TRAVERS :

IV.5.1 Définition :

Le profil en travers est une coupe dans le sens transversal perpendiculaire à l'axe de la voie projetée suivant un plan vertical en délimitant toutes les parties de la voie. On distingue deux types de profil en travers :

IV.5.2 Profil en travers type :

Est une représentation graphique, contenant et détaillant d'une manière précise tous les éléments constituant la voie notamment les dimensions de la voie, ses dépendances, la structure de la couche d'assise, sa composante ainsi que les épaisseurs.

IV.5.3 Profil en travers courant :

Il s'applique au PK indiqué, il reprend et mentionne toutes les données caractérisant la section transversale de la voie au PK considéré, notamment cote terrain naturel (TN), cote de projet .devers de la plate-forme.

IV.5.4 Les éléments du profil en travers :

- **L'emprise** : C'est la surface du terrain naturel affecté à la voie, limitée par le domaine public.
- **L'assiette** : c'est la surface du terrain réellement occupée par la voie, elle est limitée par l'intersection du terrain naturel avec les pieds de talus en remblais ou crête de talus en déblais.
- **La plate-forme** : C'est la partie sur laquelle repose la voie elle joue un rôle primordial dans la tenue de la voie. En outre, elle draine les eaux de surface pour les écouler à l'extérieur.
- **La voie** : partie affectée à la circulation des trains.
- **La berme** : Supporte des équipements (barrières de sécurité, signalisations.), sa largeur dépend de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place.
- **Le fossé** : C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la voie et talus et les eaux de pluie.

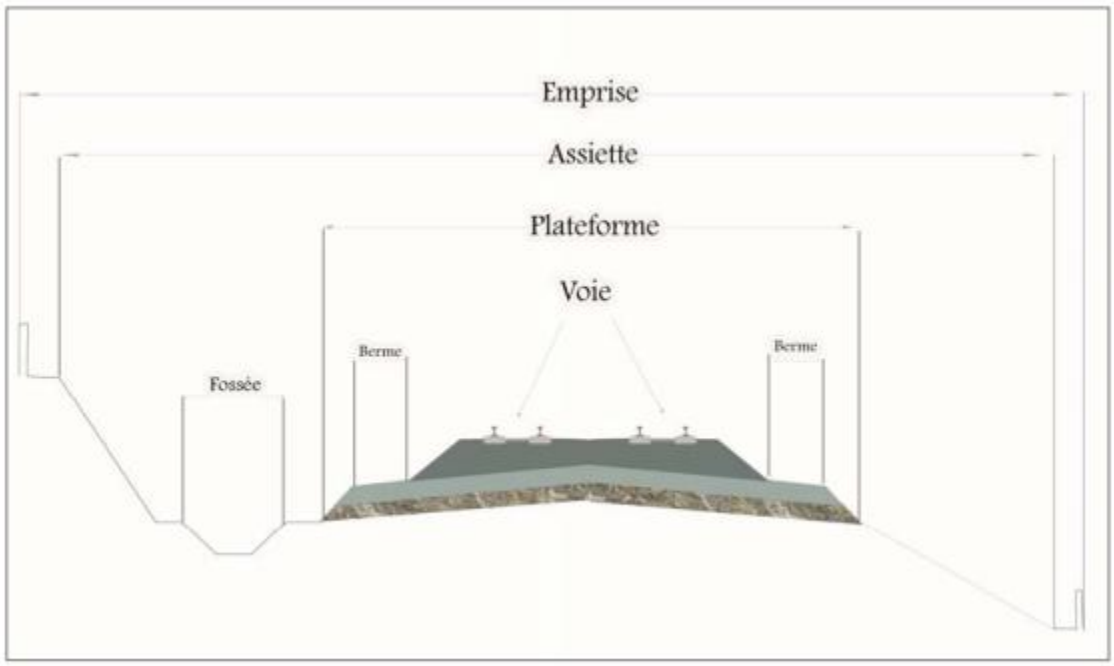


Figure IV-7 Constituants du profil en travers.

IV.5.4.1 Etablissement du profil en travers type :

En chemin de fer, le profil en travers type doit indiquer tous les éléments suivants :

- **Eléments de la superstructure :**
  - Le type de rail utilisé et la valeur de l'écartement de chaque voie.
  - Le type de travers utilisé.
  - Epaisseur de la couche de ballast.
  - La valeur du dévers maximum en courbe.
  - La longueur des butées du ballast.
  - Poteaux caténaires et caniveaux à câbles
  - La pente latérale de la couche de ballast.
- **Elements de l'infrastructure :**
  - La dénomination et les épaisseurs de chaque couche.
  - Les pentes transversales de chaque couche.
  - La pente latérale de la plateforme.
- **Elements du talus :**
  - La pente de chaque talus.
  - Les ouvrages de consolidation éventuels.
- **Elements d'assainissement :**
  - Types et dimensions du fossé ou des drains.

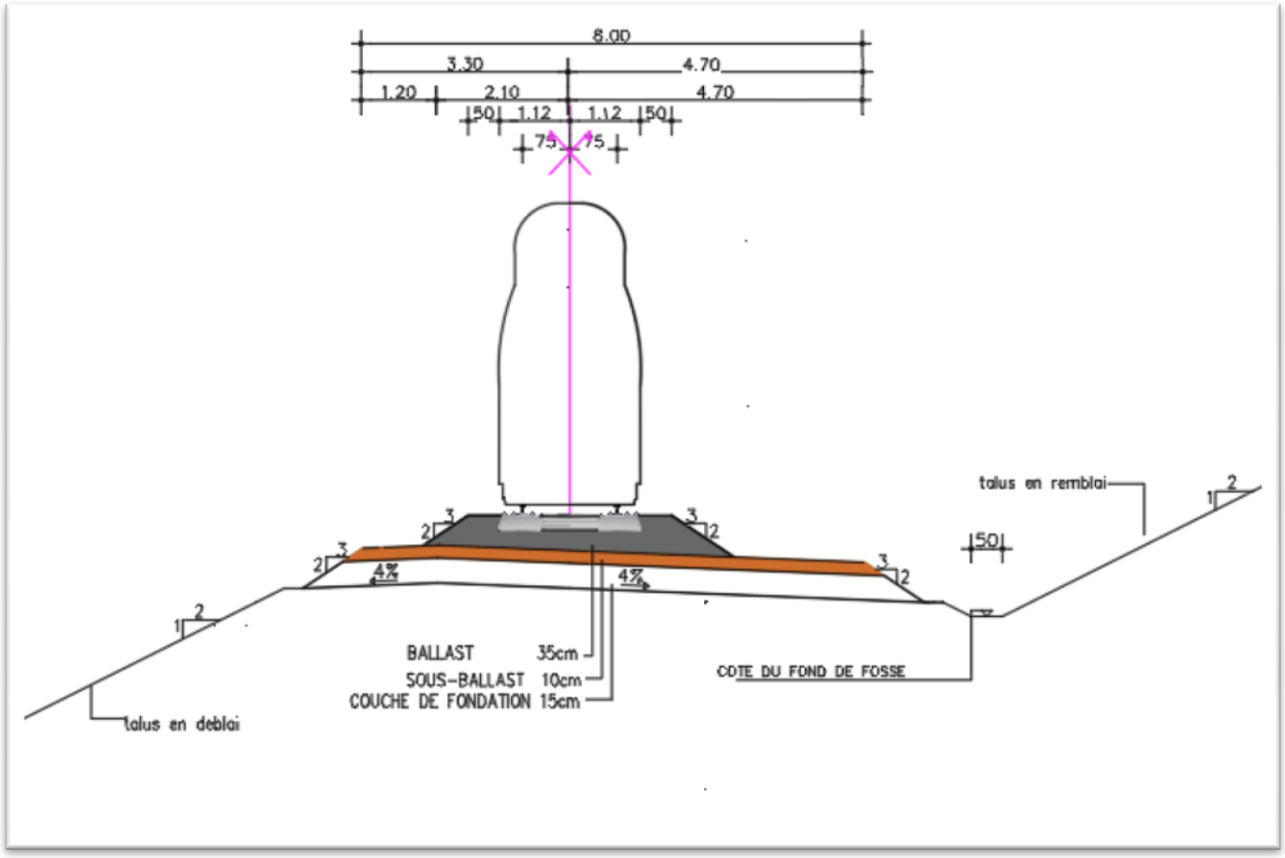


Figure IV-8 profil en travers type.

CHAPITRE V

ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQU

PARTIE A : ETUDE GEOLOGIQUE

V.1 INTRODUCTION

L'étude géologique s'avère d'une nécessite et importance indiscutable, et doit intervenir bien en amont de toute étude pour contribuer au choix du tracé, à détecter ses points critiques (durs), et à bien connaître la nature du terrain qui servira d'assise pour le projet, afin d'éviter ou du moins limiter d'éventuels problèmes pouvant se poser en phase de réalisation ou après.

V.2 ENCADREMENT GEOLOGIQUE ET TECTONIQUE DE LA REGION

Les terrains traversés par le projet Mechria-El Bayadh sont cantonnés sur un espace connu géographiquement par l'appellation des Hautes Plaines Sud Oranaises et l'Atlas Saharien (terminaison orientale des Monts des Ksour, région de Mecheria et une partie du Djebel Amour, région d'El Bayadh). Ils présentent différentes formes de relief; avec des altitudes dépassant souvent les milles mètres **(1000m)**.

La région d'El Bayadh couvre une partie de plus typique de l'Atlas Saharien entre la région occidentale des grands affleurements jurassique et celle plus orientale ou dominent les terrains crétacés. Elle forme une structure synclinale orientée N.E-SO appartenant à l'Atlas Saharien central (Djebel Amour). Cette structure est occupée par d'épaisses séries géologiques marines ou continentales du secondaire.

Sur le plan tectonique, la région fait partie de l'Atlas saharien (prolongement vers l'Est du Haut atlas marocain) qui a été plisse lors de l'Orogenèse alpine. L'Atlas saharien, barrière topographique et climatique ente l'Algérie septentrionale et le domaine du Sahara, est une chaîne intracratonique rattachée au système alpin, orienté NS et EW en moyenne et située entre deux zones très différentes :
La plate-forme saharienne stable, au Sud et les bassins telliens mobiles, au Nord.

V.3 CONTEXTE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

La ligne projetée dans le projet passe par des assises sédimentaires d'âge et de facies variés.
Elle traverse une partie de plus typique de l'Atlas Saharien, entre la région occidentale des moins accentués sont formés essentiellement par des terrains attribués stratigraphiquement au Jurassique supérieur et au Crétacé inférieur.

Dans les oueds et les dépressions s'accumulent des dépôts continentaux d'âge tertiaire, quaternaire ou actuel. Et sont comme suit :

Quaternaire : les dépôts du Quaternaire sont développés sur le long du tracé, ils sont constitués d'éboulis, de d'éluvions, alluvions anciennes et récentes et des dépôts éoliens formés de dunes de sables.

Alluvions : elles comprennent les dépôts récents qui tapissent les fonds des vallées d'oueds et ceux plus anciens qui constituent les basses et moyennes terrasses, ainsi que les fonds de dayas (Daya Roudassa, Daya Taleb…etc.). Les terrasses sont constituées d'alluvions fines brunes rougeâtres avec cailloutis ou rares poudingues non calibrés et mal roulés. Les dayas sont constituées également par des alluvions fines argilo-sableuses grises ou blanches, en généraux peu épaisses. Des formations dunaires sont à signaler ; elles sont, le plus souvent, fixées par la végétation (Alfa).

Carapace calcaire : les dépôts continentaux d'âge tertiaire sont recouverts d'une dalle calcaire, le plus souvent de structure hétérogène (calcaire à concrétions, calcaire gréseux, poudingue, conglomérat ou brèche). La carapace correspond à une fossilisation de la surface topographique des alluvions continentales tertiaire aussitôt après leur dépôt.

Tertiaire continental : il est représenté souvent par des cailloutis et poudingues à la base ou au contact des massifs jurassiques et crétacés, ce sont des poudingues plus ou moins cimentés et des cailloutis mal roulés et calibrés. Ces formations de base présentent parfois un pendage notable qui peut être le plus souvent originel mais qui témoigne d'autre fois de mouvement tectoniques contemporaine du remplissage tertiaire. Grands affleurements jurassiques et celle plus orientale ou dominent les terrains crétacés. Les reliefs.

Crétacé inférieur : il est le plus développé dans la région d'étude, le Crétacé inférieur est généralement indifférencié du sommet du jurassique, le crétacé inférieur correspond à une puissante série continentale, dépassant **1000m** d'épaisseur, de grès dur, parfois à dragées de quartz et bois silicifiés, et d'argile rouges, verdâtre, bariolée ou lie-de-vin. Il forme une importante alternance de barres gréseuses et d'inter barres (combes argileuses).

Jurassique supérieur : il correspond à une assise gréso-argileuse puissante, de couleur rougeâtre ou verdâtre. Il peut dépasser **500m** d'épaisseur.

Sur le plan tectonique, la région fait partie de l'Atlas saharien (prolongement vers l'Est du Haut atlas marocain) qui a été plissé lors de l'Orogenèse alpine. L'Atlas saharien, barrière topographique et climatique entre l'Algérie septentrionale et le domaine du Sahara, est une chaîne intracratonique rattachée au système alpin, orienté NS et EW en moyenne et située entre deux zones très différentes : la plate-forme saharienne stable, au Sud et les bassins telliens mobiles, au Nord.

V.4 LA NATURE TOPOGRAPHIQUE

V.4.1 Secteur n°1 :

Il correspond à la partie du tracé qui s'étale entre Mecheria et Tousmouline. Du point de vue géomorphologique, ce territoire est constitué de terrains plats ou à faible pente qui fait partie d'une immense plaine déprimée coincée entre le djebel Antar (1712m) au Nord et la terminaison orientale du djebel Mellah au Sud. Ces deux chaînons de montagnes sont orientés SW-NE (direction de type atlasique).

Dans ce paysage plat, le réseau hydrographique n'est pas bien marqué sur le terrain, il se présente souvent sous forme des oueds larges et moins profonds, ainsi que des cours d'eau temporaires qui bifurquent généralement vers le Nord Est et alimentant habituellement un système de Dayas (Daya Roudassa, Daya Taleb). Les crues sont parfois très violentes avec des durées très brèves.

Le climat de cette section est de type méditerranéen aride à hiver frais. Il est caractérisé par deux saisons contrastées, l'une froide et humide qui s'étale de la fin d'Octobre jusqu'au début de Mai, l'autre est sèche et chaude, qui va de la mi-Mai à la mi-Octobre.
Sur le plan géologique, la région du secteur n°1 de Mécheria-Tousmouline est constituée par trois types de formation :

- Djebel Antar (limite naturelle septentrionale du tracé) qui fait 30km de long, il correspond à un anticlinal constitué par des formations essentiellement jurassiques. Au cœur de cet anticlinal, les dépôts sont représentés surtout par des dolomitique.

Il forme un grand gisement pour les granulats.

- Les plaines sont représentées par des formations continentales d'âge Quaternaire (carapaces calcaires, dunes de sables, cailloutis, argiles, argiles sableuses). Ces formations reposent souvent sur une formation grés argileuse d'âge Jurassique supérieur.
- La présence des dunes de sable est liée, sans doute, au climat dominant, à la direction des vents et à la nature détritique des formations crétacées constituant les reliefs avoisinants (Atlas Saharien).

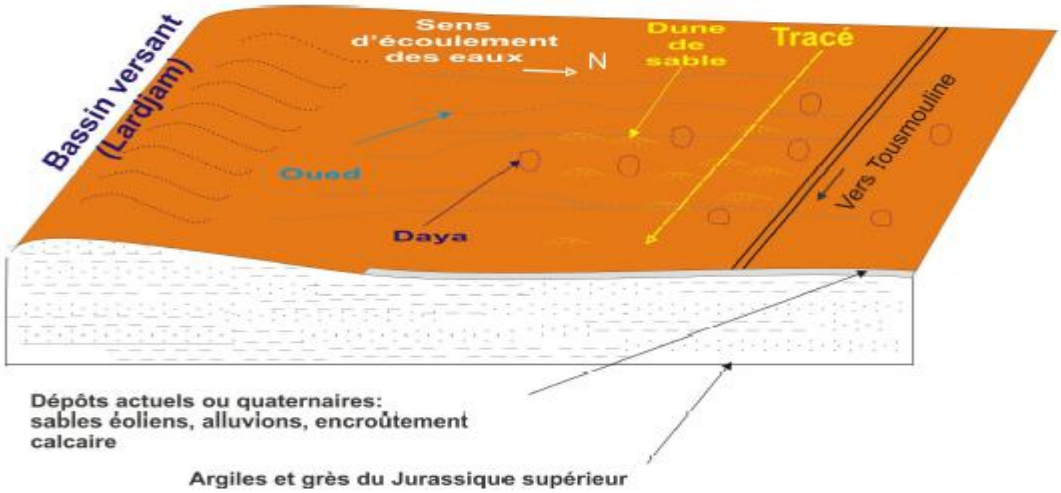


Figure V-1 Schéma hypothétique présentant l'allure générale et la nature géologique des terrains traversés entre Mecheria et Tousmouline.



Figure V -2 Vu panoramique présentant le début du projet.



Figure V -3 Vu panoramique montrant un oued qui traverse le tracé et la route reliant Mécheria-Tousmouline Notons le phénomène d'ensablement.



Figure V-4 Vu panoramique montrant une dépression topographique (zone d'inondation) traversée par notre tracé.Notons le phénomène d'ensablement.

V.5 CADRE SISMIQUE :

D'après le Règlement Parasismique Algérien (RPA 99/ Addenda 2003), publie par le Centre de Génie Parasismique C.G.S, les wilayas de Mechria et El Bayadh sont classées à la zone de sismicité faible « **Zone I** ».

Le document technique réglementaire est divisé Le territoire national en cinq **(05)** zones de sismicité croissante, définies dans le tableau ci-dessous :

Tableau V-1 la répartition de sismicité par chaque zone.

Zone 0	Zone I	Zone IIa	Zone IIb	Zone III
Sismicité négligeable	Sismicité faible	Sismicité moyenne	Sismicité moyenne	Sismicité très élevée

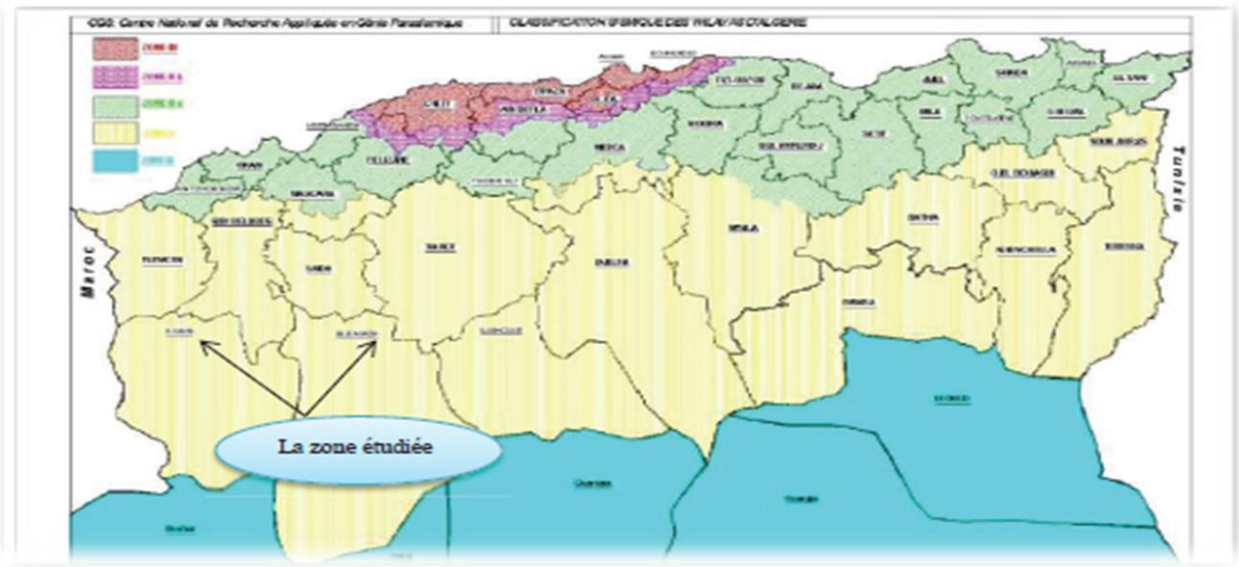


Figure V-5 représente la carte des zones sismiques de l'Algérie et le zonage.

Les coefficients d'accélération **(A)** à prendre en considération dans les calculs selon le type de l'ouvrage sont donnes dans le Tableau :

Tableau V-2 coefficient d'accélération.

groupe	Zone I	Zone IIa	Zone IIb	Zone III	Classification des ouvrages selon leur importance
1A	0.15	0.25	0.30	0.40	Ouvrages d'importance vitale
1B	0.12	0.20	0.25	0.30	Ouvrages de grande importance
2	0.10	0.15	0.20	0.25	Ouvrages courants
3	0.07	0.10	0.14	0.18	Ouvrages de faible importance

V.6 CONCLUSION

Les résultats d'identification géologique nous ont permis de faire connaissance avec les formations géologiques de notre zone d'étude dominée par le groupe de crétacés inferieurs et des quaternaires caractérisés par des matériaux argileux, limoneux et marneux.

PARTIE B : ETUDE GEOTECHNIQUE

V.7 INTRODUCTION

L'étude géotechnique doit connaitre les caractéristiques globales des sols de la plateforme, avec classification des sols de diverses manières, afin de prévoir le comportement géotechnique des différentes formations que va traverser le projet du chemin de fer.

La reconnaissance géotechnique du sol est une opération qui consiste, grâce à des mesures issues d'essais normalisés, à déterminer leur nature et à dégager ses caractéristiques physiques, et pour cela on doit déterminer :

- Les paramètres de nature qui sont intrinsèques au sol et traduisent les propriétés Physiques de ce sol.
- Les paramètres d'état qui donnent, à un instant donné, la répartition des phases d'un sol entre elles et l'arrangement des grains de la phase solide.

V.8 ESSAIS IN SITU

V.8.1 But des essais in situ :

Il consiste à introduire un instrument en un point précis d'un forage pour y mesurer les caractéristiques d'un sol ou d'une roche.
Les essais in-situ sont des mesures physiques directement sur le terrain.

Ils sont principalement:

- L'essai pressiometriques (réalise dans un sondage).
- L'essai pénétrométrique (mesure directe de résistivité du sol par enfoncement d'une pointe).
- Des essais de vérification de compacte de terrain (essai de plaque, pénétromètre léger type Panda).

V.8.2 Sondage carotté:

- **Réalisation pratique des sondages carottiers :**

Les sondages carottés seront réalisés au droit des gares et des zones des déblais et des remblais d'une hauteur importante (supérieurs à 10 m), équipes par des piézomètres.

Ils ont été réalises a l'aide de deux (02**)** machines de forage, par le procède rotatif non destructif.
L'échantillonnage des sols a été fait à l'aide de carottiers simple et double, de diamètres 101mm et 86 mm.

Durant le battage on note trois (03) enfoncements successifs :

- L'enfoncement de mise en place : c'est l'enfoncement du carottier sous son poids propre et sous celui de train de tige et du dispositif de battage.
- L'enfoncement d'amorçage (de commencement) : le carottier est enfoncé de 15cm sous l'effet de $\boldsymbol{N_0}$ coups de mouton.
- L'enfoncement de l'essai : le carottier est enfoncé de deux fois 15 cm sous l'effet de $\boldsymbol{N_1}$ puis $\boldsymbol{N_2}$ coups de mouton.
- L'enfoncement de l'essai : le carottier est enfonce de deux fois 15 cm sous l'effet De$\boldsymbol{N_1}$ puis $\boldsymbol{N_2}$ coups de mouton.

- Le nombre $\boldsymbol{N}$=$\boldsymbol{N_1}$ +$\boldsymbol{N_2}$ est appelé résistance à la pénétration (au carottier standard), il est noté $\boldsymbol{N_{spt}}$.

L'essai doit s'arrêter si Nombre de coups est > 50 pour enfoncer 10cm (ou nombre de coups est > 100 pour enfoncer 20cm), on considérer ces cas comme refus (rencontre de bloc, sol dense ou roche-mère).

- **Mesure des niveaux piézométriques**
  (Niveau de la nappe phréatique par rapport au terrain naturel) :

En vue de la vérification d'une éventuelle présence d'eau dans le sol, des piézomètres **(**NF P 94-119) ont été installés pour repérer son niveau et suivre ses fluctuations dans le temps. Les niveaux de l'eau souterraine relèves durant les périodes de la campagne d'investigation géotechnique sont présents dans le tableau suivant :

Tableau V-3 récapitulatif des niveaux de l'eau souterraine

Désignation	Profondeur du forage(m)	Pose piézomètre en (m)	Niveau d'eau(m)
F-09-SB	10	10	6.51
F-10-SB	20	20	7.45
F-01(exe)-SB	10	10	4.33
F-11-SB	15	15	5.26

V.8.3 Puits de reconnaissance :

- **Réalisation pratique des puits de reconnaissance :**

Les puits de reconnaissance devront atteindre des profondeurs de l'ordre de 3 à 4m, ou aller jusqu'a la profondeur limite du bras mécanique de la retro-excavatrice, leur implantation sera essentiellement a l'emplacement des ouvrages de drainage et les zones de déblais et remblai.
Cet essai permet de :

- Vérifier la nature des matériaux d'excavation et leurs conditions de réutilisation dans les remblais.
- Identification géo-mécanique afin d'examiner la portance des terrains et de préciser les types des fondations.
- Reconnaitre surtout la qualité des matériaux d'assise au niveau des plates formes.

V.8.4 Sondage pressiometriques :

- **Conception et description du pressiométre :**

Le pressiométre MENARD comprend deux parties principales :

- **La sonde :** elle se compose de trois cellules (cellule centrale et cellule de garde) indépendantes montes autour d'une âme métallique.
- **Contrôle pression-volume (CPV) :** c'est le dispositif qui permet de dilater la sonde et mesurer les pressions et les volumes d'eau injectés.

V.9 ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD

- **Description du pénétromètre dynamique :**

Un pénétromètre dynamique est un appareil constitué essentiellement par un train de tige, à l'extrémité inferieure du quel est placée une pointe conique d'un diamètre supérieur a celui du train de tiges.

Ces appareils ont pour particularité de comporter un dispositif qui permet d'injecter une boue benthonique dans l'espace annulaire entre le train de tige et le sol au fur et à mesure de la pénétration dans le terrain, évitant ainsi le resserrement ou l'éboulement du sol par la tige.

V.10 ESSAIS AU LABORATOIRE

A partir des échantillons de terrain prélevés des puits et des sondages carottés, les essais de laboratoire suivants ont été réalisés :

❖ **Selon la nature :**

V.10.1 Analyses granulométrique du sol :

- **Par tamisage à sec après lavage :**

Il s'agit du tamisage qui permet de distinguer sols fins, sols sableux (riches en fines) et sols graveleux (pauvres en fines)...etc. les résultats de l'analyse granulométrique sont donnes sous la forme d'une courbe dite «courbe granulométrique».

- **Par sédimentométrie :**

L'analyse granulométrique d'un sol par la méthode de sédimentation s'applique sur les particules passant au travers d'un tamis maille carre de 0.080mm, elle complète donc l'analyse granulométrie par tamisage.

V.10.2 Essai au bleu méthylène :

Le bleu du méthylène est un colorant organique (Bleu) utilisé dans différents domaines de science. Il est utilise dans la géotechnique pour caractériser un sol contenant de l'argile.
Il s'agit d'évaluer la richesse en argile d'un sol en déterminant sa capacité a absorbé les molécules du bleu de méthylène.

V.10.3 Essais limites d'Atterberg :

Limite de plasticité (W_p) et limite de liquidité (W_l), ces limites conventionnelles séparent les trois états de consistance du sol : W_p sépare l'état solide de l'état plastique W_l et sépare l'état plastique de l'état liquide ; et a partir des limites d'Atterberg, on peut calculer :

- Indice de plasticité : $\boldsymbol{I_p = W_p - W_L}$.
- Indice de consistance : $\boldsymbol{I_c = (W_p - W)/I_p}$.

V.10.4 Analyses chimique des sols :

L'analyse chimique est une procédure visant à caractériser la composition et les qualités chimiques d'un sol. Une analyse chimique de base comprend la mesure de pH eau, de la matière organique, du calcaire total, du sulfates et chlorure.

Resultants des essais :

Concernant les résultats de cet essai sur les échantillons de terrain prélevés des puits et des sondages carottés sur le tracé, ils sont résumés dans les tableaux V-9 et V-10, et représentés en détail dans **l'Annexe.**

- **Selon l'état hydrique :**

V.10.5 Essai teneur en eau :

On désigne par teneur en eau la quantité d'eau contenue dans un échantillon de matière.
Détermination la teneur en eau naturel exprimée en **(%)** et la masse volumique des sols fins :

$$W = \frac{M - M_s}{M_s} = \frac{M_w}{M_s}.$$

V.10.6 Essai Proctor :

L'essai pour but de déterminer une teneur en eau optimale afin d'obtenir une densité sèche maximale lors d'un compactage d'un sol, cette teneur en eau ainsi obtenue est appelée :

Optimum Proctor.

V.10.7 Essai CBR :

Le California Bearing Ratio test (CBR) est un essai de portance, il nous permet de réaliser la caractérisation mécanique des sols. Il mesure la résistance à l'effort tranchant d'un sol et le gonflement du sol lorsqu'il est immerge dans l'eau. Il nous permet de calculer la portance du sol, en estimant sa résistance au poinçonnement.

- **Resultants des essais :**

Concernant les résultats de ces essais sur les échantillons de terrain prélevés des puits et des sondages carottés sur le tracé, ils sont résumés dans les **tableaux V-9 et V-10** et représentés en détail dans **l'Annexe.**

- **Selon les paramètres mécaniques de comportement :**

V.10.8 Essai de cisaillement rectiligne :

L'essai a pour objectif de mesurer au laboratoire les caractéristiques de plasticité (rupture) d'un échantillon de sol soumis a un cisaillement direct selon un plan impose, a une vitesse suffisamment lente.

L'essai permet de déterminer les valeurs de l'angle de frottement et la cohésion **'C'**.

V.10.9 Essai de compressibilité à l'odomètre :

Cet essai de compressibilité a l'odomètre s'applique sur les sols fins et matériaux fin cohérents.

- **Résultats de l'essai :**

Concernant les résultats de ces essais sur les échantillons de terrain prélevés des puits et des sondages carottés sur le tracé, ils sont résumés dans le tableau **V-9** et représentés en détail dans **l'Annexe.**

V.11 CLASSIFICATION DES SOLS SUR LE LONG DU TRACE

Dans cette partie on va classer les sols traversés par notre tracé selon le fascicule GTR et le code UIC 719R, afin d'apprécier la qualité du sol support. Les résultats de classification sont représentés dans les tableaux V-9 et V-9.

La qualité d'un sol dépend de deux paramètres ci-après :

- La nature géotechnique du sol.
- Les conditions hydrogéologique et hydrologique locales.

On distingue quatre classes de qualité $\boldsymbol{Q_{si}}$ de sols ci-après :

- ✓ $\boldsymbol{Q_{s0}}$: sols impropres a la réalisation d'une plateforme correcte et nécessitante certaines mesures confortatives (remplacement de matériaux sur une certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation de géotextiles, renforcement par pieux, etc.)
- ✓ $\boldsymbol{Q_{s1}}$**:** sols médiocres acceptables tels quels, dont on doit toujours se préoccuper du bon drainage. Ces sols peuvent éventuellement être transformés en sols de meilleure qualité par un traitement approprié.
- ✓ $\boldsymbol{Q_{s2}}$**:** sols moyens.
- ✓ $\boldsymbol{Q_{s3}}$**:** bon sols.

D'après la fiche UIC 719R les sols sont classes comme le montre le tableau :

Tableau V-4 classement du sol (UIC 719R).

Classification des sols (identification géotechnique)	Classe de qualité des sols
0-1- Sols organiques 0-2- Sols fins, foisonnés, humides et dons non compactable. 0-3- Sols thixotropes. 0-4- Sos comportant des matériaux solubles. 0-5- Sols comportant des matériaux polluants. 0-6- Sols mixtes.	**QS_0 « sols impropres»**
1-1- Sols comportant plus de 40% de fines. 1-2- Sols très évolutives. 1-3- Sols comportant plus de 15% à 40% de fines. 1-4- Roches évolutives. 1-5- Roches tendres.	**QS_1 «sols médiocres »**
2-1- sols comportant de 5% à 15% de fines. 2-2- sols comportant moins de 5% de fines mais uniformes. 2-3- roches moyennement dures.	**QS_2 «sols moyens»**
3-1- sols comportant moins de 5% de fines. 3-2- roches dures.	**QS_3 «bons sols»**

Tableau V-5 définition de la classe de la qualité des sols (NFP113005).

Classification de la norme NFP11300			Classe de qualité des sols			
classe	désignation	Sous-classe	QS_0	QS_1	QS_2	QS_3
A	Sols fins	A_1	A_{1h}	A_{1m} et A_{1s}	A_{1s} (B.C hydro saison sèche)	/
		A_2	A_{2h}	A_{2m} et A_{2s}	A_{2s} (B.C hydro saison sèche)	/
		A_3	A_{3h}	A_{3m} et A_{3s}	/	/
		A_4	A_{4h}	A_{4m} et A_{4s}	/	/
B	Sols sableux et graveleux avec fines	B_1	/	/	/	/
		B_2	B_{2h}	B_{2m}	B_{2s} (B.C hydro)	/
		B_3	/	/	/	Propre et bien gradue dureté élevée
		B_4	B_{4h}	B_{4m}	B_{4s}	Propre et bien gradue Dureté élevée
		B_5	B_{5h}	B_{5m}	B_{5s}	/
		B_6	B_{6h}	B_{6m}	B6s (B.C hydro)	/
C	Sols comportent des fines et de gros éléments	C_1	La classe de qualité est celle de fraction 0/50			
		C_2	Fraction 0/50 de classe de qualité QS_0 $W \geq 1.25W_{opm}$	Fraction 0/50 de classe de qualité QS_0 $W \leq 1.25W_{opm}$	Fraction 0/50 de classe de qualité QS_1	Propre et bien gradue dureté élevée

Unité géotechnique

EN	Encroutement Calcaire
ARG	Argile
Gr	Grés
Ca	Calcaire

AGL	Argile limoneuse
AGS	Argile sableuse
AG	Argile grisâtre
LS	Limon et sable

NM : essai non mesurable

Tableau V-6 la classification des sols selon GTR et UIC 719R à partir des sondages carottiers.

N° forage	PK	Profondeur (m)		Nature des sols		Parameter physique				Analyses granulemrique				Limits d'atterberg				Valeur Au bleu	Essai Oedometrique					Cisaillement CD		Cisaillement UU		Comp simple	analyse chimique					Classification	Classification
		De	a		Unite geo	Wa (%)	γh (t/cm³)	γd (t/cm³)	Sr (%)	D_{max} (mm)	<2mm	<80 µm	<2µm	W_L (%)	W_P (%)	IP (%)	Ic (%)	VBS	PC (bar)	CC (%)	Cg (%)	CS (%)	Cu (bar)	φ (%)	Cu (bar)	φ (%)	Rc (bar)	PH	Sulfat SO3 (%)	Carb-onat $CaCO_3$ (%)	Clorur CL (%)	GTR	UIC 719R
F09	41+815	01	09	argile	ARG	12.68	2.11	1.87	80.55	32.5	72.86	31.74	15.42	/	/	/	/	1.18	0.88	13.19	12.15	2.60	/	/	1.12	13	/	8.2	0.15	3.96	0.07	B_{55}	QS2
		09	10	Grès	Gr	/	2.45	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	406.8	/	/	/	/	R_{42}	QS2
F10	44+140	0.40	07	Sable argileux	AGS	11.54	2.19	1.96	86.87	30.5	55.20	20.19	12.52	/	/	/	/	0.51	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	/	/	/	/	/	R_{34}	QS1
		07	10	Calcaire	Ca	/	2.61	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	407.6	/	/	/	/	R_{23}	QS2
		15.5	20	Grès	Gr	12				3.5	66.57	41.87	5.81	/	/	/	/	0.6	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	R_{42}	QS2
F01 (exe)	53+966	1.95	06	Calcaire	Ca	/	2.54	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	408.6	/	/	/	/	R_{34}	QS1
F11	54+635	08	15	Argile	ARG	14.62	2.12	1.85	89.60	5.5	99.96	68.23	38.10	32	15	17	/	/	2.55	13.3	3.07	2.16	0.22	37	0.25	33	/	/	/	/	/	A_{28}	QS2

Tableau V-7 la classification des sols selon GTR et UIC 719R à partir des puits de reconnaissance

Puits	PK	Profondeure (m)		Nature des sol		Analyses granulemrique				Limits d'atterberg				Valeur Au bleu	Essai de Proctor		Essai de CBR			Classification	Classification
		De	a		W_a (%)	D_{max} (mm)	<2mm	<80µm	<2µm	WL (%)	WP (%)	IP (%)	Ic (%)	VBS	W_{op} (%)	γ_{dmax} (t/cm³)	CBR (10c)	CBR (25c)	CBR (56c)	GTR	UIC 719R
PR10	41+225			Sables et graves très silteux	9.80	20.35	42.50	15.60	/	/	/	12.77	2.55	0.30	18.10	1.70	/	/	/	C1B5	QS2
PR11	42+763	0.00	0.80	blocs et fragments caillouteux et sables argileux	7.6	80	58.02	36.31	4.50	/	/	/	/	0.90	13	1.88	4	16.50	26.80	R34	QS2

V.12 CONCLUSION

Les essais géotechniques nous ont permis de connaitre les caractéristiques intrinsèques pour la classification GTR, en effet nous avons obtenu des sols entre A, B, C et R. L'état hydrique est entre moyen, sec à très sec. On aura besoin de cette classification pour l'utilisation de matériaux en terrassement.

La classification UIC nous a permis d'apprécier la qualité du sol de notre zone d'étude en QS2 et rarement QS1, ce qui nous permettra de dimensionner la structure d'assise correspondante a ces classes de qualité de sol.

CHAPITRE VI

LA SUPER STRUCTURE DE LA VOIE

VI.1 INTRODUCTION

Une voie ferrée est constituée par un assemblage d'éléments de caractéristiques physiques et mécaniques différentes qui permettent la transmission à la plate- forme (infrastructure), les charges statiques et dynamiques des roues. Pour pouvoir supporter les efforts verticaux, transversaux et longitudinaux, la voie comporte deux rails dont l'inclinaison et l'écartement sont maintenus par des traverses qui sont, elles-mêmes, disposées le long de la voie et reposées sur une couche de ballast.

VI.2 CATEGORIE DE LA VOIE

Les voies sont classées en plusieurs grandes catégories, chacune réservé pour un objectif bien précis, on distingue ainsi:

- **les voies principales :** affectées à la circulation des trains.
- **les voies de service :** affectées aux manœuvres, elles sont constituées en général par des anciennes voies principales déclassées.
- **les voies d'évitement :** qui permettent à deux trains qui circulant à contre sens sur une voie unique de se croiser.
- **les voies de garage :** affectées au stationnement du matériel roulant.

VI.3 LES CARACTÉRISTIQUES DE LA VOIE

Tableau VI-1 les caractéristiques de la voie.

Caractéristique	Valeur
Ecartement t des rails	1435 mm
Type de rail utilisé	UIC 60 E1 (60,21kg/ml, nuance 260)
Le mode de fixation des rails aux traverses	Attaches Nabla.
La charge à l'essieu	Pleine voie : 20.5t. Ouvrage d'art : 25t.
La vitesse de terrain	vitesse maximale : 220km /h.
Type de traverses	Traverses monobloc B70

VI.4 LES CONSTITUANTS DE LA VOIE FERRÉE

La voie ferroviaire est constitué de : plateforme, sous couche, ballast, traverses, les semelles et les rails plus les accessoires d'attache et de fixation.

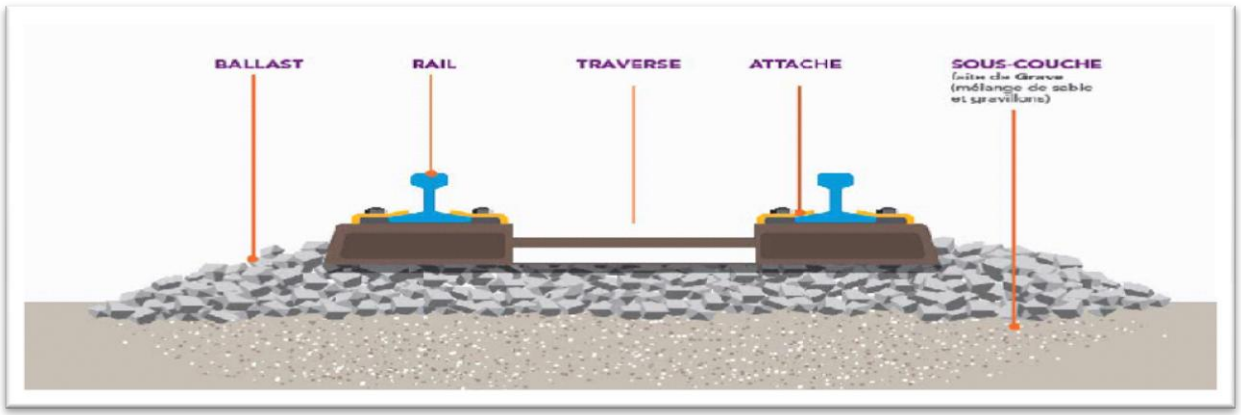


Figure VI-1 Les constituants de la voie ferrée.

VI.4.1 Les rails

Le rail est une longue barre d'acier profilée, qui mises bout à bout servent à former un chemin de fer. C'est le premier élément en contact entre le véhicule et la voie, il sert à la fois de guide et de support de roulement pour les trains. Il doit donc répondre aux exigences suivantes:

- Supporter la charge des roues et les efforts dynamiques qui en résultent.
- Assurer le guidage des véhicules en courbe, en reprenant les efforts transversaux dus à la force centrifuge.
- Servir de conducteur du courant électrique, électricité utilisée pour la signalisation et pour la traction des véhicules sur lignes électrifiées.

Il existe trois types principaux de rails :

- **Le rail à patin** dit rail Vignole.
- **Rail à gorge** « rail à ornières » : utilisé pour les voies encastrées dans des chaussées routières.
- **Rail à double champignon** « symétrique ou dissymétrique » : aussi connue sous le nom « rail à double bourrelet ».



Figure VI-2 Rail à gorge.



Figure VI-3 Rail à double champignon.



Figure VI-4 Rail Vignole.

- Dons notre projet on s'intéresse au rail à patin Vignole sera du type 60 E1 (60,21 kg/m). La fabrication et la fourniture des rails seront conformes à la norme : EN 13674-1 :2011 (Rails Vignole de masse ≥ 46 kg/m).

Le rail Vignole est constitué par trois parties essentielles comme la montre la figure ci-dessous :

- **Champignon** (bourrelet) : C'est la partie supérieure du rail, il est caractérisé par sa largeur, sa hauteur, le bombement de sa table de roulement et l'inclinaison de ces forces latérales.
- **Ame et portées d'éclissage**: l'âme est caractérisée par son épaisseur, la forme des congés de raccordement avec le champignon et le patin, et l'inclinaison. L'épaisseur de l'âme doit tenir compte des efforts de déversement et les efforts tranchants qu'elle supporte et des sollicitations élevées qui se développement au voisinage des trous d'éclissage.
- **Patin** : Caractérisé par sa largeur et par l'épaisseur et la forme des ailes, qui sont essentiellement fixées par des considérations d'équilibrage entre la section du patin et celle de champignon et par les possibilités du laminage, sa largeur conditionne la rigidité du rail dans le plan horizontale et détermine le taux de compression sur les traverses.

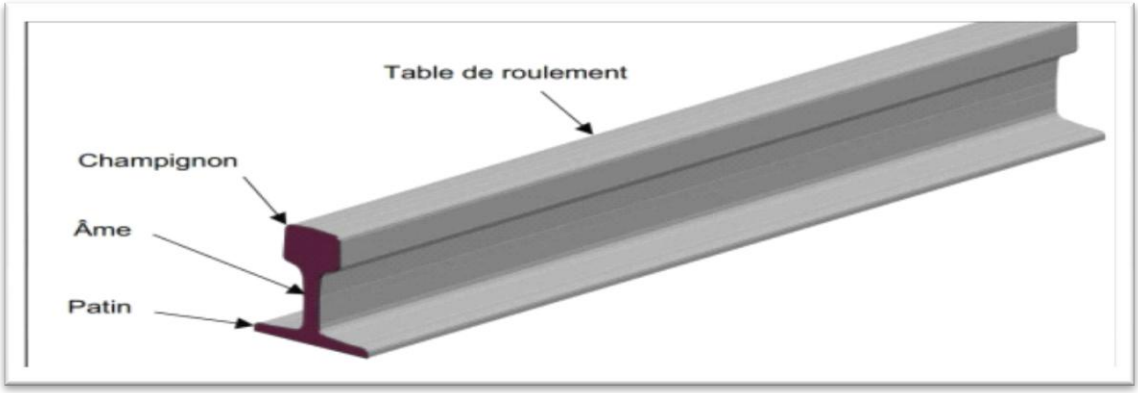


Figure VI-5 Le rail Vignole (UIC 60).

Tableau VI-2 les Caractéristiques du rail UIC 60 E1 selon (EN13674-1).

Caractéristique	Valeur
Masse par mètre	60.21 kg/m
Surface de la section	76.70 cm^2
Hauteur du rail	172 mm
Largeur de champignon	72 mm
Largeur du patin	150 mm
Moment d'inertie (axe X-X)	3038.30 cm^4
Moment d'inertie (axe Y-Y)	512.3 cm^4
Résistance à la traction	R ≥ 880 N/mm^2
Allongement	A ≥ 10 %
Dureté au milieu de la table de roulement	260 – 300 HMB
Nuance	260 (carbone-manganèse)

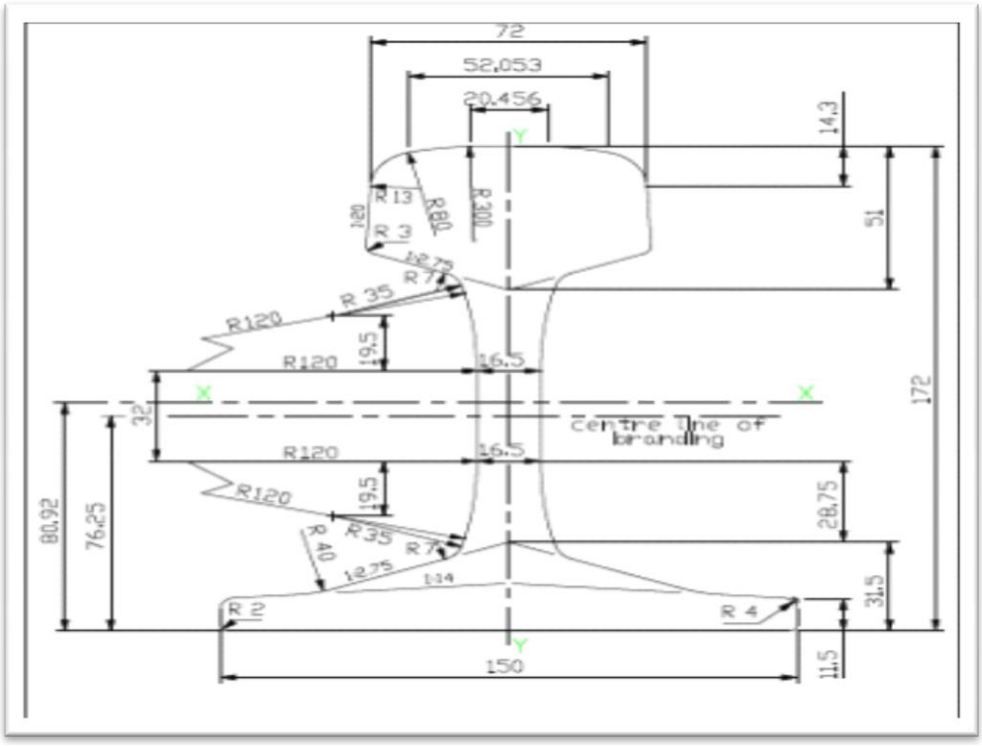


Figure VI-6 Profil rail du type UIC60 E1.

VI.4.1.1 Ecartement des rails:

L'écartement des rails c'est la distance qui sépare les flancs internes des deux files de rails d'une voie ferrée. L'écartement standard est de 1435 mm, définissant la voie « Normale », c'est le plus utilisé à travers le monde (60%).

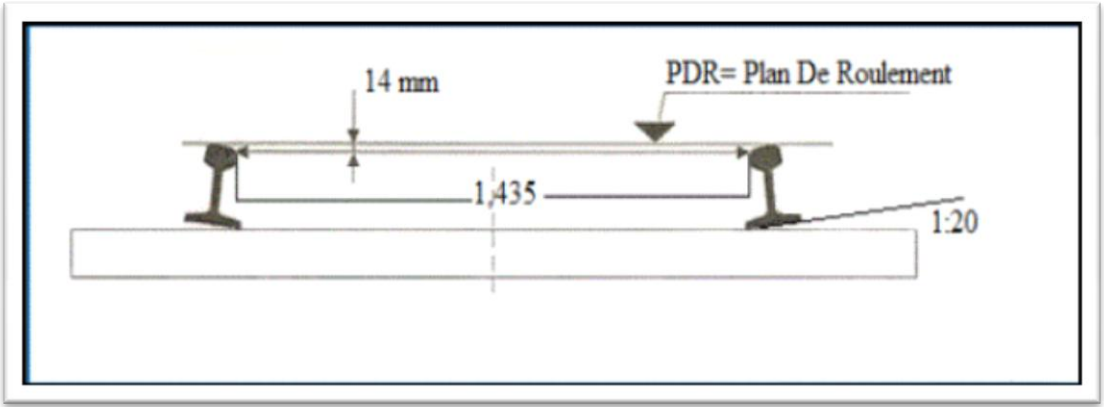


Figure VI-7 Ecartement des rails.

VI.4.1.2 Inclinaison des rails:

Afin de favoriser le centrage des roues du train, les rails sont inclinés vers l'intérieur selon une pente de 1/20 en voie normale sauf pour les réseaux de tramway.

VI.4.1.3 Défaut des rails:

On distingue trois catégories de défaut de rails :

- **Rail avarié :** rail ni fissuré ni rompu qui présente d'autre défauts généralement situé en surface.
- **Rail fissuré :** rail présentant, en un point quelconque de sa longueur et quelles que soient les parties intéressées du profil, une ou plusieurs solutions de continuité, d'orientation quelconque, visibles ou non, dont le développement risque d'entrainer une rupture à échéance plus ou moins rapprochée.
- **Rail rompu :** tout rail qui s'est séparée en deux morceaux ou plus et tout rail dont un fragment de métal s'est détaché en provoquant sur la table de roulement une lacune de plus de 50 mm de longueur et 10 mm de profondeur.

VI.4.1.4 Assemblage des rails:

Il existe deux modes d'assemblages des rails, soit par soudure ou éclissage :

- **Par soudure :**

Ce mode consiste à raccorder entre deux pièces par des joints appropriés, les contraintes techniques qui se posent sont la résistance mécanique et la géométrie (la qualité de circulation et tenue de la voie).

On a deux types de soudure sont employés le soudage électrique et le soudage aluminothermique.

- **Soudage électrique :**

Le soudage électrique est réalisé à poste fixe ou à l'aide de machines mobiles¸ Soudage constant et régulier, de bonne qualité avec l'absence de défaut du à la fatigue ou à un manque de concentration du soudeur.

Le rail sera fourni en barres de 18 m, lesquelles seront soudées électriquement sur chantier pour permettre l'obtention de barres avec 288 m.



Figure VI-8 Le soudage électrique.

- **Soudage aluminothermique :**

Le soudage par aluminothermie est un procédé de soudage des rails bout à bout. Les barres avec 288 m seront transportées sur le lieu d'application et seront liées entre elles par des soudures aluminothermiques.



Figure VI-9 Soudage aluminothermique.

- **Par éclissage :**

C'est l'assemblage de deux rails consécutifs à l'aide de deux éclisses qui sont constituées par deux plaques laminées, qui s'entrent entre le dessous du champignon et le dessus de patin. L'éclissage doit satisfaire aux conditions suivantes:

- Relier les rails de façon à ce qu'ils se comportement comme une poutre continue.
- Avoir la même qualité d'acier que le rail.
- Empêche les mouvements verticaux ou latéraux des extrémités des rails l'une par rapport à l'autre, tout en permettant la dilatation.



Figure VI-10 Assemblage des rails par éclissage.

VI.4.1.5 Les longs rails soudés (LRS) :

Les longs rails soudés ou (LRS), appelés aussi « barres longues », constituent une méthode moderne de pose des voies ferrées, Les rails peuvent être soudés sur plusieurs dizaines de kilomètres sans joint de dilatation. Cette méthode est la plus adopté pour toute les lignes a fort trafic, et notamment les lignes à grande vitesse.



Figure VI-11Assemblage du rail par soudure des LRS.

Les grands avantages qu'elle offre qui se résume essentiellement comme suit :

- Réduction des couts d'entretien de la voie.
- Réduction des défauts de rails.
- Meilleure qualité de roulement et plus grand confort pour les voyageurs.
- Réduction de l'usure de la superstructure et des véhicules.
- Suppression de l'éclissage boulonné.

Les inconvénients largement compensés par les avantages, sont :

- Défauts de soudure.
- Les efforts longitudinaux importants.
- Risque glissement latéral et flambage de la voie lors de la température Elevée.
- Résistance latérale affaiblie.

Pour minimiser le risque de déformations de voie, les (LRS) ne sont en général pas utilisées sur les voies sinueuses ou sur les terrains de mauvaise stabilité.

VI.4.2 Les traverses:

Une traverse est un élément fondamental de la voie ferrée. C'est une pièce posée en travers de la voie, sous les rails, pour en maintenir l'écartement et l'inclinaison, et transmettre au ballast les charges des véhicules circulant sur les rails. Le nombre de traverses utilisées par Kilomètre (travelage) est généralement 1666 à 1700 traverses/Km à la SNTF.

Les traverses peuvent être en bois en acier, en béton armé ou précontrainte elles doivent remplir les fonctions suivantes :

- La traverse joue un rôle d'isolant électrique.
- Maintien l'écartement des rails.
- Reprise des efforts latitudinaux et transversaux résultant de la dynamique des véhicules.

On distingue trois différents types de traverses :

VI.4.2.1 Les traverses en bois:

Ils assurent la souplesse et l'isolement élastique, néanmoins, leur inconvénient est celui de la sensibilité aux attaques atmosphériques, ainsi des frais d'entretien assez importants.



Figure VI-12 Traverse en bois.

VI.4.2.2 Les traverses en métal:

Les traverses en acier sont des produits industriels, elles sont constituées d'un laminé en forme de U renversé, elles s'enfoncent dans le ballast pour qu'elles s'opposent aux déplacements transversaux de la voie. Elles sont légères (environ 80 Kg) et facile à poser.



Figure VI-13 Traverse métallique.

VI.4.2.3 Traverses en Béton:

Ce type de traverse est plus utilisé dans la voie ferrée vu à leurs prix compétitifs et ses durées de vie ; il existe trois types selon leurs conception sont :

- **Traverses en béton bi-bloc :**

Elle est constituée de deux blochet séparés par une barre métallique.



Figure VI-14 Traverses en béton bi-bloc.

- **Traverses en béton monobloc :**

Formé en un seul bloc de béton précontraint dans leur partie centrale, armée avec des fils à haute résistance, et cela conviennent bien pour les vitesses et les charges d'essieu élevées. Leur durée de service est de 50 ans. Elles sont utilisées dans de nombreux pays.



Figure VI-15 Traverse monobloc en béton précontraint.

Dans notre projet les traverses du type Monobloc B70 en béton précontraint pour rail 60- E1 sont utilisées dans toutes les sections de voie courante, les traverses sont posées à raison de 1667 unités au kilomètre (le travelage de 1667 P/km), dont les caractéristiques sont :

Tableau VI-3 caractéristique des traverse monobloc en béton précontrainte B70.

Caractéristique	Valeur
Longueur	2600 mm
Longueur de base à la tête	300 mm
Longueur de la face supérieure sous les rails	190 mm
Largeur de la base au centre	210 mm
Largeur de la face supérieure au centre	180 mm
Hauteur à l'extrémité	210 mm
Hauteur sous le rail	210 mm
Hauteur au centre	180 mm
Inclinaison des rails	1/40
Poids de travers (avec les attaches)	287 kg/pièce

VI.4.3 Les Accessoires de poses:

On distingue deux type d'accessoires de liaison l'un dans le sens longitudinal et l'autre dans le sens transversal sont :

- ✓ La liaison des rails entre eux soit par les éclisses ou bien par les LRS.
- ✓ La liaison Rail-Traverse : les attaches, les semelles.

VI.4.3.1 Les semelles:

C'est un dispositif intermédiaire posé entre le rail et la traverse, elle joue un rôle très important dans la transmission des charges à la traverse, la stabilité de rail et l'absorption des ondes vibratoires mécaniques et acoustiques (joue le rôle d'un amortisseur). Elles sont en générale en élastomère de petite taille environ 9 mm d'épaisseur.

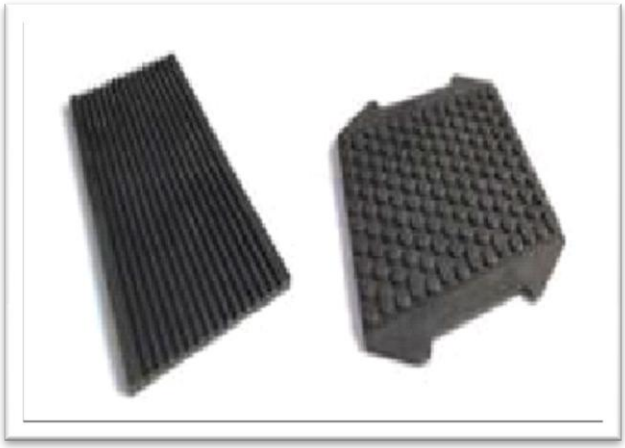


Figure VI-16 les semelles.

VI.4.3.2 Les attaches:

Une attache et un appareil constitué d'un crapaud qui est maintenu par un écrou accroché dans la traverse, elle sert à fixer le rail sur cette traverse pour l'empêcher de tout déplacement, il existe plusieurs types d'attaches suivant la nature de la traverse :

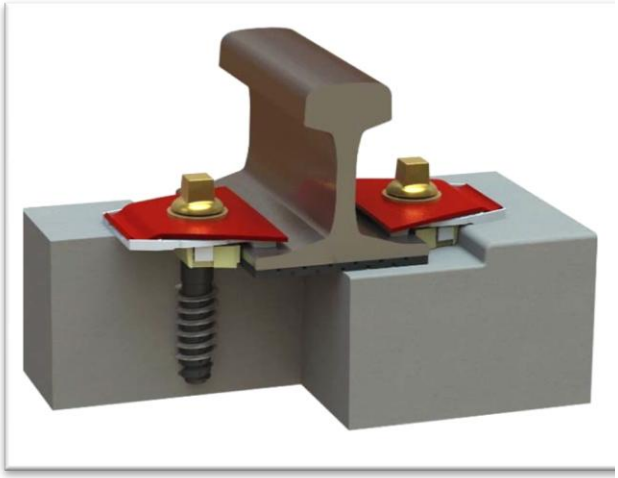


Figure VI-17 Attache élastique Nabla.



Figure VI-18 Attache élastique E-Clip.

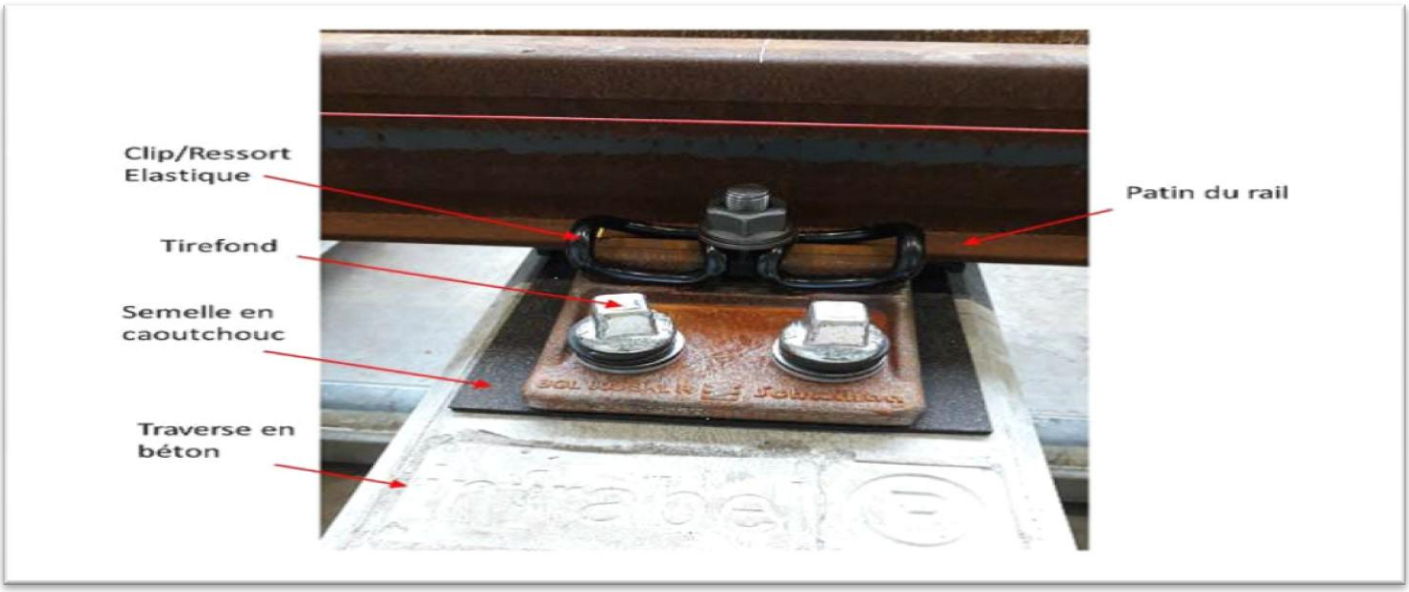


Figure VI-19 Liaison rail-traverse.

VI.5 LES APPAREILS DE VOIE

Les appareils de voie sont des dispositifs de guidage permettant le passage d'une voie à une autre en assurant la continuité des voies par extension. En effet, le conducteur d'un train n'ayant aucune maîtrise de la direction prise par le convoi, ce sont les appareils de voie qui sont chargés de le guider et de l'orienter de façon mécanique et passive ; Il peut être commandé automatiquement ou manuellement depuis un poste d'aiguillage ou bien à pied d'œuvre (sur le terrain) par une personne habilitée.

VI.5.1 Types des appareils de voie :

Les appareils de voies sont deux types :

- **Les branchements** : est un appareil de voie qui permet le passage du matériel roulant suivant deux (ou plus) itinéraires ayant une branche commune. Appelé aussi aiguillage dans le langage courant, il a comme rôle de faire changer de voie à un train.

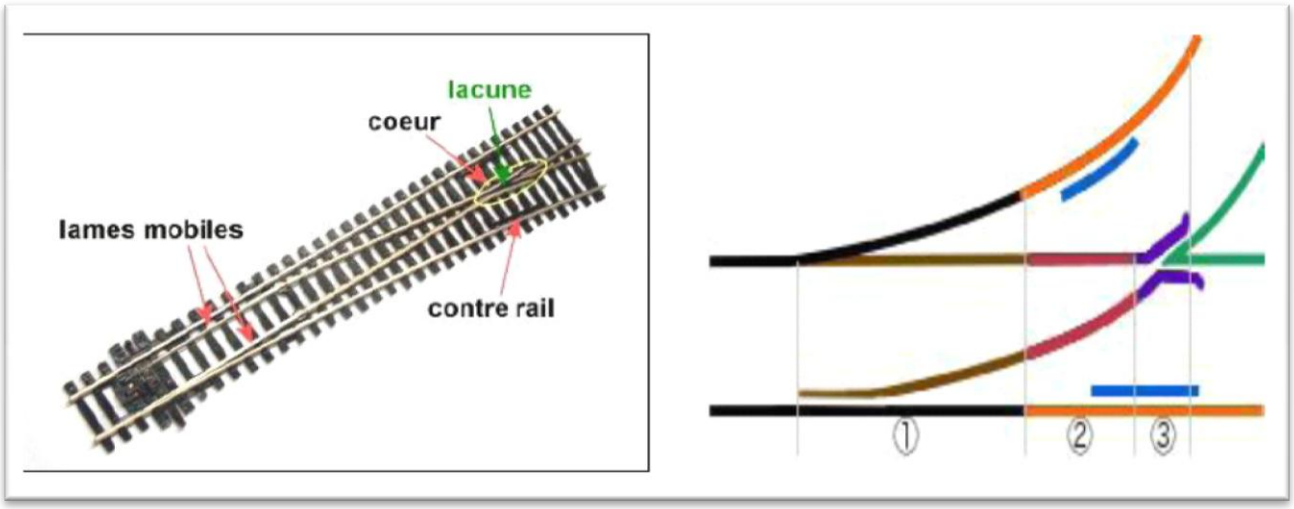


Figure VI-20 Eléments de branchement.

- **Les traversées** : l'appareil de voie que l'on désigne sous le nom de traversée oblique est composé de deux croisements et d'une traversée proprement dite qui comprend 2 cœurs de traversée. Elle comporte également deux groupes de quatre files de rails intermédiaires.

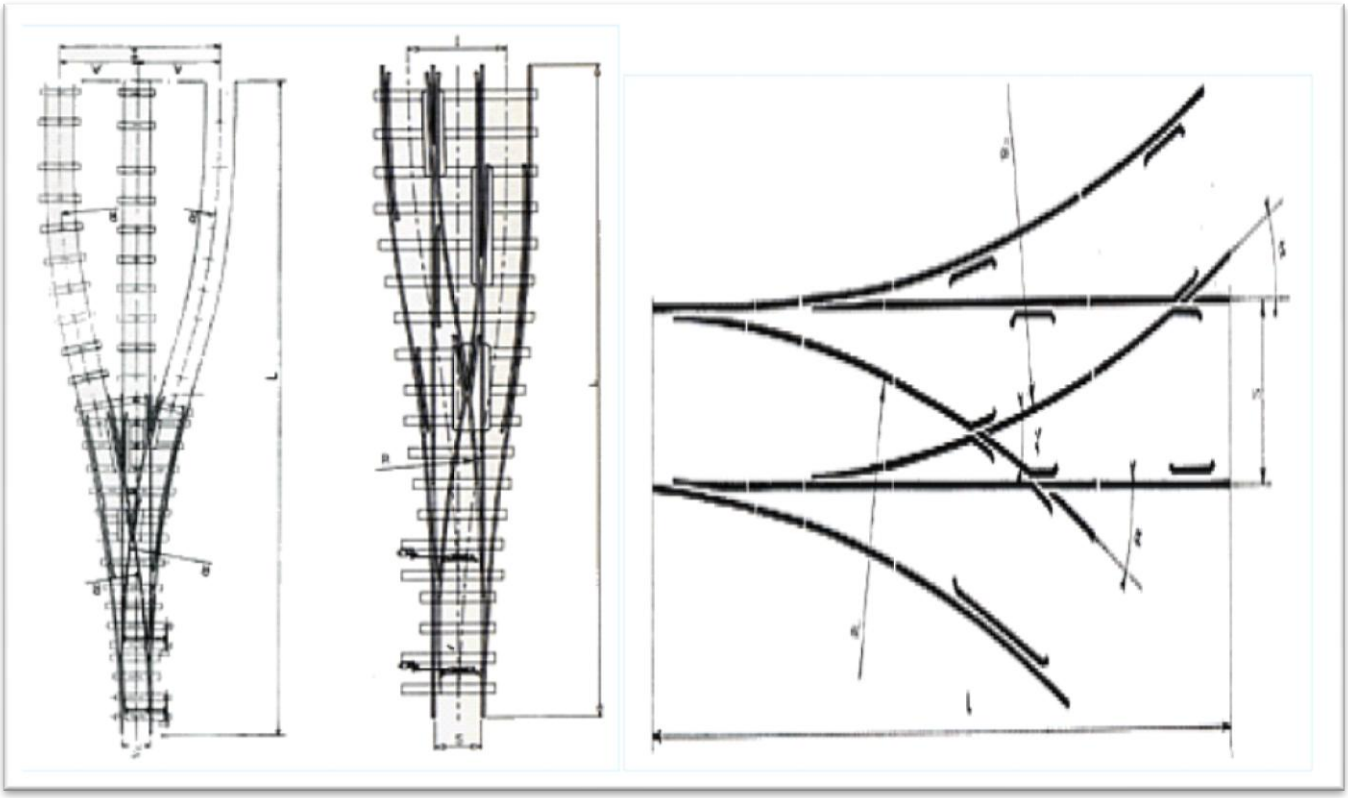


Figure VI-21 Élément traversée oblique.

VI.6 CONCLUSION

Les caractéristiques des composantes de la voie adoptée pour notre projet sont :

Tableau VI-4 Caractéristiques des composantes adoptées.

Composante	Caractéristique
écartement des rails	1435 mm
type de rail utilisé	UIC 60 E1 (60,21kg/ml, nuance 260)
Le mode de fixation des rails aux traverses	Attaches Nabla.
Type de traverses :	Traverses monobloc B70

CHAPITRE VII

TERRASSEMENT ET ASSISE DE VOIE

VII.1 INTRODUCTION

L'infrastructure est la partie inférieure sur laquelle repose la voie, elle sert à répartir et à transmettre les charges induites par les trains au sol support.

Dans ce chapitre, on va déterminer les différentes épaisseurs des couches constitues l'assise, aussi les différentes dispositions permettant de rendre les talus stables.

VII.2 TERASSEMENTS

La performance d'une ligne dépend principalement de la qualité de sa fondation. Ce qui nécessite des aménagements spécifiques du terrain tels que déblais, remblais, talus conçus de manière adéquate pour répondre aux charges de trafic prévues et différents charges dynamique.

VII.2.1 Pentes de talus

Les pentes de talus principalement utilisées selon référentiel technique de SNTF chapitre 7.2.2 « Ouvrages en terre », et exprimées en fraction base « H » sur hauteur «V », sont :

- **en déblai** : 1/2, 2/3, 1/1, 3/2, 2/1, 2,5/1, 3/1
- **en remblai** : 3/2, 2/1.

Elles doivent être déterminées de façon à assurer la stabilité et la pérennité générale de l'ouvrage en fonction des caractéristiques géotechniques des terrains recoupés en déblais, ou du sol support et des matériaux mis en œuvre pour les remblais ; de la hauteur de l'ouvrage et de la topographie de site et des risques naturelles.

Les talus peuvent être réalisés avec certains aménagements tels que risberme intermédiaire en déblai et banquette latérale en remblai ou des dispositifs de drainage pour satisfaire les conditions de stabilité.

VII.2.2 Déblais

VII.2.2.1 Les Caractéristiques des sections en déblais :

Les pentes données en cette phase d'étude dépendent de la nature des formations recoupées, que les travaux d'investigations géotechnique n'ont pas mis en évidence la présence d'eau dans aucune zone de déblai.

- **Talutage** : Les pentes données en cette phase d'étude dépendent de la nature des formations recoupées, sachant que les travaux d'investigations géotechnique n'ont pas mis en évidence la présence d'eau dans aucune zone de déblai.
  Etant donné le type de formations traversées entre le PK 40+000 et le PK 60+000, on a adopté une pente de 2H /1V pour assurer la stabilité. Les déblais concernés sont comme présenté dans le tableau suivant :

Tableau VII-1 localisation des zones de déblai.

PK		Longueur(m)	H_{max}(m)
Débit	Fin		
40+700	41+500	800	3.65
48+775	49+680	905	1.70
54+650	56+275	1625	1.20
58+325	59+350	1025	5.61

VII.2.3 Remblai

VII.2.3.1 Les caractéristiques de la section de remblais :

- **Talutage :** A ce stade d'étude, Les remblais seront profilés à 3H/2V (Horizontal/Vertical) pour assurer la stabilité.
- **Décapage :** A l'objet de réduire d'éventuels effondrements, Les terres végétales d'épaisseur de 20 cm.
- **Drainage :** Il est considéré important que la surface des remblais présente une pente transversale d'au moins 4 % afin d'éviter la stagnation de l'eau de pluie.
- **Contrôle de tassement :** Compte tenu de tous les résultats des travaux et essais de la campagne géotechnique, on ne prévoit pas des tassements significatifs des remblais tous le long du tracé.

Les remblais concernés sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau VII-2 localisation des zones de remblais.

PK		Longueur(m)	H_{max}(m)
Débit	Fin		
40+160	40+513	353	2.30
41+500	42+050	550	2.80
43+200	45+050	1850	2.50
45+800	48+300	1600	3.80
49+675	50+525	850	2.8
52+050	54+650	2600	5.61

VII.2.4 Gites d'emprunts et carrières

VII.2.4.1 Gites d'emprunts :

Des zones d'emprunts ont été identifiées le long de la trace. Afin de classer les matériaux de ces gîtes selon le guide technique de réalisation des remblais et de couche de forme (GTR), des puits d'exploration avec un prélèvement d'échantillons ont été réalisés au niveau de chaque zone potentiel.

Les résultats des essais de laboratoire réalisés sur les différents échantillons, prélevés à partir des puits de reconnaissance sont résumés dans le Tableau, Selon les résultats de laboratoire et la classification GTR, les matériaux de ces gîtes sont classés par

- ✓ Classe **R23**: Elle correspond à un matériau terrestre composé essentiellement de carbonates de calcium.

Tableau VII-3 résultats des essais de laboratoire relatif aux puits d'exploitation des gites d'emprunt.

Zone d'emprunt	puits	prof		Analyse granulométrique			W_n (%)	Limites d'atterberg			VBS	Proctor normale		Indice CBR			Classe GTR
		De	A	<2mm	<80µm	<2µm		W_L (%)	W_P (%)	I_P		γ_{dmax} t/m^3	W_{opt} (%)	Imbibé à 4 jours			
														10C	25C	56C	
ZE-12	PU-ZE12-SB	0.5	2	26.15	8.7	2.18	6.57	37	30	7	-	1.58	20.3	7.34	13.15	17.91	R23
ZE-13	PU-ZE13-SB	0.2	1.2	77.45	60	9.79	11.99	-	-	-	0.21	1.57	19.8	4.97	11.09	15.5	R23

VII.2.4.2 Carrières pour agrégats et Ballast

Un recensement des différentes carrières a agrégats pour la construction des différentes couches de l'assise de plateforme et pour la confection du béton, a été effectuée au :

- CARRIERE El Feerrane.
- MOUNGARA.
- HASSI Labyoudh.

VII.2.5 Réutilisation des matériaux des déblais

Une importante partie des matériaux provenant des excavations des déblais pourra être utilisée dans la construction des remblais tant qu'ils soient appliques de façon appropriée. la réutilisation des matériaux des déblais et des zones d'emprunt devra être menée avec soin.

En conformité avec les recommandations du GTR, en particulier en ce concerne l'état hydrique des sols. En général les matériaux des déblais sont réutilisation en remblais (corps), avec quelque restriction constructive d'après les normes en vigueur comme les RTR (recommandation pour les terrassements routiers).

Pour les couches de PST et CDF, il est recommandable la sélection des sols de meilleur qualité géotechnique. Les matériaux sableux limono-argileux à caillouteux provenant des excavations. Les sols de classe GTR : B_5, C_1B_3, C_1B_4, C_1B_5, C_2B_5, D_3, R_{21}et R_{22} pourront être réutilises de PST et CDF (avec matériaux passant à $80\mu \leq 12\%$).

Au besoin pour les matériaux de qualité supérieur pour la construction de la totalité de la couche de forme, il est possible de recourir à des matériaux des gites d'emprunt/carriers à la caractéristique appropriée.

Dans les zones inondables les premières couches de ces remblais devront être mises en place sur une fondation sable et dument drainée. Il s'agit de remblais situes dans des zones susceptibles d'être immerges temporairement.

Ans ces cas les parties des remblais susceptibles d'être immergées doivent être constituées de matériaux granulaire, peux sensibles à l'eau, afin d'assurer la stabilité générale de l'ouvrage.
Il est donc préconisé :

- Dans les zones inondable les parties des remblais susceptibles d'être immerges temporairement peuvent être constituées de matériaux granulaire, peux sensible à l'eau conformément de la norme ST590 (fiche n°09), avec $VBS \leq 0.1$, le passant à $80\mu \leq 12\%$.
  Les matériaux à utilisée devrait être compose par des sols des classe CiB_3, D_3, R_{21}, R_{22}, R_{41} et R_{42}.
  Ces matériaux de zone d'inondation doivent être mis en œuvre jusqu'à une hauteur correspondant à 0.5m au-dessus du NPHE.
- Dans le corps des remblais en zones sèches, on peut envisager l'utilisation des matériaux de qualité inferieure à l'exception de matériaux argileux de class A_1 et des sols évolutifs.
- Les argiles tertiaires (classe A_2) retrouvées en alternances avec les grès présentant des indices de potentiel gonflant, et sont donc à exclus de réutilisation.
- Pour les couche de la partie supérieure des terrassements (PST), il est recommandable l'utilisation de sols de meilleur qualité provenant des excavations ou des gites d'emprunt, la PST aux niveaux des remblais, sera composé par des sols de classes B_5, C_1B_3, C_1B_4, C_1B_5, C_2B_5, D_3, R_{21} et R_{22} selon la classification GTR.

- Pour la couche de forme il est recommandable de sélectionner des sols de meilleur qualité conformes à la norme ST590 (fiche n°04), notamment des sols des classes B_3, C_iB_i D_2, D_3, R_{21} et R_{22} et un taux de passant à $80\mu \leq 12\%$.

VII.3 LA STRUCTURE D'ASSISSE

Les couches d'assise contribuent à assurer, par leur nature et leur épaisseur, le bon comportement de la voie ferrée du point de vue rigidité, la répartition de la charge, tenue du nivellement et drainage. Elles comprennent la couche de ballast et la sous-couche.

L'épaisseur et la nature des couches d'assise dépendent :

- ✓ Des caractéristiques intrinsèques des sols de plate-forme (nature, portance, sensibilité à L'eau et au gel).
- ✓ Des caractéristiques globales de la plateforme qui dépendent non seulement des caractéristiques des sols, mais aussi des conditions hydrogéologiques du site.
- ✓ Des conditions climatiques du site.
- ✓ Du trafic (tonnage, charges, vitesses).
- ✓ De l'armement (profil des rails, nature et espacement des traverses).

VII.3.1 Ballast:

Les principales fonctions du ballast, avec élément structural de la ligne ferrée, sont les suivantes :

- répartition et transmission uniforme à la plate-forme des charges transmises par les traverses.
- Amortissement des tensions transmises par les trains au système rail et traverse.
- Atténuation de la circulation ferroviaire, correspondante à une implication dans le confort des passagers.
- Simplification des opérations d'entretien de la voie.
- Evacuation des eaux pluviales.

❖ **Caractéristique du ballast :**

Le ballast utilisé pour la voie ferrée doit répondre à certaines exigences :

- **Exigence de géométrie :**
  - Classe granulaire du ballast.
  - Grains fins.
  - Fines.
  - Forme des grains : Coefficient d'aplatissement, Coefficient de forme.
  - Pierres longues.
- **Exigences physiques :**
  - Résistance à la fragmentation : Coefficient Los Angeles, Résistance au choc.
  - Résistance à l'usure : Coefficient micro-Deval.
- **Durabilité** :
  - Résistance au gel/dégel.
  - Masse volumique réelle.
  - Coefficient d'absorption d'eau.

VII.3.2 Sous-couche

La sous-couche est une couche d'adaptation interposée entre la couche de ballast et la plateforme, la sous-couche peut être mono ou multicouche.

La sous-couche est constituée de plusieurs couches :

VII.3.2.1 La couche sous-ballast :

Constituée de grave propre de tranche granulométrique 0/31.5, bien graduée avec une valeur de propreté ≤1 et un coefficient d'aplatissement A≤25, compactée à 100% de l'Optimum Proctor modifié (OPM). Elle permet d'améliorer la portance du sol et la répartition des charges transmises ainsi que la protection de la plateforme contre l'érosion et le gel.

VII.3.2.2 La couche de fondation :

Constituée de grave compacté à 95% de l'optimum Proctor, d'une épaisseur minimale de 15cm. Elle protège la plateforme contre l'action des engins lors de la construction de la voie et n'est généralement pas nécessaire pour des substrats rocheux ou les sols de bonne qualité.

VII.3.2.3 La couche anti contaminant :

En sable propre et complété par une feuille géotextile, pour éviter la contamination de la sous-couche par les éléments fins de la plateforme.

VII.3.2.4 Le rôle de sous couche :

- Amélioration de la portance et meilleure répartition des charges transmises.
- Contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires.
- Anticontamination entre la plateforme et la couche de ballast.
- Protection de la plateforme contre l'érosion et le gel.

L'épaisseur et la nature de la sous-couche d'assise dépendent :

- Des caractéristiques intrinsèques des sols de la plateforme.
- Des conditions climatiques du site.
- Des caractéristiques hydrologique et hydrogéologique du site.

La sous-couche ayant une pente transversalement en toit (4% de chaque côté), vers des dispositifs d'assainissement longitudinaux. Dans les zones de voie à fort dévers, on peut être amené à prévoir une pente transversale unique de la sous-couche, pouvant aller jusqu'à 8%.

VII.4 LA PLATE FORME

La plateforme est la partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la sous-couche. Elle est constituée de terres rapportées dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai. Sa partie supérieure est aménagée en couche de forme et de pente transversale.

Pour classer la capacité portante de la plate-forme il faudrait d'abord apprécier :

- ✓ la qualité de chaque sol composant la plateforme.
- ✓ la qualité de la plateforme complète : couche de forme + sol sous-jacent.

VII.4.1 Couche de forme

La partie supérieure de la plate-forme est aménagé en couche de forme généralement pentée transversalement, son épaisseur varie suivant le matériau utilisé de 30 à 60 cm.

Située en remblai, la couche de forme sera exécutée en employant le même matériau que pour le remblai ou meilleur. Situé en déblai, cette couche de forme est obtenue en générale par le compactage du fond de feuille à 100 %.

La couche de forme peut également être traitée aux liants.

VII.4.2 Classe de portance de la plateforme

On peut distinguer les trois classes suivantes de plateforme en fonction de la qualité de leur portance :

- **P1** : plateforme médiocre.
- **P2** : plateforme moyenne.
- **P3** : plateforme bonne.

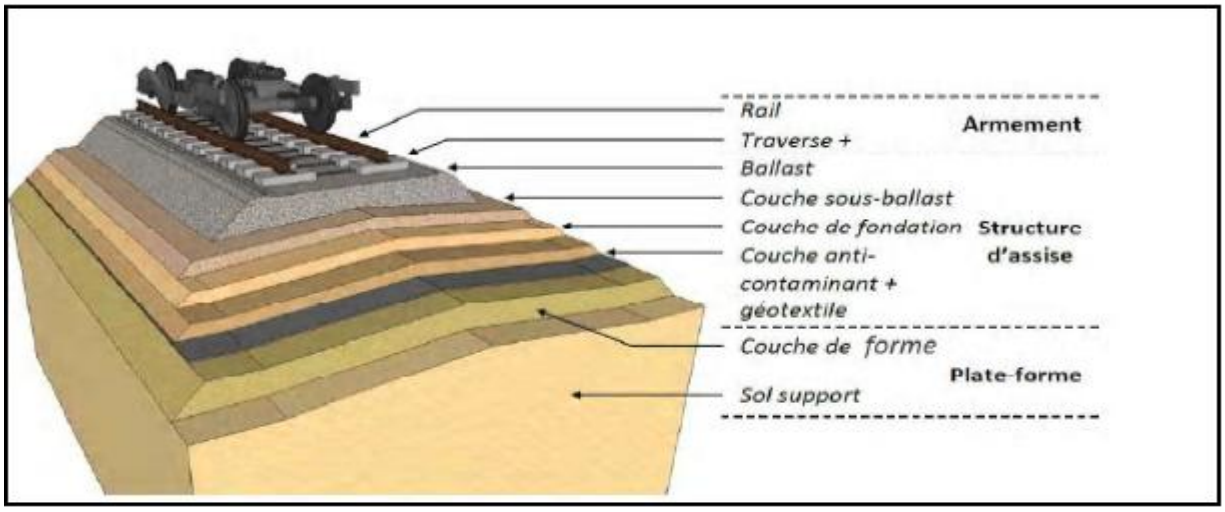
Le tableau suivant représente les classes de plateforme en fonction de la classe de qualité du sol support :

TableauVII-4 classes de portance de la plateforme (UIC719R).

Classe de qualité du sol	Classe de portance envisagé pour la plateforme	Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance	
		Qualité	Epaisseur minimale (m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.50
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.50
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

Donc pour obtenir une classe de plateforme bonne P3 « imposée par le maitre de l'ouvrage » de qualité QS2. Alors, d'après la fiche on trouve que la couche de forme n'est pas nécessaire, donc on ne va pas l'utiliser.

- Pour la classe de qualité de sol QS1, elle peut être de qualité QS2 si l'on sait avec certitude que les conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont bonnes.



Figurer VII-1 Les déférentes couches de la plateforme.

VII.4.3 Epaisseur minimal des couches d'assisse :

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

L'épaisseur de la couche d'assisse (représente du ballast + épaisseur du sous couche) dépend des facteurs suivants :

- **E** : facteur dépendant des classes de portance (P1, P2 ou P3).
- **a** : facteur dépendant de l'UIC groupes (groupe 1 a 6, UIC714).
- **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 VII-5 les paramètres de dimensionnements et leurs valeurs (UIC 719R).

Paramètre de dimensionnement	valeur
E	• **E= 0.70m** pour les plateformes de classe de portance P1. • **E= 0.55m** pour les plateformes de classe de portance P2. • **E= 0.45m** pour les plateformes de classe de portance P3.
A	• **a= 0** pour les groupes UIC 1 et 2 (ou ligne à V> 160 km/h quel que soit le groupe UIC). • **a= -0.5m** pour les groupes UIC 3 et 4. • **a= -0.10 m** pour les groupes UIC 5 et 6 groupe ainsi que 7.8 et 9 avec voyageurs. • **a= -0.15 m** pour les groupes 7.8 et 9 sans voyageurs
B	• **b=0** pour les traverses bois de longueur 2.60m. • **b= (2.5-L)/2** pour les traverses béton de longueur L.
C	• **c=0** pour un dimensionnement normal. • **c=0.1m** à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que 7.8 et 9 avec voyageurs. • **c= 0.05m** à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC 7,8 et 9 sans voyageurs.
D	• d= 0 lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorques ne dépasse pas 200 KN. • d= +0.05m lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN. • d= +0.10m lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250KN.
G	• **g= +** géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2. • **g=0** (pas de géotextile) lorsque la couche de forme est en sol QS3.

VII.5 APPLICATION AU PROJET

VII.6 Calcul de l'épaisseur minimale de la couche d'assise :

Les données de base pour l'élaboration des coupes transversales types à prendre en considération sont :

- Système de la voie : UIC sur des traverses monobloc en béton précontrainte.
- Ballast avec une épaisseur minimum de **30 cm**

Calculant les paramètres de dimensionnement de notre projet :

- **E** = **0.45 m** (pour les plates-formes de classe de portance P3).
- **a** = **0.00 m** (ligne à V> 160 km/h quel que soit le groupe UIC).
- **b** = **(2.5-2.6) /2= -0.05 m** (les traverses en béton de longueur L= 2600 mm).
- **c = 0.00m** dimensionnement normal (nouvelle ligne).
- **d = 0.10m** (la charge d'essieu des véhicules = 250t).
- **f = 0.05m** (les plates-formes de classe de portance P3 des lignes parcourues à grande vitesse).
- **g = 0.00m** (pas de géotextile).

✓ On sait que : **e= E + a + b + c + d + f + g**

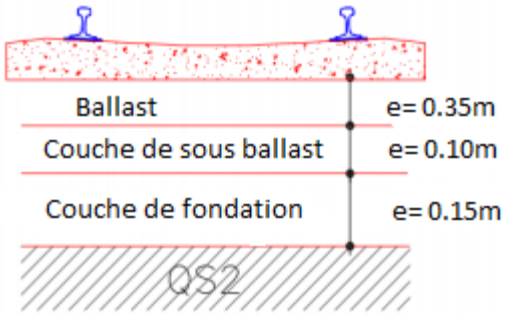
L'application numérique nous donne: **e= 0.45+ 0.00 - 0.05 + 0 +0.10 + 0.005 + 0**
e=0.55m

On prend: **e= 0.60m.**

e = épaisseur de ballast + épaisseur de sous couche.

La structure de la voie sera conçue comme suit :

- ❖ Couche de ballast : **0,35m** en **GC** (grave concassée) **25/50 mm.**
- ❖ Couche sous ballast **: 0,10 m** en Grave bien gradué **0/31.5.**
- ❖ Couche de fondation : **0,15 m** en **TVC.**



VII.7 DETERMINATION DES CUBATURES

Les mouvements des terres désignent tous les travaux de terrassement, et ils ont pour objectif primordial de modifier la forme du terrain naturel pour qu'il soit disponible à recevoir des ouvrages en terme général.

Ces actions sont nécessaires et fréquemment constatées sur les profils en longs et les profils en travers. La modification de la forme du terrain naturel comporte deux actions, la première il s'agit d'ajouter des terres (remblai) et la deuxième il s'agit d'enlever des terres (déblai).

VII.7.1 Définition

On définit les cubatures par le nombre des cubes de déblais et remblais que comporte le projet afin d'obtenir une surface uniforme sensiblement rapprochée et sous adjacente à la ligne rouge de notre projet.

Le profil en long et le profil en travers doivent comporter un certain nombre de points suffisamment proches pour que les lignes joignent ces points différents le moins possible de la ligne du terrain qu'il représente.

VII.7.2 La méthode utilisée

Il existe plusieurs méthodes de calcul des cubatures, parmi eux on peut citer :

- Méthode de la moyenne des aires.
- Méthode de l'aire moyenne.
- Méthode de la longueur applicable, etc...

Pour notre projet, le calcul des cubatures de terrassement a été fait avec le logiciel (COVADIS 9.1).

Tableau VII-6 cubatures des terrassements.

Nature	Déblai	Remblai	Couche terre végétal
Volume (m^3)	595 123.76	128 539.63	5 465.22

Tableau VII-7 cubatures des couches d'assises.

Nature	Ballast	Sous-Ballast	Couche de fondation
Volume (m^3)	75 758.10	22 248.60	33 875.50

CHAPITRE VIII

CALCUL HYDRAULIQUE ET ASSAINISSEMENT

VIII.1 INTRODUCTION

La réalisation d'une ligne voie ferrée apporte des modifications pour le terraine par des déblais et remblais, ces modifications perturbent les écoulements d'eau naturels préexistants provenant des précipitations atmosphériques ainsi que des affleurements d'eaux souterraines.

Donc pour assurer la stabilité de L'infrastructure et afin d'éviter toute inondation de collection doit effectuer une étude hydrologique, cette étude comprend la délimitation des bassins versants qui sont interceptés, ainsi que leurs caractéristiques physiques qui servent de référence pour l'analyse des écoulements. Par ailleurs, cette étude inclut également l'analyse statistique des données pluviométriques disponibles pour la zone d'étude.

Elles visent notamment à définir les ouvrages de drainage et à fournir les données hydrauliques nécessaires aux autres disciplines concernées par le projet.

VIII.2 PRESENTATION HYDROLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

VIII.2.1 Présentation générale:

La zone d'étude se situe au Sud-ouest de l'Algérie dans la région des hauts plateaux, elle fait partie du bassin versant du Chott Ech Chergui classé huitième d'après l'ANRH et composé de 15 sous bassins versants.

L'axe du projet traverse plusieurs Oueds d'importance variable ainsi que quelques écoulements de moyenne et faible importance. Les plus distincts sont : Oued Khatt, Oued Karma, Oued Bouamama et Oued Mechria et Trig.

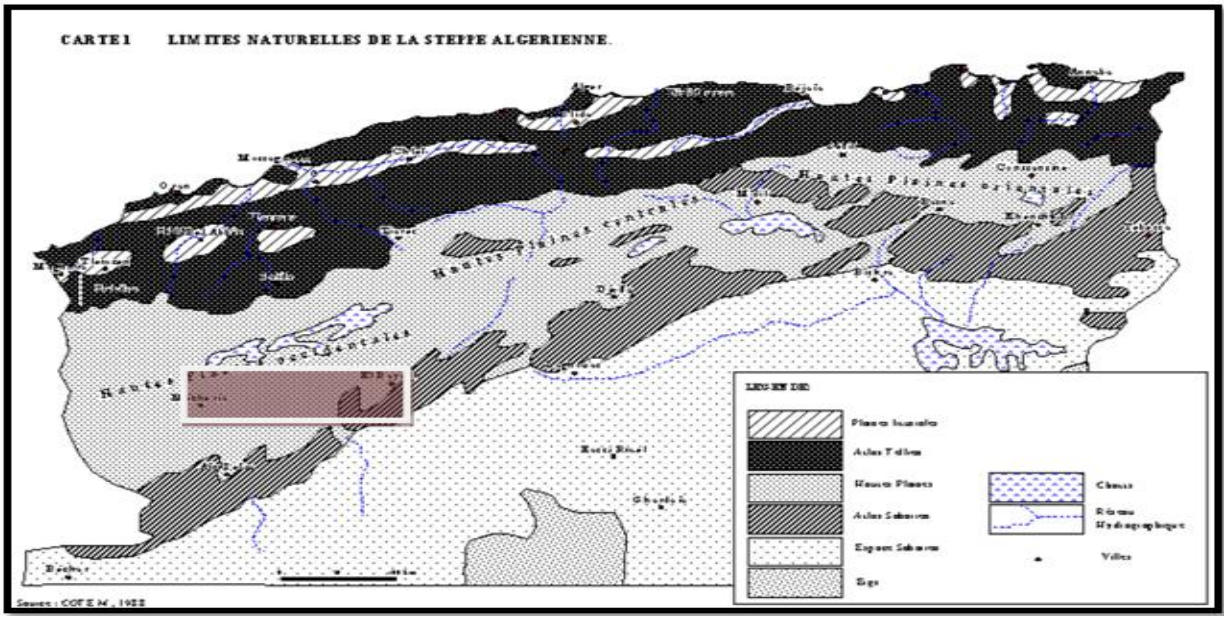


Figure VIII-1 Situation géographique de la zone d'étude.

VIII.2.2 Le climat:

Les conditions climatiques du bassin s'expliquent par sa situation géographique, le caractère de circulation atmosphérique, et par le relief de son territoire. La caractérisation du climat est Etablie en fonction des observations fournies par le réseau de mesures pluviométriques, hydrométriques et climatologiques installé au sein du bassin.

VIII.2.3 Etude de la temperature:

Le climat de la région de Méchria est du type méditerranéen aride à hiver frais. il est caractérisé par deux saison contrastées, l'une froide et humide, qui s'étale de la fin octobre jusqu'au début Mai avec une température moyenne de 10.05°C et une pluviométrie de 147 mm, l'autre sèche et chaude, qui va de la mi-Mai à la mi-octobre avec une température moyenne de 21.77°C et une pluviométrie de 86.49 mm .

Tableau VIII-1 Température moyenne annuelle de la ville de Méchria.

mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
T min (°C)	1.7	2.5	4.7	7.6	11.2	16.2	20.4	20.4	15.2	10.4	5.3	2.6
T max (°C)	11.	13	16.4	20.5	23.8	29.9	34.9	34.3	29.3	21.9	15.1	10.7
T moy (°C)	6.4	7.7	10.5	14	17.5	23	27.6	27.3	22.2	16.1	10.2	6.6

L'examen du tableau précèdent révèle que le mois Juillet est le mois le plus chaud de l'année. La température moyenne est de 27.6 °C à cette période. Le mois le plus froid de l'année est celui de Janvier avec une température moyenne de 6.4 °C.

VIII.2.4 Précipitation:

Les précipitations décroissent du littoral vers l'intérieur suivant un gradient latitudinal, altéré néanmoins par l'effet orographique de l'Atlas saharien, la zone de Méchria présente une valeur des précipitations annuelles de l'ordre de **249,62** mm/an.

Tableau VIII-2 Précipitations moyennes mensuelles

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Total
Pan (mm)	20,04	21,46	28,85	19,48	23,85	25,32	33,71	30,10	23,47	11,02	4,21	8,13	**249,62**
Pan (%)	8,03	8,60	11,56	7,80	9,56	10,14	13,50	12,06	9,40	4,42	1,68	3,26	**100 %**

VIII.2.5 Classification du climat de la région :

La région d'étude est caractérisée par des conditions climatiques qui seront précisées, en utilisant plusieurs méthodes : L'indice d'aridité de Martonne et le diagramme L'Emberger.
On doit utiliser la méthode de : le diagramme L'Emberger

Pour préciser le climat de la région nous allons utiliser le climato gramme de L'Emberger sur lequel nous avons reporté les données des stations choisies, avec en abscisse la moyenne des températures minimales de la saison froide (en °C), et en ordonnéeQ_2, donné par la formule suivante : $Q_2 = \frac{2000P}{M^2-m^2}$

Après calcul nous obtenons les résultats suivants :

- P : Précipitation annuelle en mm

P = **249,62** mm/an.

- M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud exprimé en (°k)

M = 300.6 °k

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid exprimé en (°k)

m = 279.4 °k

Q_2: quotient pluviométrique

$$Q_2 = \frac{2000 \times 249{,}62}{300.6^2 - 279.4^2}$$

$$Q_2 = 40.60$$

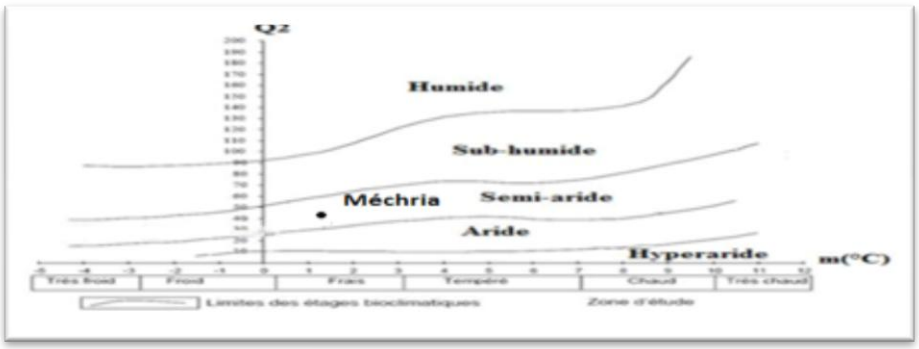


Figure VIII -2 Situation de la station de Mechria sur Climato gramme d'Emberger.

- Le rapport de ces données sur le climato gramme de L'Emberger, nous permet de dire que la zone d'étude se situe dans la zone climatique semi-aride à hiver frais.

VIII.2.6 Pluies journalières

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.

Théoriquement les valeurs extrêmes s'ajustent à une loi des valeurs extrêmes, en Algérie, il est vérifié que les pluies journalières maximales annuelles s'ajustent mieux à la loi de Gumbel.

Dans le tableau sont présentées les pluies journalières maximales des différentes stations pour différentes fréquences.

Tableau VIII -3 Précipitations journalière.

Période de retour	Fréquence	Pmax j
10	0.9	71.58
20	0.95	84.89
50	0.98	102.07
100	0.99	115.01

VIII.2.7 Caractéristique des bassins versants

Le bassin versant ou bassin d'alimentation au droit d'une section de mesure, est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de cette section.

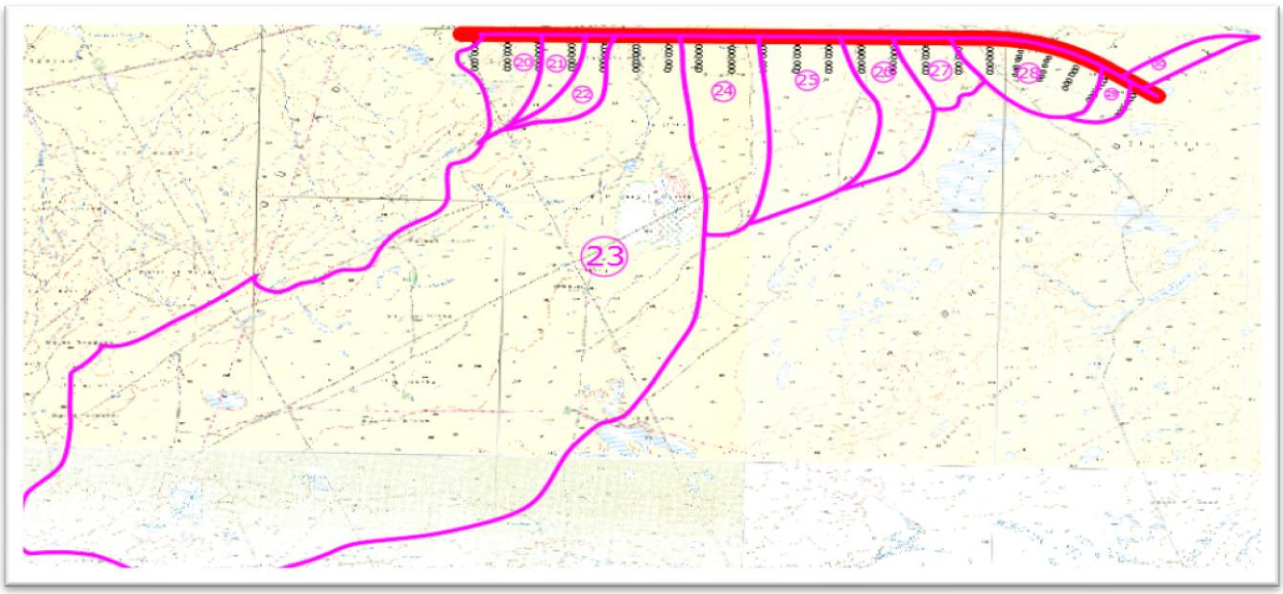


Figure VIII-3 Situation du projet sur carte des bassins versants.

La détermination des caractéristiques morphologiques des sous bassins versants consiste à calculer, ou évaluer les paramètres explicatifs, indispensables à l'évaluation des débits de crues.

Tableau VIII -4 caractéristiques des bassins versants de la zone d'étude.

N° BV	PK	A (Km^2)	P (Km)	L (Km)	Kc	Hmax (m)	Hmin (m)	Hmoy (m)	Pente bassin J (m/m)
BV 20	40+300	5.96	11.43	4.11	1.32	1220	1170	1195	0.0122
BV 21	41+850	3.1	9.53	2.56	1.53	1220	1175	1197.5	0.0176
BV 22	42+763	3.63	11.25	2.6	1.66	1200	1180	1190	0.0077
BV 23	44+128	220	68	12.62	1.29	1237	1176	1206.5	0.0048
BV 24	47+530	15.53	18.14	7.05	1.30	1212	1181	1196.5	0.0044
BV 25	49+850	18.48	18.76	5.49	1.23	1212	1184	1198	0.0051
BV 26	50+780	8.58	15.52	4.88	1.49	1209	1196	1202.5	0.0027
BV 27	53+290	6.85	12.63	3.45	1.36	1204	1197	1200.5	0.002
BV 28	54+210	8.68	12.11	4.36	1.16	1211	1197	1204	0.0032
BV 29	59+460	1.9	6.44	1.82	1.32	1216	1210	1213	0.0033
BV 30	60+000	2.55	9.48	3.4	1.67	1225	1220	1222.5	0.0015

VIII.3 ETUDE HYDRAULIQUE DE LA ZONE

VIII.3.1 Temps de concentration:

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

Le Tableau suivant résume les différentes méthodes de calcul de temps de concentration en fonction de la surface du bassin versant :

Tableau VIII -5 formules des temps de concentrations

dénomination	formule	Domaine d'application
Ventura	$T_C = 0.127\sqrt{\frac{\mathbf{A}}{J}}$	**A**< 5 km^2
Passini	$T_C = \frac{0.108(\mathbf{A} \times L)^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{J}}$	5 km^2<**A**< 25 km^2
Giandotti	$T_C = \frac{(4\sqrt{\mathbf{A}}) + (1.5L)}{0.8\sqrt{H}}$	25 km^2<**A**< 400 km^2

Tel que :

- T_C [h]: temps de concentration.
- **A** [km^2]: surface du bassin versant.
- J [m/m] : pente brute du bassin.
- L [km] : longueur de l'oued principal.
- H [m] : différence entre l'altitude moyenne et l'altitude de l'exutoire du bassin ($H_{moy} - H_{min}$).

VIII.3.2 Estimation de debits d'apport:

Pour estimer les débits d'apport des différents bassins versant obtenus par délimitation, on utilise plusieurs méthodes qui sont élaboré en fonction de la pluie et des caractéristiques physiques des bassins versants.

Pour évaluer le débit maximal des bassins versant, on a utilisé les formules suivantes :

- **Formule rationnelle :** (A <10 Km^2)**:**

$$\boldsymbol{Q_a = K \times C \times I \times A}$$

Avec:

- $\boldsymbol{Q_a}$: Débit d'apport de fréquence déterminée en m^3/s.
- **K=0.278** : Coefficient qui permet de convertir les (mm/h) en (l/s).
- **C** : Coefficient de ruissellement.
- **I** : Intensité de pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration en (mm/h).
- **A** : Surface du bassin versant en (Km^2).

- **Formule de transition :** (10 Km^2 < A < 50 Km^2) :

$$Q_T = \alpha\, Q_{RT} + \beta\, Q_{CT}$$

- Q_T: débit de projet de période de retour T.
- Q_{RT}: débit fourni par la formule rationnelle, période de retour T.
- Q_{CT}: débit fourni par la formule Crupédix, période de retour T.
- α, β : coefficients de pondération : $\alpha = \frac{(50-A)}{40}$ $\beta = 1 - \alpha$.

- **Formule Crupedix :**(A >50 Km^2)

$$\boldsymbol{Q}100 = \boldsymbol{b'} \times \boldsymbol{Q}_{10}$$

$$\boldsymbol{Q}_{10} = \boldsymbol{A}^{0.8} \times \left(\frac{\boldsymbol{P_j}}{80}\right)^2 \times \boldsymbol{R}$$

- A (Km^2) :surface du bassin versant.
- : Précipitation journalière maximale décennal.
- R: coefficient régional :

  - R = 0,2 pour des terrains perméables.
  - R = 1,5 à 1,8 pour des terrains imperméables.
  - R = 1 pour des terrains intermédiaires.

Avec : $1{,}4 \leq \boldsymbol{b'} \leq 4$

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

- Jusqu'à 20 Km^2, $\boldsymbol{b'}$ est déterminé en appliquant la formule rationnelle (calcul de Q_{R10}et Q_{R100}comme si la formule rationnelle était applicable) : $\boldsymbol{b'} = \frac{\boldsymbol{Q_{R100}}}{\boldsymbol{Q_{R10}}}$.
- Au-delà de 20 Km^2, b' est déterminé à partir des données provenant des cours d'eau jaugés sur des bassins versants représentatifs à proximité du projet.

VIII.3.3 Intensité maximale des précipitations

Les précipitations de courtes durées sont caractérisées par la loi Intensité-Durée-Fréquence (IDF) qui est représentée par une courbe exponentielle décroissante dont les coefficients a et b sont dits paramètres de Montana. Cette loi est très importante dans la détermination des débits de projets maxima.

L'intensité maximale : $I(t,T) = \frac{a(T)}{t^b}$

I(t,T): Intensité de pluie en mm/h

T : période de retour

t : temps en heures.

a et b : paramètres de Montana.

Tableau VIII -6 Paramètre de Montana a et b des courbes IDF pour la région de l'étude.

T	2	5	10	20	50	100
A	14,2	21,2	25,9	30,3	36,1	40,4
B	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74

VIII.3.4 Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement signifie le pourcentage des eaux écoulées sur la terre saturée de pluies par rapport à la quantité total des eaux courantes, il dépend de :

- La nature du sol.
- La couverture végétale du bassin versant.
- La pente du bassin versant.

Tableau VIII -7 Désignation des Coefficient de ruissellement par zones.

Couverture	Morphologie	Pente	Sable gros	Argile Limon	Argile
Bois	Presque plat	0 – 5	0.10	0.30	0.40
	Ondulé	5 - 10	0.25	0.35	0.50
	Montagne	10 - 30	0.30	0.50	0.60
Pâturage	Presque plat	0 – 5	0.10	0.30	0.40
	Ondulé	5 - 10	0.15	0.36	0.55
	Montagne	10 - 30	0.22	0.42	0.60
Culture	Presque plat	0 – 5	0.30	0.50	0.60
	Ondulé	5 - 10	0.40	0.60	0.70
	Montagne	10 - 30	0.52	0.72	0.82

Tableau VIII -8 Résultats débit d'apport.

N° BV	PK	S (Km^2)	C ruiss	Tc (h)	I (mm/h)	$Q_{a\ max}$ (m^3/s)
BV 20	40+300	5.96	0.46	2.84	18.66	14.21
BV 21	41+850	3.1	0.46	1.69	27.40	10.85
BV 22	42+763	3.63	0.46	2.76	19.06	8.84
BV 23	44+128	220	0.46	17.71	4.82	239.56
BV 24	47+530	15.53	0.46	7,79	8.84	16.67
BV 25	49+850	18.48	0.46	7,05	9.52	20.45
BV 26	50+780	8.58	0.46	7,22	9.36	10.26
BV 27	53+290	6.85	0.46	6,93	9.64	8.44
BV 28	54+210	8.68	0.46	6,41	10.22	11.34
BV 29	59+460	1.9	0.46	3.05	17.70	4.30
BV 30	60+000	2.55	0.46	5,24	11.86	3.86

VIII.3.5 Application au projet:

Tenant compte le bassin versant N°24

$A = 15.53\ Km^2$

$L = 7.05\ Km$

- Précipitation journalière maximale décennal

  $Pj\ (f = 90) = 71.58\ mm$

$H = H_{moy} - H_{min} = 1212 - 1181 \quad \rightarrow \quad H = 15.5\ m$

- **Calcul temps de concentration d'eau Tc:**

$5\ Km^2 < A = 15.53\ Km^2 < 25\ Km^2$

Donc on applique la **Formule de Passini**

$$T_C = \frac{0.108(\mathbf{A}\times L)^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{J}} = \frac{0.108(15.53\times 7.05)^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{0.0044}}$$

$T_C = 7.789\ h$

- **Intensité maximale des précipitations I (T_C, 100 ans) :**

Pour (T = 100 ans) : $a = 40.4$ $b = 0.74$

$$I(7.789; 100) = \frac{a(T)}{t^b} = \frac{40.4}{7.789^{0.74}}$$

$I(7.789; 100) = 8.8444\ mm/h$

- **Débit maximal dans les bassins $Q\ R_{100}$(formule Rationnelle):**

$Q_{R100} = \mathrm{K} \times \mathrm{C} \times \mathrm{I} \times \mathrm{A} = 0.278 \times 0.46 \times 8.844 \times 15.53$

$Q_{R100} = 17.56 m^3/s$

- **Débit maximal dans les bassins $Q\ _{C10}$(Formule Crupedix)**

$$Q\ _{C10} = A^{0.8} \times \left(\frac{P_j}{80}\right)^2 \times R = 15.53^{0.8} \times \left(\frac{71.58}{80}\right)^2 \times 1$$

$Q\ _{C10} = 7.18 m^3/s$

- **Débit maximal dans les bassins Q_{C100}(Formule Crupedix):**

$$b' = \frac{Q_{R100}}{Q_{R10}} = \frac{17.56}{11.25}$$

$b' = 1.56$

$\boldsymbol{Q_{C100}} = b' \times \boldsymbol{Q\ _{C10}} = 1.56 \times 7.18$

$\boldsymbol{Q_{C100}} = 11.20\ m^3/s$

- **Coefficients de pondération (α, β) :**

$$\alpha = \frac{50 - A}{40} = \frac{50 - 15.53}{40} = 0.86$$

$\beta = 1 - \alpha = 1 - 0.86 = 0.14$

- **Débit maximal dans les bassins Q_{T100}(Formule de Transition):**

$Q_{T100} = (\alpha \times Q_{R100}) + (\beta \times Q_{C100}) = (0.86 \times 17.56) + (0.14 \times 11.20)$

$Q_{T100} = 16.669 m^3/s$

VIII.4 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

Les écoulements superficiels interceptés par l'infrastructure ferroviaire seront rétablis par la mise en place d'ouvrages hydrauliques adaptés et réalisés dans les règles de l'art. Ces ouvrages seront dimensionnés pour un événement pluvieux d'occurrence centennale.

VIII.4.1 Critères de dimensionnement:

Pour le dimensionnement des différents ouvrages les critères suivants ont été tenus en compte:

- L'ouvrage doit prévoir évacuer le débit la crue correspondant.
- Le régime de ruissèlement est gravitaire (régime fluviale). H > $h_{critique}$

tel que $h_{critique} = \sqrt[3]{\frac{Qa^2}{g.\ B^2}}$ pour assurer un écoulement fluviale.

- La pente des ouvrages doit être limitée (Pente minimale I = 0,3 %) pour éviter des vitesses trop élevées.
- La hauteur d'eau correspondant à ce débit ne doit pas dépasser 80 % de la hauteur de l'ouvrage. (Selon la norme SNTF hydraulique drainage).

VIII.4.2 Débits de saturation:

Calculés par la formule de Manning-Strickler sur un Ecoulement en régime uniforme

$Q_s = V.\ S_m$

Tel que V= $Q_s = {R_h}^{2/3}.I^{1/2}.k_s$

Avec

- Q_s : Débit maximum
- V : vitesse d'écoulement d'eau (m/s).
- S : Section utile de l'ouvrage (b×Hu).
- k_s: Coefficient rugosité (Manning Strickler) dépend de la nature des parois internes de l'ouvrage.
- I : Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).
- R_h : Rayon hydraulique(m). $R_h = \frac{S_m}{P_m}$ = Section mouillée/périmètre mouillé.

Les valeurs du coefficientk_s sont organisées dans le tableau suivant :

Tableau VIII -9 valeur du coefficient K_S.

k_s	Valeur
Fossésenherbés	25
Maçonnerie	40
Bétons (dalots/buses préfabriquées)	70
Canalisationlisse (PEHD, PVC…)	80

Dans le cadre de ce projet, tous les ouvrages hydrauliques sont conçus en béton armé, le coefficient de Manning-Strickler est égale à 70

VIII.4.3 Dimensionnement des dalots:

Ouvrages de sections rectangulaires ou carrées, disposés sous le tracé, identifié par la largeur de (B) et la hauteur (H). Dans notre projet, les dalots sont en béton.

On calcule par itération les dimensions du dalot en utilisant la formule Manning-Strickler :

$Q_a = R_h^{2/3} . I^{1/2} . k_s . S_m$

La surface mouillée : S_m= h.b avec $h = 0.8H$

Le périmètre mouillé : P_m = b+2h.

Le rayon hydraulique : $R_h = \frac{\text{h.b}}{\text{b+2h}}$

A la saturation : $Q_{max} = Q_s = R_h^{2/3} . I^{1/2} . k_s . S_m$

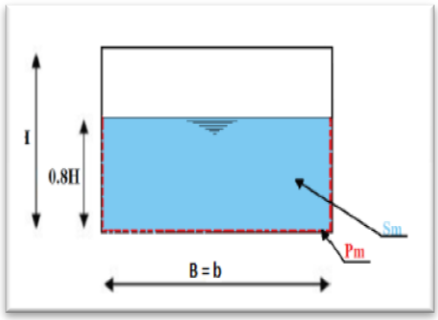


Figure VIII -4 Dimensionnement de dalot

Tableau VIII-10 Dimensionnement des dalots.

N°BV	PK	Q_a (m^3/s)	b (m)	hcalculée (m)	Dimensionsdalot (b×h)	S_m (m^2)	P_m (m)	R_h (m)	Q_C (m^3/s)	Q_{PS} (m^3/s)
BV20	40+300	14.21	2	1.941	(2×2)	3.2	5.2	0.61	16.21	21.37
BV21	41+850	10.85	2	1.563	(2×2)	3.2	5.2	0.61	16.21	21.37
BV29	49+850	20.45	3	1.656	(3×2)	4.8	6.2	0.77	28.33	37.90
BV26	50+780	10.26	2	1.495	(2×2)	3.2	5.2	0.61	16.21	21.37
BV28	54+210	11.34	2	1.618	(2×2)	3.2	5.2	0.61	16.21	21.37
BV29	59+460	4.30	1.5	1.034	(1.5×2)	1.8	3.9	0.46	7.52	9.92
BV30	60+000	3.86	1.5	0.951	(1.5×2)	1.8	3.9	0.46	7.52	9.92

VIII.4.4 Dimensionnement des buses:

Les ouvrages de sections circulaires, disposés sous le tracé, identifié par le diamètre (Ø).

On calcule les dimensions de la buse par la formule de Manning Strickler

On a: $Q_s = R_h^{2/3} . I^{1/2} . k_s . S_m$

Avec :

$$S_m = \pi . \frac{D^2}{4} \quad ; \quad R_h = \frac{D}{4}$$

A la saturation : $Q_{max} = Q_s = \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} . I^{1/2} . k_s . \pi . \frac{D^2}{4}$

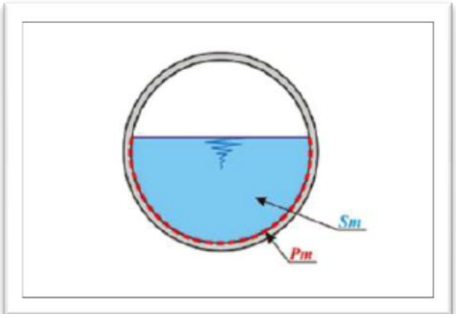


Figure VIII -5 Dimensionnement de buse.

$D'où : \quad Q_a = {R_h}^{2/3}.I^{1/2}.k_s.S_m$

$$D = \left(\frac{4^{5/3} \times Q_a}{k_s \times \pi \times I^{1/2}}\right)^{3/8}$$

Tableau VIII -11 Résultats des calculs des dimensions des buses.

N°BV	PK	Q_a (m^3/s)	Nbr buses	Dcalculé (m)	D (m)	S_m (m^2)	P_m (m)	R_h (m)	Q_{ps} (m^3/s)
BV22	42+763	8.84	1	1.689	1.8	2.54	5.65	0.45	10.46
BV24	47+530	16.66	2	1.652	1.8	2.54	5.65	0.45	10.46
BV27	53+290	8.44	1	1.66	1.8	2.54	5.65	0.45	10.46

VIII.4.5 Vérification conditions d'autocurage

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

- V> 0.6 m/s pour Q=0.1Qps
- V>0.3 m/s pour Q=0.01Qps

Tableau VIII -12 résultats de vérification auto curage des buses et dalots.

pk	N° BV	Ouvragep révus	Q_a (m^3/s)	Q_{ps} (m^3/s)	V_{ps} (m/s)	$Q = 0.1Q_{ps}$ $V_{écou} > 0.6\,m/s.$	$Q = 0.01Q_{ps}$ $V_{écou} > 0.3\,m/s.$
40+300	20	Dalot	14.21	21.37	5.34	3.40	1.68
41+850	21	Dalot	10.85	21.37	5.34	3.40	1.68
42+763	22	Buse	8.84	10.46	5.92	3.78	1.86
44+128	23	O.A	239.56				
47+530	24	Buse	16.66	10.46	5.92	3.78	1.86
49+850	25	Dalot	20.45	37.90	6.32	4.04	1.99
50+780	26	Dalot	10.26	21.37	5.34	3.40	1.68

53+290	27	Buse	8.44	10.46	5.92	3.78	1.86
54+210	28	Dalot	11.34	21.37	5.34	3.40	1.68
59+460	29	Dalot	4.30	9.92	4.41	2.81	1.39
60+000	30	Dalot	3.86	9.92	4.41	2.81	1.39

VIII.4.6 Exemple de calcul :

Tenant compte le bassin versant **N°28**

$Q_a = 11.34 \mathbf{m^3/s}$ $\quad \boldsymbol{I} = 1\%$ $\quad \boldsymbol{K_S} = 70$

On a $\quad \boldsymbol{b} = \frac{Q_a}{\sqrt{I} \times K_S} \times \frac{(1.6 \times h + b)}{0.8h}$

Pour $h = 2\ m$

Après le calcul itératif

$b_0 = 1.439$; $\quad b_1 = 1.573$; $\quad b_2 = 1.607$; $\quad b_3 = 1.61$; $\quad b_4 = 1.61$; $\quad b_5 = 1.61$

Donc $\quad b = 1.61$

On prend un dalot de $(2m \times 2m)$.

- **Vérification la condition pour assurer un écoulement fluviale est vérifiée :**

$H_{critique} = \sqrt[3]{\frac{{Q_a}^2}{g \times B^2}} = \sqrt[3]{\frac{11.34^2}{9.81 \times 2^2}} = 1.485\ m < 2\ m$ →La condition est vérifiée

- **Vérification les conditions d'auto curage :**

1^{ere} ***condition*** **:**

Pour $\boldsymbol{R_q} = \frac{\boldsymbol{Q_a}}{\boldsymbol{Q_{ps}}} = 0.1$ $\quad \rightarrow$ **il faut** $V_{écoulement} > 0.6\ m/s.$

$Rq = 0.1 \Rightarrow Rv = 0.638 = \frac{V}{V_{PS}} \rightarrow V = Rv \times Vps = 0.638 \times 5.34 = 3.4\ m/s$

$V = 3.4 \frac{m}{s} > 0.6 \frac{m}{s}$ $\quad \rightarrow$ $\quad la\ condition\ est\ vérifié.$

$2^{éme}$ ***condition*** **:**

Pour $\boldsymbol{R_q} = \frac{\boldsymbol{Q_a}}{\boldsymbol{Q_{ps}}} = 0.01$ $\quad \rightarrow$ **il faut** $V_{écoulement} > 0.3\ m/s$

$Rq = 0.01 \Rightarrow Rv = 0.315 = \frac{V}{V_{PS}} \rightarrow V = Rv \times Vps = 0.315 \times 5.34 = 1.68\ m/s.$

$V = 1.68 \frac{m}{s} > 0.3 \frac{m}{s}$ $\quad \rightarrow$ $\quad la\ condition\ est\ vérifié$

VIII.4.7 Dimensionnement des fossés:

Les fossés sont des ouvrages linéaires qui véhiculent les débits des eaux de surface drainées avec un écoulement à surface libre aussi bien de l'infrastructure que des bassins versants en interaction avec le projet afin de les acheminer vers un point de rejet (exutoire) hors de l'emprise de la voie ferrée.

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

$Q_s = {R_h}^{2/3}.I^{1/2}.k_s.S_m$

Avec :

La surface mouillée $S_m = (b + z.h).h$

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

Le rayon hydraulique $R_h = \frac{S_m}{P}$ avec : z la pente des berges.

Tableau VIII -13 Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai.

		Cas du déblai	Cas du remblai
		Le cas plus défavorable : -Longueur : 1025 m - Hauteur (max) :5.6 m	Le cas plus défavorable : - Longueur : 2600 m - Hauteur (max) :4.61 m
Les talus	Cr	0.53	0.53
	P (m/m)	1/2	1/2
	A (Km^2)	0.02223	0.03643
	Tc (h)	0.0267	0.0342
	I (mm/h)	378.165	314.86
	Q (m^3/s)	1.238	1.701
Plateforme	Cr	0.2	0.2
	P (m/m)	0.04	0.04
	A (Km^2)	0.0041	0.0104
	Tc (h)	0.0406	0.0647
	I (mm/h)	277.32	196.44
	Q (m^3/s)	0.063	0.114
Q_a(m^3/s)		$Q_t + Q_{pl} = 1.30$	$Q_t + Q_{pl} = 1.81$

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

$$\boldsymbol{Q_a < Q_S}$$

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

$$Q_S = 70 \times \sqrt{0.02} \times (0.50 + 1 \times 0.5) \times \text{h} \times \left(\frac{(0.5 + 1 \times 0.5) \times 0.5}{0.5 + 2 \times 0.5 \,.\sqrt{1 + 1^2}} \right)^{\frac{2}{3}} = 02.023$$

Donc la condition est vérifié.

En conclusion, les types des fossés adoptés pour notre projet sont :

- **En remblai :** un fossé de dimensions : h=0.50 m, b=0.50 m.
- **En déblai :** un fossé de dimensions : h=0.50 m, b=0.50 m.

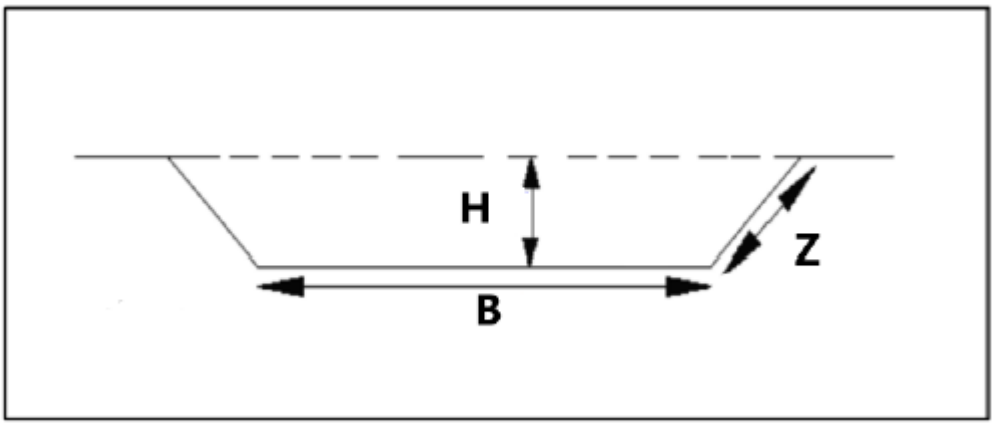


Figure VIII -6 Fosse trapézoïdale.

VIII.5 CONCLUSION

D'après l'étude hydrologique et hydraulique, on déduit que le tracé projeté comporte unvolet des travaux très important en termes d'ouvrages de drainage longitudinal et transversal.Ces travaux doivent être exécuté avec prise en priorité

CHAPITRE IX

CONCEPTION DES OUVRAGE D'AR

IX.1 INTRODUCTION

Un ouvrage d'art tout ouvrage permettant a une voie de circulation de franchir un obstacle naturel ou une voie de circulation terrestre.

La ligne ferroviaire projetée doit être dotée des ouvrages d'art pour assurer la perméabilité transversale, le franchissement des différentes infrastructures existantes ainsi que les cours d'eau et pour répondre aux exigences techniques et économiques, on constate les types d'ouvrage :

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

IX.2 LES CRITERES DE CONCEPTION DES OUVRAGES D'ART

IX.2.1 Critères appliqués aux ouvrages d'art :

Dans tous les cas, le choix du type d'ouvrage dépend des contraintes imposées. Ces dernières sont divisées en deux catégories :

- ❖ Situation de l'ouvrage.
- ❖ Exigences techniques. Toutefois, les contraintes dimensionnelles et fonctionnelles sont :
  - La voie portée, ou l'obstacle franchir.
  - Programme de charge.
  - Gabarit.
  - La topographie.
  - Tirant d'eau (cas d'une cour d'eau à franchir).
  - Adaptation architecturelle à la région.
  - Condition à respecter durant la conception.
  - Contrainte économique.

Pour notre projet :

- ➢ Les ponts sont a concevoir de manière a convenir a l'exploitation des trains a grande vitesse (220km/h) et à faciliter leur maintenance.
- ➢ Les types de ponts sont à choisir en prenant en compte la géométrie de tracé, les caractéristiques géomorphologiques et géotechniques.
- ➢ Les détails relatifs au sol des fondations des ouvrages d'art sont bases sur le ≪ Rapport d'investigation géotechnique »
- ➢ **01** pont rails, Pour le franchissement des routes par les ponts routent.

IX.3 LES OUVRAGES D'ART POUR NOTRE PROJET

OUVRAGE D'ART PK 44+128 PONT RAIL.
(FRANCHISSANT D'UN OUED DANS LA REGION OGLAT SEBINE)

IX.3.1 Géologie générale:

L'ouvrage d'art de PK 44+128 a pour cordonner UTM : X_{UTM} = 241 210,46 Y_{UTM}= 3 725 285,249.Il servira au franchissement d'un oued qui se situe au niveau de Arch Ouled Sour, plus précisément dans le lieu dit communément Oglat Sebine qui correspond à une région pratiquement plat.

Cet oued traverse des terrains attribués stratigraphiquement jurassique supérieur et constitués de bancs gréseux noirâtres à la patine en alternance avec les niveaux argileux verdâtres à violacés. Il présent au niveau du tracé, une largeur d'environ 60m.
Le sens d'écoulement des eaux est orienté globalement vers le Nord.

IX.3.2 Reconnaissance des sols

IX.3.2.1 Organisation et type de la reconnaissance "in situ" :

Le point de sondage SC. 10 : PK 44+140, d'une profondeur de 20m, se situe à environ 200m du bord droit de la route reliant Mécheria-Tousmouline, sur la rive droite de l'oued. Il a pour cordonnées UTM : X_{UTM} = 31241164 Sud et Y_{UTM} = 3725783 et une élévation d'environ 1165m (GPS) au dessus du niveau de la mer.

Le sondage carotté effectué a fourni au-dessous d'une terre végétale argilo-sableuse brunâtre (0,40m), une formation alluviale quaternaire (de 0,40m à 7,00m) représenté par des argiles sableuses qui se chargent par des galets arrondis, hétérométriques et hétérogènes.

Ces alluvions reposent sur des niveaux lacustre, formés par des calcaires blanchâtres, dur, d'aspect micro-conglomératique et présentant de nombreuse phénomènes de dissolution.

Cette formation lacustre d'âge tertiaire repose sur une sédimentation continentale d'âge crétacé inférieur. Cette dernière est formée essentiellement par argiles rouge ou bariolée et renfermant des fragments gréseux anguleux arrachés du substrat. Ce dernier est d'âge jurassique supérieur.

Il est matérialisé par une épaisse formation rocheuse à quelques intercalations argileuses.

IX.3.2.2 Sondage carotte:

Le sondage réalisé a traversé les formations géologiques décrites ci-après :

0.00m à 0.40m : Argile sableuse brunâtre.

0.40m à 7.00m : Argile sableuse moyennement consolidée blanchâtre, beigeà verdâtre et renfermant des galets arrondis, hétérométriques et hétérogènes.

7.00m à 8.60m : Calcaire beige, grisâtre à blanchâtre, dur, renfermant des éléments d'ordre millimétrique et anguleux, et présentant nombreuse phénomènes de dissolution.

8.60m à 15.50m : Argile rouge, tachetée du vert à bariolée au sommet renfermant, à certains niveaux, quelques fragments millimétriques de roches hétérogènes et des fragments gréseux centimétriques et anguleux, vers la base.

15.50m à 20.00m : Grès grisâtre à verdâtre, dur et admettant quelques passées argileuses verdâtres.

IX.3.3 Essais « in situ »:

En raison de la nature alluvionnaire des formations géologiques rencontrées au droit du sondage carotté SC10, (Argile sableuse associée à des galets, calcaire beige, Argile rouge et tachetée du vert à bariolée au sommet, renfermant quelques fragments millimétriques de roches hétérogènes et des fragments gréseux centimétriques et anguleux et grès grisâtre à verdâtre, dur

et admettant quelques passées argileuses verdâtres), aucun essais in situ, aussi bien l'essai préssiométrique que l'essai SPT, n'a été jugé utile d'être réalisé.

IX.3.4 Essais en laboratoire:

IX.3.4.1 Organisation des essais réalises en laboratoire :

Les essais physiques et mécaniques de laboratoire prévus par le bureau d'études PÖYRY au niveau de ce sondage ont été réalisés sur cinq (05) échantillons (3 échantillon rocheux + 2 échantillon meubles, intact et remanié) issus des principales formations révélées par le sondage SC.10. Voir tableau récapitulatif des résultats des essais de laboratoire en annexe de ce sondage.

IX.3.5 Stabilité d'ensemble:

Le site retenu pour l'implantation de l'ouvrage (pont rail) ne semble pas présenter de risques apparents d'instabilité naturelle liés à des problèmes de glissement.

Des risques d'érosion des berges et d'affouillements du lit de l'oued sont par contre à craindre, en raison de la nature argilo-sableuse en surface (sur au moins les sept premiers mètres au droit du sondage SC.10). Par conséquent les fondations des appuis devront être nécessairement ancrées à une profondeur jugée suffisante les mettant à l'abri des affouillements avec mise en place d'une protection pour éviter le phénomène du déchaussement des fondations (notamment des culées) qui est à craindre dans de tels milieux.

Par ailleurs, il convient de signaler que les abords d'Oued sis dans la région d'Oglat Sebine constituent une zone inondable pendant les phases de crues. A cet effet, il est impératif de protéger les appuis de l'ouvrage (culées) par des rideaux de palplanches, par exemple, battus jusqu'au refus et soudés avec les armatures de leur fondation.

Les talus des remblais d'accès à l'ouvrage devront être, eux aussi, protégés des eaux par des revêtements en maçonnerie ou en béton et ce, le long du périmètre inondable, sur la hauteur maximale pouvant être atteintes par les eaux.

Aussi, il est indispensable d'assurer un drainage efficace et rigoureux au dessous des remblais d'accès à l'ouvrage projeté et ceux de la plate forme.

Pour cela on pourra adopter la mise en place d'enrochements sous ces remblais, afin de faciliter la circulation des eaux et d'éviter surtout de créer une digue.

A noter que les qualités drainantes peuvent être améliorées par l'utilisation de géotextile. La possession des données réelles du projet (surtout hydrologiques et hydrogéologique concernant le régime des écoulements), permet de déterminer les modalités d'exécution, de définir les conditions de mise en œuvre du remblai et de veiller en général à la stabilité ainsi qu'à la sécurité du futur ouvrage à construire.

IX.3.6 Fondations des ouvrages:

L'ensemble des résultats des essais réalisés et notamment la nature alluvionnaire des formations géologiques supérieures qui se développe sur une épaisseur importante (sur au moins 7.00m au droit du SC.10), nous a permis de proposer des fondations profondes pour les appuis de l'ouvrage projeté.

On optera par conséquent pour des pieux en béton armé forés et tubés avec tubage récupéré, de diamètre (**D= 1.20m**) et fiché à **17.50m** de profondeur sous le niveau du terrain naturel (dans la

formation des grès grisâtres à verdâtres qui renferme quelques passées d'argiles verdâtres).

IX.4 DRAINAGE DES OUVRAGES D'ARTS

Compte tenu de la maintenance du pont, les tuyaux d'évacuation d'eau pluviale sont a installer sur les côtés latéraux du tablier afin de prévenir la détérioration et la décoloration, causées par la fuite d'eau éventuelle sur la surface supérieure du pont.

La section en coupe doit être en forme circulaire. Compte tenu de l'évacuation d'eau du tablier, le dévers de ce dernier est de **2%** vers les deux cotes depuis l'axe central du pont.

L'emplacement des trous d'évacuation d'eau est choisi en prenant en compte la configuration structurelle du pont et la pente longitudinale. Le débit de conception retenu pour l'évacuation des eaux de surface est le débit décennal.

IX.5 CONCLUSION

- Les ouvrages d'art de la nouvelle ligne électrifiée Mechria / El Bayadh sur **20 km** sont des ouvrages d'arts simple cadre.
- Les oueds sont été modifies par des canaux d'assainissements.

CHAPITRE X

CONCEPTION DE LA GARE

X.1 INTRODUCTION

Un gare ferroviaire est le lieu d'arrêt des trains, elle comprend diverses installations qui ont une double fonction, Permettre la montée ou la descente des voyageurs, ou le chargement et le déchargement des marchandise.et se présente aussi comme un espace de plus en plus complexe qui assure de nouveaux services aux voyageurs.

X.2 INSTALLATIONS D'UNE GARE VOYAGEURS

Dans une gare ferroviaire, on peut trouver plusieurs installations et constructions selon le type, la conception et la catégorie de la gare :

- **Le bâtiment de voyageurs(B.V) :** c'est un espace réservé aux voyageurs dans lequel on peut trouver une salle d'attente, guichet de billet, poste de sécurité, kiosque...etc.
- **Les bâtiments à usages divers (B.U.D) :** c'est un espace de service réservé aux agents de chemins de fer.
- **Quais :** c'est une bande parallèle à la voie ferrée qui permet l'accès 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 :** ils sont construits dans les gares afin de permettre aux voyageurs de traverser la voie et de changer le quai en pleine sécurité.

X.3 INSTALLATIONS D'UNE GARE MARCHANDISES

Les installations de la base d'une gare de marchandises sont :

- Un BS (bâtiment de service) pour accomplir les formalités de l'acte commercial.
- Des cours de débord pour embarquement et débarquement des marchandises.
- Quais de débord.
- Halle de stockage.
- Parking pour stationnement des véhicules.

X.4 RESEAU DE VOIE

X.4.1 Garage Franc:

Le garage franc marque la limite de la partie de voie à occuper par les trains en gares. Sur la position du garage franc théorique l'entraxe entre les deux voies est de 3,57 m, il assure qu'il y'aura pas de collision entre le train dévié et le train dans la voie principale.

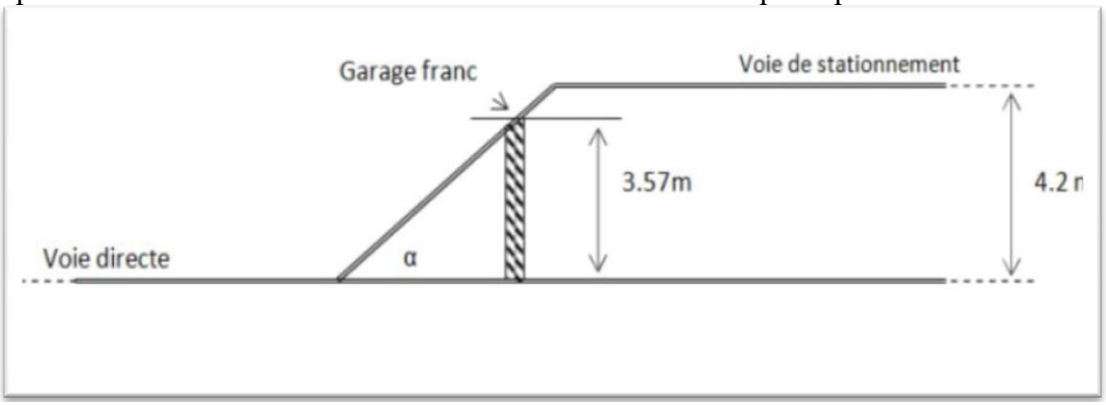


Figure X-1 l'emplacement du garage franc GF.

Le garage franc est implanté par rapport au cœur de l'appareil de voie à une distance qui positionne l'élément GF :

$$GF = 3.57 \times N + 1$$

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

En raison de la sécurité, le garage franc sera installé à 1,0 m de distance du garage franc théorique.

X.4.2 La marge de glissement à l'aval des signaux :

La marge de glissement est la section de voie située dans le prolongement d'un parcours train à l'aval d'un signal fermé, sur laquelle aucune autre circulation de train n'est autorisée.

Elle a pour but de minimiser les conséquences d'un accident et même, en cas d'interdiction d'occupation d'éviter une collision lorsqu'un train n'a pas pu être arrêté avant cette marge.

Les longueurs de la marge de glissement sont définies selon la norme UIC 739 comme suit:

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

- 200m pour V ≥ 60 km/h.
- 100m pour 40km/h ≤ V ≤ 60 km/h.
- 50 m pour V < 40 km/h.
- 50m : à l'aval des signaux de blocs.

X.4.3 Le heurtoir:

Un heurtoir est un dispositif placé à l'extrémité d'une voie ferrée pour arrêter d'éventuel véhicule en dérive et les empêcher de continuer leur chemin en dehors de la voie, conçue pour absorber l'énergie cinétique des trains qui les heurtent par l'intermédiaire des tampons.



Figure X-2 un heurtoir.

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

C'est la longueur nécessaire permettant au train de stationner sur la voie de dépassement

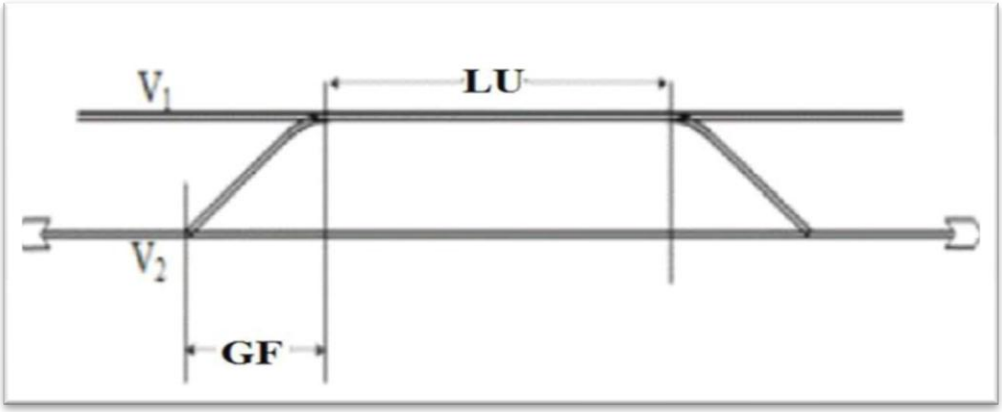


Figure X-3 longueur utile d'une voie.

Elle est donnée par la formule suivante :

$$\boldsymbol{LU = LG + LS + LT + LA + Lc}$$

- ***LU*** **:** longueur utile.
- ***LG*****:** longueur de glissement.
- ***LS*** **:** longueur de sécurité.
- ***LT*****:** longueur maximale de train.
- ***LA*** **:** marge de tolérance d'arrêt.
- ***Lc*** **:** tronçon d'isolation pour le système de contrôle.

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

- La longueur utile minimale pour les trains voyageurs est: 426 m.
- La longueur utile minimale pour les trains de marchandise est : 870 m.

X.5 LA GARE DE TOUSMOULINE

X.5.1 Localisation de la gare:

La gare de tousmouline est située entre el bayedh et la ville de Méchria ,elle commence au PK 52+147et se termine au PK 54+500 , dans une extension de 2352 mètres. Le bâtiment de voyageurs étant situé au PK 53+965.

La gare est composée de deux gares :

- la gare de voyageurs de PK 53+282,662 jusqu'au PK 54+500.
- la gare de marchandise de PK 52+305,336 jusqu'au PK 53+345,998.

La rentré et la sortie de la gare se fait par la voie **VA** qui est la voie principale.

Les voies $\mathbf{V_4}$,$\mathbf{V_3}$ sont des voies qui vont recevoir les trains de passagers. Ces voies ont des accès aux quais. Sur ces voies les trains de passagers vont venir, arrêter et redémarrer dans toutes les directions.

X.5.2 Caractéristique géométrique de la gare :

X.5.2.1 Les quais:

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

Tableau X-1 Les caractéristiques géométriques du quai.

Quai	Norme SNTF	Valeur retenue pour la gare de Tousmouline
Largeur	– Quai intermédiaire B > 8 m. – Quai extérieur B ≥ 6 m.	B= **8 m** pour le quai intermédiaire B= **6m** pour le quai extérieur
Hauteur	– Quai bas h= 35 cm – Quai mi- haute h= 55 cm – Quai haute 76 ≤ h ≤ 100 cm.	un quai mi- haute h= 55 cm.
Longueur	– Grande ligne 450m – Service régional 350 m – Banlieue 225 m.	L = 225 m
Entraxe des quais	– e normal > 11.3 – e minimal > 9.3	e = 23 m
Abris de quai	SNTF aménagement et gare tracé des voies	Nombre des abris : 02 Largeur : 3 m Longueur : 12 m Entraxe entre les abris : 60 m La hauteur: 3.10 m

X.5.2.2 L'entraxe entre les voies :

- Entraxe nominal : e = 5m.
- Entraxe minimale : e = 4.5m.

X.5.2.3 Distance de bords de quais par rapport l'axe de la voie :

La gare de Tousmouline elle est située en alignement droit donc $R = \infty$

$$L\,(mm) = 1650 + S$$

$$Avec: S = \frac{3750}{R} + \frac{I - 1435}{2}$$

I : l'écartement de la voie (mm)

AN:

$$S = \frac{3750}{\infty} + \frac{1435 - 1435}{2} = 0$$

$$L\,(mm) = 1650 + 0$$

$$L = 1650\,mm$$

X.5.2.4 Les appareils de voie:

Pour permettre la liaison entre les différentes lignes, il a été nécessaire de placer 20 appareils de changement de voie dont leurs caractéristiques sont présentées en (**Tableau X-2**).

Tableau X-2 Appareils de Changement de Voie.

N	Type	Rayon (m)	Tangent	Vitesse (Km/h)	Diviation
AP01	60E1	1200	1/18.5	90	G
AP20	60E1	1200	1/18.5	90	G
AP03	60E1	300	1/9	50	G
AP04	60E1	300	1/9	50	G
AP05	60E1	190	1/7.5	40	G
AP06	60E1	190	1/7.5	40	D
AP07	60E1	300	1/9	50	D
AP08	60E1	1200	1/18.5	90	G
AP09	60E1	300	1/9	50	D
AP10	60E1	1200	1/18.5	90	G
AP11	60E1	1200	1/18.5	90	D
AP12	60E1	1200	1/18.5	90	D
AP13	60E1	1200	1/18.5	90	D
AP14	60E1	1200	1/18.5	90	G
AP15	60E1	300	1/9	50	G
AP16	60E1	300	1/9	50	D
AP17	60E1	1200	1/18.5	90	G
AP18	60E1	1200	1/18.5	90	D
AP19	60E1	1200	1/18.5	90	D
AP20	60E1	1200	1/18.5	90	D

Ainsi que **5** courbes en plan sont présentés dans le (**Tableau X-3)**

Tableau X-3 Caractéristiques des courbes de voie

Courbe N°	Rayon (m)	Longueur (m)
C01	300.00	34.4640
C02	900.00	48.1000
C03	900.00	48.6090
C04	900.00	51.6320
C05	900.00	48.7860

X.5.2.5 La passerelle:

Elle permet le franchissement sans risque des voies pour accéder au quai on trouve :

- passerelle supérieure.
- passerelle sous-terraine.

Pour notre projet un passage souterrain **au PK 54+001** est conçu pour les déplacements des passagers au sein de la gare, entre les quais et le bâtiment de voyageurs.

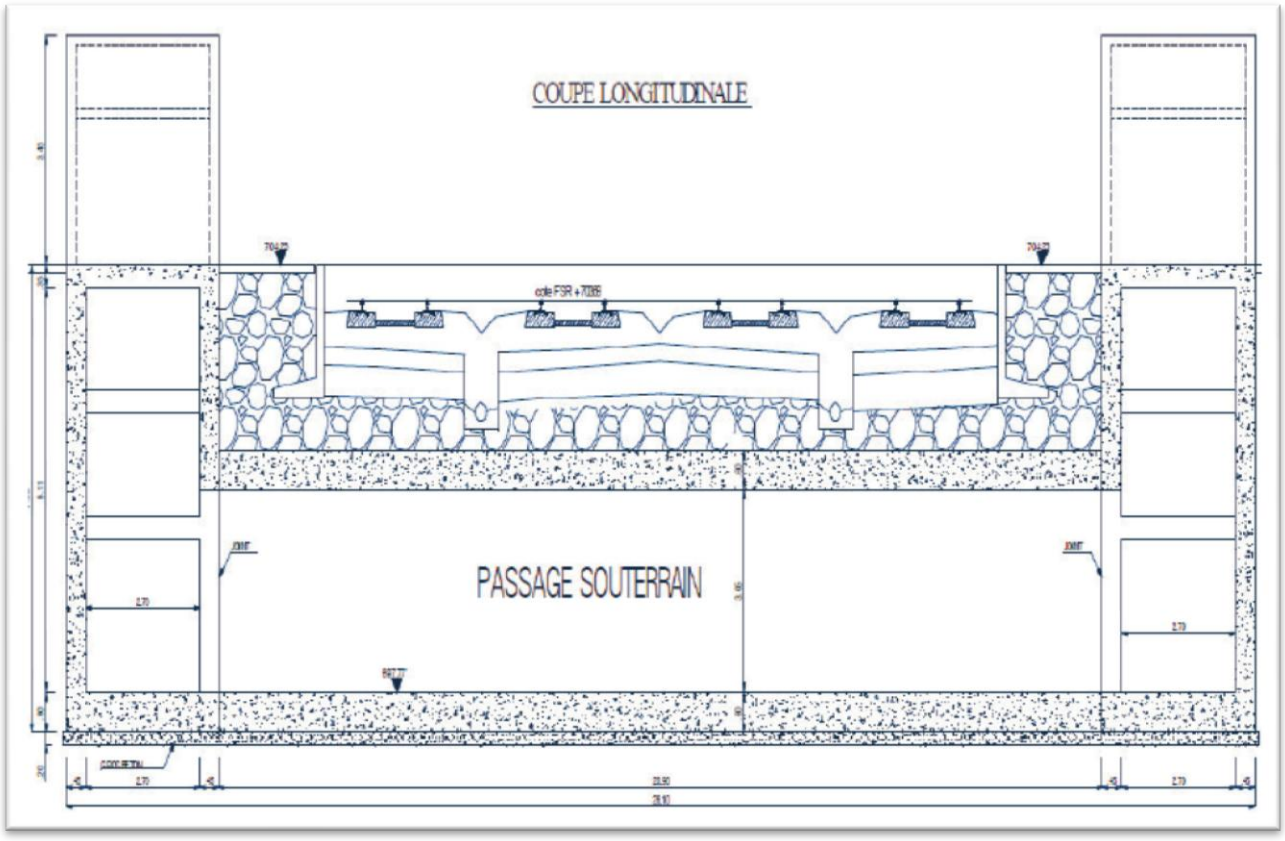


Figure X-4 coupe longitudinale de passage souterrain.

X.6 ASSAINISSEMENT DE LA GARE

X.6.1 Assainissement transversale:

Pour faciliter le ruissellement des eaux pluviales dans les gares, les quais doivent avoir une pente de 2% en toit ou en V selon le cas de telle sorte à évacuer ces eaux vers les voies ensuite ces eaux sont évacuées grâce aux pentes transversales des plates-formes.

X.6.2 Assainissement longitudinal:

Les drains disposés longitudinalement avec des pentes de 4%, permettent de recueillir les eaux de ruissellement qui s'infiltrent dans le ballast et la plate-forme et les évacuer vers le réseau d'assainissement via les regards de visite.

CHAPITRE XI

ETUDE ENVIRONNMENTALE ET SOCIAL

XI.1 INTRODUCTION:

Techniquement, l'étude d'impact vise à déterminer l'insertion d'un projet dans son environnement en identifiant et en évaluant les effets directs et/ou indirects du projet, et vérifie la prise en charge des prescriptions relatives à la protection de l'environnement par le projet concerné.

D'un point de vue légal, l'étude d'impact sur l'environnement est un document exige en vue de l'obtention de l'autorisation administrative d'un projet pouvant avoir des impacts négatifs sur l'environnement. Les principales étapes d'une l'EIE :

- ✓ Délimitation de la zone d'étude.
- ✓ Analyse de l'état initial.
- ✓ Evaluation des impacts.
- ✓ d'insertion (ou d'intégration): Mesures préventives, réductrices et compensatoires.
- ✓ Suivi et Bilan environnemental.

XI.2 CONTEXTE JURIDIQUE

La politique Algérienne de préservation de l'environnement s'insère d'une part dans le processus de mise en place de projet de développement respectueux des conventions internationales entérine par l'Algérie. Une politique qui vise la mondialisation et l'ouverture des frontières et d'autre part dans un cadre législatif très riche qui témoigne de l'intérêt porte depuis plusieurs années à la protection des ressources naturelles du pays, les différentes lois et décrets qui s'appliquent sur notre projet sont les suivants :

Tableau XI-1 Contexte juridique.

Rubrique	Lois/décrets/ordonnances
Protection de l'environnement et développement durable	❖ Loi n° 83-03 du 05 février 1983 relative à la protection de l'environnement. ❖ Loi nº 03-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. ❖ Loi n° 01-20 du 12 Décembre 2001 relative a l'aménagement et au développement durable du territoire. ❖ Loi n°04-20 du 25 Décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.
Etude d'impact sur l'environnement	❖ Décret n° 87-91 du 21 avril 1987 relatif à l'étude d'impact d'aménagement du territoire. ❖ Décret exécutif n° 07-145 correspondant au 19 mai 2007 Ce décret détermine le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des Etudes et des notices d'impact sur l'environnement.
Eaux & Zones Humides	❖ Loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 relative à l'eau. ❖ Ordonnance n°09-02 du 29 Rajab 1430 correspondant au 22 juillet 2009 modifiant et complétant la loi n°05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 Aout 2005 relative a l'eau. ❖ Loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux. ❖ Décret exécutif n° 93-163 du 10 juillet 1993 portant institution d'un inventaire du degré de pollution des eaux superficielles. ❖ Décret n° 82-439 du 11 décembre 1982 portant adhésion de l'Algérie a la convention relative aux zones humides, d'importance internationale.
Faune et Flore	❖ Loi n°84-12 du 23 juin 1984 portant régime général des forets. ❖ Loi n° 91-20 du 2 décembre 1991, modifiant et complétant la loi n° 84- 12 du 23 juin 1984 portant régime général des forets. ❖ Décret exécutif n° 12-03 du 10 Safar 1433 correspondant au 4 janvier 2012 fixant la liste des espèces végétales non cultivées protégées. ❖ Décret présidentiel n° 02-400 du 20 Ramadhan 1423 correspondant au 25 novembre 2002 portant ratification de la convention internationale pour la protection des végétaux.

	❖ Ordonnance n°75-43 du 17 juin 1975 portant code pastoral. ❖ Loi n°83-18 du 13 Aout 1983 relative à l'acquisition et la protection foncière agricole. ❖ Décret exécutif n° 12-235 du 3 Rajab 1433 correspondant au 24 mai 2012 fixant la liste des espèces animales non domestiques protégées. ❖ Loi n° 06-14 du 22 Chaoual 1427 correspondant au 14 novembre 2006 portant approbation de l'ordonnance n° 06-05 du 19 Joumada Ethania 1427 correspondant au 15 juillet 2006 relative à la protection et à la réservation de certaines espèces animales menacées de disparition. ❖ Ordonnance n° 06-05 du 19 Joumada Ethania 1427 correspondant au 15 juillet 2006 relative à la protection et à la préservation de certaines espèces animales menacées de disparition. ❖ Loi n°04-07 du 27 Joumada Ethania 1425 correspondant au 14 aout 2004 relative à la chasse.
Les Aires protégées	❖ La loi n° 11-02 du 17 février 2011 et ces articles, relative aux aires protégées : - **Parc national** : Protéger l'intégrité d'un ou de plusieurs écosystèmes (conservation et la protection de région naturelles uniques, en raison de leur diversité biologique, tout en les rendant accessibles au public a des fins d'éducation et de recréation) **(Art.5).** - **Parc naturel :** Assurer la préservation, la protection et la gestion durable de milieux naturels, de la faune, de la flore, d'écosystème et de paysages représentatifs et /ou significatifs d'une région **(Art.6)**. - **Réserve naturel intégrale :** Assurer la protection intégrale d'écosystèmes, ou de spécimens de faune ou de flore rares méritant une protection intégrale **(Art.7).** Dans la réserve naturelle intégrale, il est interdit : (i) de résider, de pénétrer, de circuler ou de camper, (ii) toute forme de chasse ou de pèche , (iii) d'abattage ou de capture de la faune , (iv) de destruction ou de collection de la flore, (v) toute exploitation forestière , agricole ou minière, (vi) toute pâturage, (vii) toute fouille ou prospection , toute sondage, (viii) terrassement ou construction, (ix) tout travaux tendant à modifier l'aspect du terrain ou de la végétation, (x) tout acte de nature a nuire a la faune ou à la flore toute introduction ou évasion d'espèces animales ou végétales **(Art.8) .** - Y sont autorisées et réglementées des activités ponctuation à des fins de recherche scientifique ou ayant un caractère d'urgence et d'importance nationale. Des projets d'intérêt national peuvent être implantés dans la réserve naturelle intégrale après approbation du conseil des ministres. L'extension ou la transformation du type de ces projets ne peut s'effectuer qu'après approbation du conseil des ministres **(Art .9).** - **Réserve naturelle :** Conservation, de protection et / ou de restauration des espèces de faune, de flore, des écosystèmes et des habitats (toutes les activités humaines y sont réglementées **(Art .10).** - **Réserve de gestion des habitas et des espèces :** Assurer la conservation des espèces et de leurs habitats le maintien des conditions d'habitats nécessaire a la préservation et à la protection de la diversité biologique **(Art .11).** - **Site naturelle :** Tout espace contenant un ou plusieurs éléments naturels d'importance environnementale et notamment les chutes d'eau, les cratères et les dunes de sables **(Art .12).** - **Corridor biologique :** Tout espace assurant la liaison entre écosystème ou entre différents habitats d'une espèce ou d'un groupe d'espèces interdépendantes permettant sa dispersion et sa migration **(Art .13).**
Patrimoine culturel Et sites archéologiques	❖ Loi n°98-04 du 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel dans ses dispositions relatives aux territoires archéologiques et historiques. ❖ Ordonnance n° 67-281 du 20 décembre 1967 relative aux fouilles et à la protection des sites et monuments historiques et naturels. ❖ Loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative a la gestion, au contrôle et a l'élimination des déchets. ❖ Décret n° 87-182 du 18 août 1987, relatif aux huiles à base de polychlorobiphényles (PCB), aux équipements qui en contiennent et aux matériaux contaminés par ce produit. ❖ Décret exécutif n° 93-161 du 10 juillet 1993 réglementant le déversement des huiles et lubrifiants dans le milieu naturel. ❖ Décret exécutif n° 93-162 du 10 juillet 1993 fixant les conditions et les modalités de récupération et de traitement des huiles usagées. ❖ Décret exécutif nº 06-141 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. ❖ Décret exécutif n05-315 correspondant au 10 septembre 2005 fixant les modalités de déclaration des déchets spéciaux dangereux.

Transport	❖ Décret exécutif n° 90-79 du 27 février 1990, portant réglementation du transport des matières dangereuses. ❖ Décret présidentiel n° 90-198 du 30 juin 1990 portant réglementation des substances explosives.
Emission atmosphérique	❖ Décret exécutif nº 06-138 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle. ❖ Décret exécutif n03-410 du correspondant au 5 novembre 2003 fixant les seuils limites des émissions des fumées, des gaz toxiques et des bruits par les véhicules automobiles. ❖ Décret exécutif n°93-184 du 27 juillet 1993 réglementant l'émission des bruits.
Installations Classes	❖ Décret exécutif n° 98-339 du 03 novembre 1998, définissant la réglementation applicable aux installations classées et fixant leur nomenclature. ❖ Décret exécutif nº 06-198 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement.
Hygiène et Sécurité	❖ Une loi n°88-07 du 26 janvier 1988 relative a l'hygiène, à la sécurité et a la médecine du travail. ❖ Décret exécutif n°91-05 du 19 janvier 1991 relatif aux prescriptions générales de protection applicables en matière d'hygiène et de sécurité en milieu de travail. ❖ Décret exécutif n°02-247 du 3 Chaoual 1423 correspondant au 7 décembre 2002 relatif aux conditions d'organisation de l'instruction, de l'information et de la formation des travailleurs dans le domaine de la prévention des risques professionnels. ❖ Décret exécutif n°05-08 du 8 janvier 2005 relatif aux prescriptions particulières applicables aux substances, produits et préparations dangereuses.
L'expropriation	❖ Loi nº 91-11 fixant les règles relatives à l'expropriation pour cause d'utilité publique. ❖ Décret exécutif nº 93-186 déterminant les modalités d'application de la loi nº 91-11 fixant les règles relatives à l'expropriation pour cause d'utilité publique. ❖ Décret exécutif nº08-202 complétant le décret exécutif nº 93-186 déterminant les modalités d'application de la loi nº 91-11 fixant les règles relatives à l'expropriation pour cause d'utilité publique. ❖ Décret exécutif nº05-248 complétant le décret exécutif nº 93-186 déterminant les modalités d'application de la loi nº 91-11 fixant les règles relatives à l'expropriation pour cause d'utilité publique.

XI.3 DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE :

L'étude d'impact doit définir et justifier les limites de la zone d'étude qui correspond en quelque sorte à la zone d'influence du projet. Puisque notre trace est dans la ville d'El-Bayadh**,** donc on vas prendre cette ville comme une zone d'étude.

Les limites de la Wilaya d'El-Bayadh sont :

-Au Nord : Saida et Tiaret.
-A l'Est : Laghouat - Ghardaïa.
-A l'Ouest : Sidi BelAbbés - Nâama.
-Au Sud - Ouest : Bechar.
-Au Sud - Est : Adrar.

XI.4 L'ANALYSE DE L'ETAT INITIAL :

Elle comporte l'Analyse du :

- ❖ Milieu physique.
- ❖ Milieu biologique.
- ❖ Milieu humain (socio-économique).
- ❖ Paysage et patrimoine.

XI.5 IDENTIFICATION DES SOURCES D'IMPACT

Pour mieux appréhender les interactions entre les éléments impactés des milieux biophysique et humain et les activités sources d'impacts et identifier les impacts, une grille d'interrelation a été conçue. Cette grille permet d'examiner pour chaque activité source d'impact du projet de chemin de fer Mechria El-Bayadh, ses effets potentiels sur les composantes du milieu récepteur.

Tableau XI-2 Grille d'identification des impacts sur les milieux biophysique et humain

Phases du projet	Activités sources d'impact	Composantes environnementales								
		Milieu biophysique					Milieu humain			
		sol	eaux	air	végétation	faune	Affection des terres	santé	bruit	emplois
Pré-construction/construction	Travaux de dégagement des aires des bases vie (organisation des chantiers, notamment la mise en place des ateliers, garages et magasins, habitations du personnel).	-	-	-	-		-		-	+
	Transport des équipements et matériaux de construction.			-	-	-				+
	Travaux de préparation de l'emprise.	-	-	-	-	-	-	-	-	+
	Travaux d'ouverture de territoire (emprunts et pistes).	-	-	-	-	-	-	-	-	+
	Travaux de terrassement (remblais et déblais).	-	-	-		-		-	-	+
	Installation des rails et la construction des ouvrages connexes.	-	-			-		-	-	+
exploitation	Utilisation du chemin de fer.	-				-			+	+
	Travaux d'entretien des rails et ouvrages connexes.	-	-	-	-			-	-	+

Légende
(+) : impacte positif.
(-) : impacte négatif.

- Évaluation des impacts prévisibles et effets cumulatifs est montre dans **l'annexe** en détaille.

XI.6 MESURES D'INSERTION (D'INTEGRATION)

XI.6.1 Milieu physique :

- **Sols et géologie** : Plusieurs filières d'élimination des déblais sont envisageables :
  - Valorisation et en matériaux de remblai.
  - Dépôt en décharge agrée ou une ancienne carrière.
  - Stockage définitif à terre.
- **Hydrologie** : En phase de travaux, les principales mesures consisteront en la mise en place de dispositifs de collecte et de traitement des effluents de chantier par décantation (bassins provisoires) notamment pour éviter les apports massifs de MES dans les cours d'eau, avec notamment :
  - La réalisation des décapages juste avant les terrassements.
  - La mise en végétation immédiate des talus, des fossés et berges de cours d'eau, en saison favorable.
  - La mise en œuvre d'une toile de protection dans les secteurs sensibles a l'érosion.
  - Le ralentissement du cheminement de l'eau dans les fossés provisoires ou définitifs en pieds de talus (écrans filtres mobiles avant rejet dans les cours d'eau et enherbement des fosses).
  - Le traitement des eaux de chantier dans des bassins de décantation/ filtration provisoires avant rejet dans les cours d'eau sensibles.
  - Le rejet a l'aval des captages, au-delà de leur aire d'alimentation après décantation.
  - Drainage et collecte des eaux de ruissellement issues des terrassements dans des bassins de décantation avant rejet dans le cours d'eau.



Figure XI-1 ouvrage hydraulique provisoire sous la piste de chantier.



Figure XI-2 mise en place d'un filtre dans un fossé longitudinal.

XI.6.2 Milieu biologique

- **La flore :**
  - ✓ Eviter les dépôts de matériaux dans la zone humides et sensibles.
  - ✓ La propagation de la poussière sera limitée par l'arrosage des voies de circulation sur le chantier par temps sec.
- **La faune :**
  - ✓ Mettre en place des clôtures de protection pour la sécurité des animaux.
  - ✓ Installation des dispositifs dissuasifs pour éviter que les oiseaux se posent sur les poteaux d'électrification.

- ✓ Des ouvrages de franchissement : passage à faune / passage mixtes doivent être conçu afin de limiter les allongements de parcours et à désenclaver toutes les parcelles et faciliter les déplacements d'animaux d'élevages.

- **Les espaces boisés :**
  - ✓ Les arbres de la ceinture verte doivent être déplacé et non pas déboisé.
  - ✓ La mise en place de clôtures provisoires ou de dispositifs de protection des fûts vis-à-vis des chocs.



Figure XI-3 passage à grande faune.

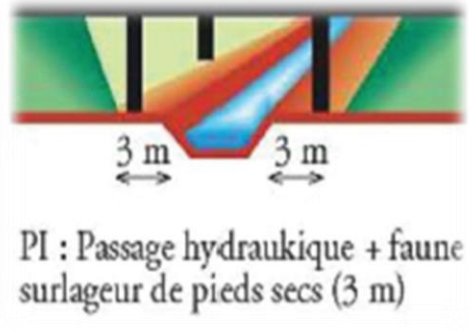


Figure XI-4 passage hydraulique et passage petite faune.

XI.6.3 Milieu humain

- **Les activités agriculture :**
  - ✓ Afin de remédier à la destruction des parcellaires, une procédure efficace peut être mise en œuvre : le réaménagement foncier.
  - ✓ Remise en état des terres pour leur réutilisation pour les cultures dans les sites de dépôts.
  - ✓ Limitation des émissions de poussières (vitesse limitée, arrosage des pistes en cas de besoin).
- **Mesure de compensation pour l'expropriation des bâtis :**

Selon la réglementation Algérienne en vigueur, notamment la « Loi nº 91-11 fixant les règles relatives à l'expropriation pour cause d'utilité publique », qui indique que toute personne déplacée doit être indemnisé et avoir un bien être équivalent ou meilleur que celui d'avant.

XI.6.4 Passage et patrimoine

- **Mesures de réduction concernant l'impact sur le paysage :**
  - ✓ Remise en état des lieux après les travaux.
  - ✓ Dépôt des excès de matériaux dans une décharge autorisée ou une ancienne carrière.
  - ✓ Adoucissement et végétalisation des talus dans la phase exploitation afin de minimiser l'impact visuel.

XI.6.5 Milieu ambiant

- **Le bruit (Protection par des écrans acoustiques et des merlons) :**

Pour limiter la propagation des ondes sonores, il existe deux types de protection à la source :

- ✓ La mise en place d'une butte en terre, nommée merlon ;
- ✓ La mise en place d'un écran acoustique.



Figure XI-5 protection par écran antibruit (écran acoustique).



Figure XI-6 protection par butte de terre (merlon).

- **Qualité de l'air :**
  - ✓ 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 sensibles1 à la poussière.
  - ✓ Utilisation de véhicules aux normes (échappement et taux de pollution) et contrôle régulier de leur respect.

XI.7 PHENOMENE D'ENSEMBLEMENT ET DE DESERTFICATION

XI.7.1 Processus et dynamique de l'ensablement :

On parle d'ensablement lorsque les vents ou les eaux transportent les grains de sable qui vont s'accumuler quelque part au bord d'un cours d'eau, sur des terres cultivées ou incultes.

Sous l'action du vent, les accumulations sableuses s'amoncèlent et forment des dunes.
Ces dunes sableuses occasionnent en se déplaçant :

- ✓ L'ensablement des terres de cultures, des points d'eau et des infrastructures ;
- ✓ La baisse de la production agro-pastorale.
- ✓ L'exode et le déplacement des villages sous la pression des dunes mouvantes.
- ✓ Lorsque toutes ces conditions sont réunies, on dit que le milieu est sensible à l'érosionéolienne.



Figure XI-7 phénomène d'ensablement sur la vois.

XI.7.2 Perspectives de lutte contre la désertification et la pollution du ballast :

Le tracé passe par une zone qui connaît des phénomènes de désertification et des zones à accumulation sableuses. De ce fait le projet peut agir de manière positive ou négative sur l'environnement et l'écologie de la zone du projet parce que la voie ferrée peut être un obstacle et occasionner la formation de dunes de sable et accentuer une désertification annoncée.

La fixation des dunes et la lutte contre l'ensablement recourent essentiellement aux techniques mécaniques visant à réduire le phénomène de saltation :

- ✓ Soit stabiliser le sol et les masses sableuses en mouvement.
- ✓ Soit réduire le gradient de vitesse du vent au voisinage de la surface du sol ce qui empêche la formation de dépôts de sable.

Ces techniques, malgré leur variabilité apparente, se subdivisent en trois groupes :

- **Technique de palissade** : La phase initiale de la lutte contre l'ensablement consiste à freiner le mouvement du sable en érigeant des palissades de 1 à 1,5 m de hauteur, afin de provoquer à leur niveau une accumulation de sable qui permettra la formation d'une dune artificielle.
- **Le mulching ou écran protecteur** : Consiste à recouvrir le sable d'une couche protectrice pour supprimer l'action du vent au niveau du sol et empêcher le phénomène de saltation. L'expérience Algérienne qui date déjà d'une dizaine d'années à porte d'excellents résultats.
- **La technique aérodynamique** : Le principe de base est d'utiliser la force du vent pour faciliter le transport du sable au niveau des sites à protéger et éviter son accumulation.
- **Fixation biologique** : Lorsque les dunes ont été stabilisées mécaniquement, il est possible de les fixer définitivement par l'installation d'une végétation arborée et herbacée pérenne.
  - **Le reboisement** : Il s'agit de l'installation d'une couverture végétale vivante à base d'espèces locales ou introduites et qui peuvent être arborées, arbustives ou herbacées.
  - **La bande forestière** : Les bandes forestières sont des plantations de forme linéaire installées le long des principaux axes routiers et conçues comme de véritables corridors forestiers. Elles permettent également de briser la monotonie due au manque de relief.
  - **La ceinture verte** : Ce sont des plantations réalisées au tour des agglomérations. Elles se créent pour humaniser les centres de vie et fixer les sols aux alentours.

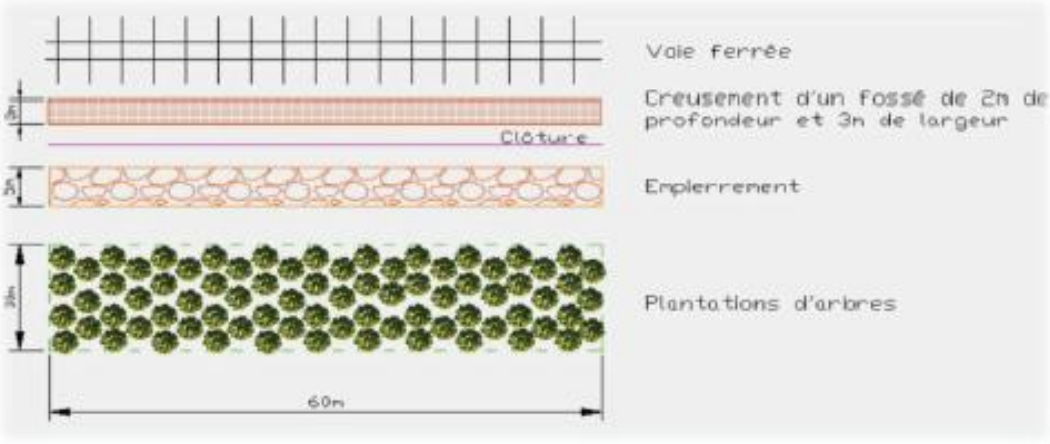


Figure XI-8 en plan de solutions proposées pour lutter contre L'ensablement de la voie.

XI.8 SUIVI ET BILAN ENVIRONNEMENTAL

Le projet de construction de la voie ferrée inclut un plan de gestion environnemental et social dont le but est d'assurer le respect des dispositions prévues a l'égard de l'environnement a chacune des phases du projet, soit aux phases de construction et exploitation.

Pour des fins de présentation, le plan est structuré en deux sections :

- Programme de surveillance environnementale.
- Programme de suivi environnemental.

XI.8.1 Le programme de surveillance environnementale :

Un programme de surveillance environnementale sera mis en place afin de s'assurer du bon déroulement des lors de la phase de construction et du bon fonctionnement des équipements et installations projetés. Il vise principalement à s'assurer du respect des éléments suivants :

- Lois et règlements pertinents.
- Conditions fixées par les autorités réglementaires.
- Engagements du promoteur prévus aux autorisations.
- Mesure proposées dans l'étude d'impact sur l'environnement, notamment les mesures d'atténuation.

XI.8.2 Le programme de surveillance environnementale :

- **Suivi de la phase travaux** : Assurer la mise en œuvre et le suivi des mesures d'élimination ou de réductions des impacts.
- **Suivi-Bilan (évaluation à posteriori)** : Contrôler la mise en place et l'efficacité des dispositions prises pour améliorer l'insertion environnementale du projet.

XI.9 CONCLUSION :

Le projet de la voie ferroviaire Mechria/El-Bayadh, en prolongeant le tronçon Mechria-Tousmouline-El Bayadh, s'intègre dans le réseau ferroviaire national et constitue ainsi un axe structurant pour le développement économique et social de l'Algérie.

Cet impact positif majeur, justifient à eux seuls le projet. Il existe néanmoins des impacts négatifs significatifs, décrits plus haut, mais pour lesquels des mesures d'atténuation ou de compensation existent.

Sur la base d'une comparaison des impacts positifs et des impacts négatifs du projet, et en considérant les mesures environnementales d'accompagnement du projet (qui permettront de réduire et compenser globalement les impacts négatifs) et que le Maitre d'ouvrage doit veiller à leur application, il ressort que le projet de la voie ferroviaire Mechria/El Bayadh est acceptable sur le plan environnemental et social.

CHAPITRE XII

DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

Tableau XII.1 Devis estimatif et contitatif

Désignation	Unité	Prix unitaire(DA)	Quantité	Montant (DA)
Installation générale du chantier				
Installation générale du chantier	F	65000000.00	1	65 000 000.00
Terrassement				
Décapage de la terre végétale (20 cm)	m^3	600.00	5 465.22	32 691 200
Déblais en terrain meuble mis en dépôt	m^3	550.00	595 123.76	327 317 650
Remblais d'apport en matériaux sélectionné	m^3	3 200.00	128 539.63	411 324 800
Fourniture et mise en œuvre de la couche de sous ballast de (10 cm)	m^3	3200.00	22 248.60	71 195 520
Fourniture et mise en oeuvre de la couche de fondation de (15 cm)	m^3	3000.00	33 875.50	101 626 500
Total				**944 155 670**
Travaux de la voie				
Fourniture et pose ballast (35m)	m^3	6 800,00	75 758.10	515 155 080
Forniture et pose Rail UIC 60	T	45 968.5	3 067.71	141 018 027.135
Attache nabla	U	434.72	133 134	57 876 012.48
Fourniture des traverses mono-bloc	U	7 000.00	36 000	252 000 000
Soudure électrique	U	17 000.00	596	10 132 000
Total				**976 181 119.615**
LES GARES DE TOUSMOULINE				
La gare de marchandise				
UIC 60-1200- 1/18.5 DD-DG	U	18 546 311.00	4	74 185 244
UIC 60-300- 1/9 DD-DG	U	12 893 641.67	4	12 946 820.67
UIC 54-190- 1/7.5 DD-DG	U	9 077 166.97	4	36 308 666.68
Fourniture et pose heurtoir	U	540 300,00	5	2 701 500
Pose de Garage Franc	U	1140.00	12	13 680
La gare des voyageurs				
UIC 60-1200- 1/18.5 DD-DG	U	18 546 311.00	4	74 185 244
UIC 60-300- 1/9 DD-DG	U	12 893 641.67	4	12 946 820.67
UIC 54-190- 1/7.5 DD-DG	U	9 077 166.97	4	36 308 666.68
Fourniture et pose heurtoir	U	540 300,00	4	2 161 200

Pose de Garage Franc	U	1140.00	8	9 120
Quais abris de quais	m^2	9 600.00	8 170.00	78 432 000.00
Batiment des voyageurs et VRD	Global	1 500 401 322	1	1 500 401 322
Total				**1 830 600 284.70**
Assainissement généraux				
Fossés trapézoïdaux en béton armé (0.5×0.5)	ML	3,605.00	3 605.556	12998043.8
Dalot préfabriqués en béton armé (2×2)	m^3	35 000.00	4	140 000.00
Dalot préfabriqués en béton armé (1.5×2)	m^3	47 084.0	2	94 168.00
Dalot préfabriqués en béton armé (3×2)	m^3	47 088,00	1	47 088.00
Buse préfabriqués en béton armé Ø 1.8	m^3	22 000	3	66 000.00
Total				**347 256.00**
MONTANT				
MONTANT DU PROJET H T				3 751 284 330.30
MONTANT DE LA T. V. A (19 %)				712 744 022.76
MONTANT DU PROJET EN T T C				**4 464 028 353**

LE COUT TOTAL DE NOTRE PROJET

Quatre milliard quatre cent soixante-quatre millions vingt-huit mille trois cent cinquante-trois Dinar Algérienne

CONCLUSION GENERALE

La couverture de la région des Hauts Plateaux par un réseau ferroviaire est une priorité pour la politique d'aménagement du territoire qui a pour objectif l'amélioration du niveau de vie de la population, et pour sortir ces régions en même temps de leur isolement géographique.

Dans ce projet, nous avons fait une étude détaillée d'une nouvelle ligne ferroviaire Mécheria-EL-Bayadh qui s'intègre dans ce réseau, en allant de la reconnaissance géologique et géotechnique du terrain, la conception du tracé en essayant d'optimiser le tracé en plan avec la conception d'une gare mixte de Tousmouline en respectant les normes et recommandation en vigueur **(UIC, SNTF, SNCF),** prenant en considération la sécurité et le confort des usagers en premier lieu et en second lieu l'aspect économique, tout en essayant de contourner les déférentes contraintes et problèmes rencontrés.

Enfin, ce projet de fin d'études nous a permis compléter les connaissances théoriques durant les cinq (05) années d'enseignement supérieur et les confronter avec les connaissances de pratique. De plus c'était occasion de mieux maitriser les logiciels

BIBLIOGRAPHIE

- Jean Alias, La voie ferrée, Techniques de construction et d'entretien, 1984 2ème édition.
- SNTF, Référentiel technique, chapitre06 géométrie de la voie, version 2 2005.
- SNTF, Référentiel technique, ouvrage en terre pour plateforme ferroviaire; 2005 version 2.
- SNTF, chapitre 7.2.3- hydraulique drainage, version2 2005.
- Code UIC 703R, caractéristiques des voies parcourues par des trains, 2éme édition 1989
- Code UIC 719R, ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaires, 2éme édition 1994.
- Code UIC 741, quais des gares à voyageurs- règles de l'implantation des quais par rapport à la voie, 5éme édition, 2007.
- Code UIC 741-OR: quais des gares à voyageurs – marchandise Règles pour l'implantation des bordures des quais par rapport à la voie, 5éme édition, septembre 2007.
- GTR, guide technique, Conception et réalisation des terrassements, 2007
- Sétra, Guide technique Assainissement routiers, Octobre 2006.
- Manuel de projet routier, GOUMETTRE, KALLI 2012
- Wikipédia
- SNTF, Fiche de normalisation : aménagement et gare, trace des voies, 3éme édition, Juin 1985
- SETI RAIL, ANEXXE de Rouiba, «rapport hydrologie et hydraulique »,2018
- SNTF, Référentiel technique, chapitre08 tunnel, version 2 année 2005
- SNTF, Référentiel technique, chapitre ouvrage07 d'art, version 2 année 2005
- IN0272 Conception du tracé de la voie courante inf 220 km [OCR]
- GROUPEMENT de réalisation Mechria-EL-Bayadh, «rapport géotechnique»
- Kara Benchohra, Cours 4éme année PGC.
- Fernand Lebbe, Au fil du rail, La voie ferrée La constitution de la voie, 1984 2ème édition.
- SNTF-APPAREILS DE VOIE EN RAILS UIC.54.
- Ulysse Lamalle, Tome III LA VOIE Fascicule I, article disponible à l'adresse URL : http//www. www.tassignon.be.
- Ministère des travaux publics (MPT), document technique réglementaire(DTR), RPOA 2008.
- Cours de chemins de fer de l'Ecole Nationale Sépurieur des Travaux Publics, par Mr Assri et Mr Kadi.
- Projet de fin d'étude- voie ferré.
- Cours d'Hydraulique appliquée, par Mr Rahmani et Mr Fkir, 2016 et 2017.
- Cours d'Environnement, par Mme S.Bouafia, 2016.

ANNEXE

ANNEXE 1: LISTING AXE EN PLAN

Listing de la géométrie de l'axe en plan

Axe en plan : Axe – (1)
Description :
Plage d'abscisse : Début: 0+000.00, Fin: 20+055.69

élément	Caractéristiques	Longueur (m)	Abscisse (m)	X (m)	Y (m)
			0+000.00	237085.1284	3725324.4582
DR1		14911.849			
			14+911.849	251996.5555	3725212.2986
CLO2	A = 595.720	53.770			
	R = 6600				
			14+965.62	252050.3233	3725211.8212
ARC3		3298.807			
			18+264.43	255203.9105	3724367.8161
CLO4	A = 1984.994	597.000			
			18+861.43	255715.4347	3724060.1034
DR5		1194.267m			
			20+055.69	256729.4083	3723429.1272

ANNEXE 2: LISTING PROFIL EN LONG

Profil en long : LR 1
Description :
Plage d'abscisse : Début: 0+000.00, Fin: 20+055.69

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur (m)	Abscisse (m)	Z (m)
			0+000.00	1165.62
DAROITE 1	Pente = 0.14 %	163.5036		
			0+163.5036	1165.64
PARABOLE 1	R = 14000	79.168		
	S =0+003.55		0+242.6716	
	Z = 1165.614			1165.81
DAROITE 2	Pente = -0.42 %	238.8599		
			0+481.5315	1164.71
PARABOLE 2	R = 16000	271.536		
	S = 0+203.100		0+753.0675	
	Z = 1165.910			1165.86
DAROITE 3	Pente =1.28 %	360.1237		
			1+113.1912	1170.1
PARABOLE 3	R = 13000	219.424		
	S = 0+617.10		1+332.6152	
	Z = 1164.162			1171.38
DAROITE 4	Pente = -0.41 %	414.5231		

			1+747.1383	1169.67
PARABOLE 4	R = 13000	91.428		
	S = 1+219.95		1+838.5663	
	Z = 1171.849			1169.67
DAROITE 5	Pente = 0.29 %	1450.0040		
			3+288.5663	1173.81
PARABOLE 5	R = 16000	69.897		
	S = 1+789.55		3+358.4633	
	Z = 1169.497			1173.86
DAROITE 6	Pente = -0.15 %	1674.79226		
			5+033.2556	1171.44
PARABOLE 6	R = 15000	39.595		
	S = 3+319.60		5+072.8505	
	Z = 1173.091			1171.45
DAROITE 7	Pente = 0.12 %	3223.5477		
			8+296.3982	1175.23
PARABOLE 7	R = 16000	51.528		
	S = 5+048.96		8+347.9262	
	Z = 1171.408			1175.18
DAROITE 8	Pente = -0.20 %	939.36		
			9+289.2862	1173.29
PARABOLE 8	R = 16000	180.823		
	S = 8+317.53		9+468.1092	
	Z = 1175.249			1174.01
DAROITE 9	Pente = 0.93 %	1822.94		
			11+291.04926	1190.69
PARABOLE 9	R = 16000	148.019		
	S = 9+373.31		11+439.06826	
	Z = 1173.091			1191.43
DAROITE 10	Pente = 0.00 %	3085		
			14+524.06826	1191.43
PARABOLE 10	R = 20000	377.182		
	S = 11+352.90		14+901.25026	
	Z = 1191.402			1192.29
DAROITE 11	Pente = 0.43%	1898.990		
			16+800.24026	1200.44
PARABOLE 11	R = 16000	128.512		
	S = 14+701.53		16+928.75226	
	Z = 1191.430			1200.50
DAROITE 12	Pente = -.37 %	1582.53		
			18.511.28226	1194.70
PARABOLE 12	R = 17000	179.983		
	S = 16+851.27		18+691.26526	
	Z = 1200.774			1195.23
DAROITE 13	Pente = 0.76 %	1364.41		
			20+055.67526	1205.44

ANNEXE 3 : GEOTECHNIQUE

Tableau 1: les essais in situ

	But	Principe	L'implentation	
			sondage	PK
Sondage carottier (SPT) NF P 94-116	• Tracé un profil de pénétration ; • Fournir des échantillons de sol remaniés qui peuvent servir à la reconnaissance des horizons traversés et sur lesquels on peut pratiquer les essais d'identification classiques (granulométrie, limites d'Atterberg et teneur en eau) ; • Connaître la compacité des sols pulvérulents et la consistance des sols cohérents traversés ; • Sa réussite dépend du choix du matériel, de l'implantation correcte des forages et de la capacité du sondeur.	Cet essai consiste à enfoncer dans le terrain par battage un carottier de conception et de dimensions normalisées. On compte le nombre de coups de mouton nécessaire pour enfoncer le carottier sur une certaine profondeur. Une fois plein, le carottier est remonté à la surface, vidé de sa carotte puis redescendre au fond du forage. L'opération est répétée sur toute la hauteur du profil à tester.	**SC09**	**41+815**
			SC10	**44+140**
			SC01(exe)	**53+966**
			SC11	**54+635**
Puits de reconnaissance PU NF P94-119.	• La vérification la nature des matériaux d'excavation et leurs conditions de réutilisation dans les remblais ; • L'identification géo-mécanique afin d'examiner la portance des terrains et de préciser les types des fondations ; • La reconnaissance surtout de la qualité des matériaux d'assise au niveau des plateformes.	Les puits de reconnaissance devront atteindre des profondeurs de l'ordre de 3 a 4m, ou aller jusqu'a la profondeur limite du bras mécanique de la rétro-excavatrice, leur implantation sera faite a l'emplacement des ouvrages de drainage et des zones de déblais et de remblais.	**PR10**	**41+225**
			PR11	**42+763**

Sondage Pressiométrique SP NF P94-110	**L'essai permet de définir trois caractéristiques pressiométriques :** • **Pression limite Pl.** • **Pression de fluage Pf .** • **Module pressiométrique Em.**	Il s'agit d'un essai contrainte-déformation mené jusqu'à la rupture pour une configuration d'application des charges bien précises. Cet essai, met au point par MENARD, consiste à mesurer l'augmentation de volume d'un cylindre dilatable, soumis à une augmentation de pression intérieure, et placé à la profondeur à laquelle on désire tester le sol. Il est donc nécessaire d'exécuter préalablement un forage dans lequel on introduit la sonde. Suivant la nature des terrains rencontrés, ce forage peut être réalisé à l'aide d'une tarière, d'un carottier, ou de toute autre forme de moyen mécanisé. Notons cependant qu'on ne réalise jamais un seul essai pressiométrique à une profondeur unique, mais on effectue une série d'essais espacés d'un mètre par exemple. Par raison de précaution, on fait progresser le forage au fur et à mesure des essais jusqu'à la profondeur maximale à atteindre.	/	/
Essai pénétromètre dynamique lourd PDL NF P 94-114	• Connaître la résistance des terrains de surface à partir de la résistance de pointe. • La reconnaissance qualitative des terrains lors d'une reconnaissance préliminaire. • Contrôle de l'homogénéité d'un site. • Détermination des épaisseurs des différentes couches de sols. • Localisation des cavités ou d'autres discontinuities.	Un sondage eu pénétromètre dynamique consiste à enfoncer l'appareil dans le terrain jusqu'a une profondeur donnée, en général limitée par la capacité de pénétration de l'appareil lui –même. L'ensemble est battu dans le terrain sous l'action de chocs répétés, exercés sur la tête du train de tige par une masse tombant en chute libre d'une hauteur constante.	/	/

Tableau 2 : les essais au laboratoire

L'essai	But	principe
Analyse granulométrique des sols par tamisage à sec après lavage NF P94-056	L'analyse granulométrique a pour but de déterminer les proportions des grains de différentes tailles dans le sol. Elle s'effectue par tamisage pour les grains d'un diamètre supérieur à **80 µm**.	L'essai consiste a séparer par brassage sous l'eau, les grains agglomères, puis une fois séchée, a les classer au moyen d'une série de tamis et a peser le refus cumulé sur chaque tamis. La masse cumulée des refus sur chaque tamis est rapporté à la masse totale sèche en vue de calculer par différance le pourcentage de passant (tamisât).
Analyse granulométrique des sols par sédimentométrie NF P94-056	L'analyse granulométrique d'un sol par la méthode de sédimentation a pour objet de déterminer la distribution pondérale de la taille des particules d'un sol fin Elle s'effectue par tamisage pour les grains d'un diamètre inferieur a **80 µm**.	L'essai utilise le fait que dans un milieu liquide au repos, la vitesse de décantation des grains fins à très fins est fonction de leurs dimensions. La loi de Stokes donne, dans le cas des grains sphériques de même masse volumique, la relation entre le diamètre et leur vitesse de sédimentation. Par convention, cette loi est appliquée aux éléments d'un sol pour déterminer des diamètres équivalents des particules.
Essais limites d'Atterberg NF 94-051	le but de l'essai est de déterminer les teneurs en eau remarquables situées à la frontière entre ces différents états sont les « Limites d'Atterberg » • Limite de Liquidité : **WL** (frontière entre état plastique et liquide). • Limite de Plasticité : **WP** (frontière entre état solide et plastique). A partir des limites d'Atterberg, on peut calculer les indices suivants qui expriment la sensibilité à l'eau du sol **(IP)** et sa consistance **(IC)** par rapport a sa teneur en eau **(ωn)** : • Indice de plasticité : $Ip = WL - WP$ • indice de consistance : $Ic = \frac{W_L - Wn}{Ip}$	L'essai s'effectue sur la fraction 0/400 m en 2 phases : · Détermination de la teneur en eau WL pour laquelle une rainure pratiquée dans une coupelle se ferme, suite à des chocs répétés pour un nombre de coups donnés (cette limite de liquidité correspond à une résistance à un cisaillement conventionnel). · Détermination de la teneur en eau WP pour laquelle le rouleau de sol se fissure (cette limite de plasticité correspond à une résistance à la traction conventionnelle.
Essai de CBR NF P 94-078	Il nous permet de réaliser la caractérisation mécanique des sols. Il mesure la résistance à l'effort tranchant d'un sol et le gonflement du sol lorsqu'il est immergé dans l'eau. Il nous permet de calculer la portance du sol, en estimant sa résistance au poinçonnement.	On compacte avec une dame standard dans un moule standard, l'échantillon de sol recueilli sur le site, selon un processus bien déterminé, à la teneur en eau optimum (Proctor modifié) avec trois (3) énergies de compactage 25c/c ; 55 c/c ; 10 c/c et imbibé pendant quatre (4) jours. Ensuite poinçonner l'échantillon par pénétration d'un poinçon cylindrique à vitesse constante. On relève les valeurs des forces correspondant à des enfoncements de 2,5 et 5mm. Nous calculons le

		coefficient CBR pour chacune de ces valeurs correspondantes et prenons le maximum: MAX (CBR (2.5), CBR (5)).
Essai teneur en eau NF P94-050 et NF P94-053	Elle permet de caractériser l'état hydrique d'un sol par la détermination de la teneur en eau.	Prélève une certaine quantité de matériau et placer dans un récipient (tare). Pesée de la prise(M), ensuite la prise est séchée a l'étuve 105°c. Après 24h, nouvelle pesée (Ms). Détermination la teneur en eau Natural et la masse volumique des sols fins : $W=\frac{M-Ms}{M} = \frac{Mw}{M}$
Essai Proctor NF P 94-093	Il consiste a étudier le comportement d'un sol sous l'influence de compactage et une teneur en eau, il a donc pour but de déterminer une teneur en eau optimale afin d'obtenir une densité sèche maximale.	L'essai consiste a humidifier un matériau a au moins **cinq** teneurs en eau et à le compacter dans un moule selon un procédé et une énergie normalisée. On détermine pour chaque teneur en eau la masse volumique sèche.
Essai de Compressibilité à l'odomètre NF P 94-090-1	Pour déterminer les caractéristiques de compressibilité et estimer le tassement d'un massif de sol sous l'effet des charges.	L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans une enceinte cylindrique rigide (odomètre)- Diamètre de la boite : **D≥60 mm-** hauteur de l'éprouvette : **Max (10mm ; 6dmax) ≤Hi≤0.4D**. un dispositif applique sur cette éprouvette un effort axial vertical, l'éprouvette étant drainée en haut et en bas et maintenue saturée pendant l'essai. La charge est appliquée par paliers maintenus constants successivement croissants et décroissants suivant un programme défini.

Tableau 3 : Résultat des sondages carottiers

Sondage n°	PK	Profondeur en (m)	lithologie
SC 09	41+815	10	0.00-1.00m : fragments caillouteuse. 1.00-9.00m : argile verts, (avec passage gréseux fin à7.00m). 9.00-10.00m : grès fracturés.
SC10	44+140	20	0.00-0.40m : couverture argilo-sableuse. 0.40-7.00m : argilo-sableuse à galets. 7.00-10.00m : calcaire. 8.60-15.50 m : argiles bariolées (verts et rouge). 15.50-20.00m : grès.
SC01 (exe)	53+966	10	0.00-1.95m : croute calcaire. 1.95-6.00m : tufs à fragments calcaire. 6.00-10.00m : argiles à fragments calcaire.
SC11	54+635	15	0.00-8.00m : argiles blanches. 8.00-15.00 : argiles à lies de vin.

Tableau 4 : Résultats des puits de reconnaissance.

PUITS N°	PK	Profondeur en(m)	Lithologie
Pr 10	41+225	Refus	
Pr 11	42+763	Refus	0.00-0.80m: blocs et fragments caillouteux et sables argileux.

ANNEXE 4 : étude environnemental et sociale

Tableau 1: évaluation des impacts prévisibles et effets cumulatifs.

Impact sur le milieu physique	
Thème environnemental	**impact**
Sol et géologie	• A la réalisation de dépôts de matériaux provisoires, entrainant temporairement l'existence de buttes a l'échelle locale ou régionale. • Erosion et déstabilisation du sol (érosion régressive).
Hydrologique	• inondation et emportement de la voie par les eaux lors de crues spectaculaires (Oued Kef Lahmar en 2002 et inondation de 2008). • Bouleversement écologique dus à des itinéraires différents des eaux de précipitation. • Discontinuité hydraulique des cours d'eau et autres écoulements dans la période pluviale lors de la phase de terrassement et de construction des ouvrages hydrauliques ou des ouvrages d'art. • Abaissement du niveau de la nappe phréatique. • Assèchement des puits peut être provoqué.
Air	• Altération de la qualité de l'air par et les émissions des gaz nocifs, de vapeurs, de fumées ou de particules fines. • Pollution due a l'émanation de poussières.
Impact sur le milieu biologique	
Thème environnemental	**impact**
Population	• Risques d'accidents de circulation et de travail. • Risques de contaminations des maladies transmissibles.
Agriculture et élevage	• Coupure des cheminements et allongements de parcours pour les animaux. • Difficultés d'accès aux parcelles agricoles. • Destruction de clôtures pour les besoins du chantier. • Morcellement des parcelles : Ces terrains peuvent alors être incultivables ou peu rentables du fait de leurs tailles trop réduites. • Problèmes d'assainissement (inondation, érosion de terres agricoles…).
Habitat	• Déguerpissement des habitations. • Les fermes et berges qui se trouvent dans l'emprise ferroviaire vont être uniquement déplacées vue le statu domanial des terrains.
Impact sur le paysage et le patrimoine	
Thème environnemental	**impact**
Paysage	• La gêne visuelle pour les riverains et usagers. • Modification de la topographie. • Changement de la qualité esthétique du paysage et de l'environnement.
Les monuments historique et archéologique	• Aucun monument historique ou site archéologique n'a été recense dans l'air d'étude sauf des Zaouia qui se trouve dans l'aire d'étude.
Impact sur le milieu ambiant	
Thème environnemental	**impact**

Acoustique (Bruit)	• Nuisances sonores des travaux de préparation des emprises, de construction et d'installation des machines pour les travailleurs de chantier.
Emissions lumineuses	• Des impacts sur le cadre de vie des riverains (système d'éclairage supplémentaires ou de panneaux indicateurs lumineux, le tout pour des raisons de sécurité).
Odeurs et fumées	• Le chantier peut être générateur de mauvaises odeurs ou d'odeurs fortes et de fumées.
Qualité de l'air	• L'émission de poussières et de particules de taille variable. • L'émission des gaz d'échappement (SO2 et CO2): Cette émission provenant essentiellement des engins et les camions du chantier, va contribuer à altérer la qualité de l'air ambiant).