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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructure de Base

Thème

ETUDE DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE EL AFFROUNE TIPAZA DU PK 22+275 AU PK 34+850

Présenté par :
MADI Akram
NAIMI Walid

Encadré par :
Mr : A.DERRADJI

Promotion 2020 /2021

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

REMERCIMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce travail,

En second lieu nous tenons à remercier notre encadreur Mr AYACHI DERRADJI pour ses appréciations compétentes, ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.

Nous remercions très chaleureusement tous nos enseignants du Département Infrastructure de Base de l'ENSTP qui nous ont donné et assuré une formation et des connaissances au-delà de nos attentes.

A la fin et au terme de nos remercîments, nous rendons hommage à nos familles respectives pour le soutien et l'aide sans faille durant ces longues années de formations et qui nous ont permis d'atteindre ce stade de notre formation ; ainsi qu'à tous les gens qui nous ont épaulé et aidé moralement tout au long de notre parcours.

Dédicaces

Nous dédions ce modeste travail

À nos très chers et irremplaçables parents.

Vous êtes notre source d'amour et de bonheur.

Vous êtes les guides de nos chemins et la joie de nos jours.

Vous avez tant sacrifié et cru en nous.

À nos familles respectives

À nos amis…

Résumé

Le présent mémoire porte sur une étude avant-projet détaillée APD d'un tronçon de 13 km de la ligne ferroviaire El Affroune Tipaza (du Pk 22+275 jusqu'au Pk 34+850), avec aménagement de la gare de Hadjout. Ce projet a été réalisé suivant les normes de l'union internationale de chemin de fer (UIC) et les recommandations de la Société nationale de transport ferroviaire (SNTF). Les logiciels de modélisation et de calcul utilisé dans le projet sont : Autocad 2018, Civil 3D 2019, TALREN V5.

Abstract

This memory involve the study detailed design (A.P.D) of a section of 13 km of the railway line El Affroune and Tipza beetween (Pk 22+275 and Pk 34+850) with the construction of Hadjout station. This projet was realised according to International Railway Union standards (UIC) and the Algerian national railway company recommendations of the (SNTF). Modeling sofwares used in this project are : Autocad 2018, Civil 3D 2018. TALREN V5.

Liste des abréviations

Abréviation	Désignation
TGV	Train a Grand Vitesse
IPCS	International Programme on Chemical Safety
CIACAD	Concise International Chemical Assessment
SNCF	Société nationale des chemins de fer français
SNTF	Société nationale des transports ferroviaires
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydriques
UIC	Union Internationale des Chemins fer
ZIP	Zone Impact de Projet
SAT	Superficie Agricole Totale
SAU	Surface Agricoles Utiles
TRI	Taux de rentabilité interne
VAN	Valeur actualisée nette
AEO	AutoRoute East Ouest
LRS	Long Rails Soudé
PK	Point kilométrique
R.P.O.A	Le Règlement Parasismique Algérien des Ouvrages d'Art
PU	Puits de reconnaissance
SC	Sondage carotté
PDL	Pénétromètre dynamique lourd
SP	Sondage pressiométrique
Ems	Module pressiométrique
PL	Ménard Pression limite
Pf	Pression de fluage
VBS	Valeur au bleu de méthylène
DS	Deval à sec
DH	Deval humide
MDE	Micro-Deval en eau
LA	Los Angeles
DRG	Dureté relative globale
RC	Résistance à la compression
OPN	Optimum PROCTOR Normal
GTR	Guide Terrassement Routier
GF	Garage franc
LU	Longueur utile
LG	Longueur de la marge de glissement
BV	Bâtiment Voyageur
BS	Bâtiment de service
BUD	Bâtiment à Usage divers

Liste des Symbole

Symbole	Désignation	Unité
R	Rayon de la courbe	M
Dv	Devers d'équilibre	mm
dp	Devers prescrit	mm
C	Coefficient de devers	/
I	Insuffisance de devers	mm
E	Excès de devers	mm
A	Constante de raccordement progressif	m
$\Delta d/\Delta l$	Variation de devers	mm
$\Delta I/\Delta t$	Variation d'insuffisance de devers	mm/s
V	vitesse	Km/h
Vr	Vitesse du terrain le plus rapide	Km/h
Vl	Vitesse du train le plus lent	Km/h
Cu	Cohésion	KN/m2
T_{moyen}	Température moyenne	°C
Tc	Temps de concentration	heure
Q	Débit	m3/s
Cr	Coefficient de ruissèlement	/
I	Intensité de pluies	mm/h
Kst	Coefficient de Strickler	/
Rh	Rayon hydraulique	m
Sm	Surface mouille	m^2
Pm	Périmètre mouillé	m
Qa	Débit d'apport	m3/s
Qs	Débit plein section	m3/s
D max	Diamètre maximal des granulats	mm
γd	Poids volumique sec	t/m^3
γd max	Poids volumique sec maximale	t/m^3
γh	Poids volumique humide	t/m^3
Sr	Degré de saturation	1 , %
Rd	Résistance dynamique de pointe	MPa
Cc	Indice de compressibilité	%
Cg	Indice de gonflement	%
Qadm	Capacité Portant admissible	MPa
W	Teneur en eau naturel	%
W opt	Teneur en eau optimal	%
Cu	Cohésion non drainé	Bars
φ	Angle de frottement interne	°

LISTE DES FIGURES

Figure I-I Représentation schématique d'une structure classique de voie ferrée 3
Figure I-II Granulométrie du ballast utilisé par la SNTF. (NA 17000, 2008). 5
Figure I-III Abaque de DRG 7
Figure I-IV L'éprouvette de la Masse volumique absolue 11
Figure I-V Eprouvette de la Masse volumique apparente. 12
Figure I-XIV Phénomène de comminution : (a) fracture, (b) attrition, (c) abrasion 17
Figure II-IPlan de développement des chemins de fer en Algérie. 29
Figure III-IPosition de projet 32
Figure IV-IEléments du tracé en plan 36
Figure IV-IILa variation linéaire du devers 43
Figure V-I Equation mathématique de la clothoïde 47
Figure VI-ILes éléments du profil en long 53
Figure VI-IIDéclivités maximales admissibles (Source référentiel SNTF) 55
Figure VII-I Élément géométrique du profile en travers 60
Figure VIII-ICarte géologique de la région à 1' échelle 1/500 000ème 86
Figure VIII-II Zones de sismicité (cercle bleu : zone d'étude) 87
Figure X-I Les cercles de rupture pour les déblais au PK 28+380 condition statique. (Logiciel TALREN V5) 107
Figure X-II Les zones déblais rencontrés le long du tracé 108
Figure X-III Les cercles de rupture pour les remblais au PK 25+105 conditions sismiques. (Logiciel TALREN-V5) 113
Figure X-IV Les cercles de rupture pour les remblais au PK 32+850 conditions sismiques. (Logiciel TALREN-V5) 114
Figure X-V Structure d'un remblai courant. 115
Figure X-VI Structure d'un remblai en zone inondable 115
Figure XI-I Les épaisseurs des différentes couches d'assise 126
Figure XI-II Schématisation de la structure adoptée 129
Figure XII-I Les constituants de la voie ferrée 132
Figure XII-II Rail Vignole 133
Figure XII-III Les trois profils type des rails 134
Figure XII-IV Schéma du système nabla. 138
Figure XII-VBranchement simple 140
Figure XII-VI Branchement double symétrique et asymétrique 141
Figure XII-VII Traversée-jonction simple. 141
Figure XII-VIII Traversée-jonction double. 142
Figure XIII-I Garage franc. 148
Figure XIII-II Implantation d'un appareil de voie sans contraintes 150
Figure XIII-III Implantation d'un appareil de voie avec contraintes. 150
Figure XIII-IV Assainissement dans la gare 153
Figure 0-I Délimitation de la zone d'étude d'influence ..... **Erreur ! Signet non défini.**

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-I Catégories pour la granularité 2
Tableau I-II Catégories pour la teneur en grains fins 2
Tableau I-III Catégories pour la teneur en fines 3
Tableau I-IV Catégories pour les valeurs maximales de résistance à l'usure 2
Tableau I-V Les normes de l'exécution de l'essai Deval 3
Tableau I-VI Les normes de l'exécution de l'essai Micro-Deval en présence d'eau 3
Tableau I-VII Catégories pour les valeurs maximales du coefficient Los Angeles 5
Tableau I-VIII taille de l'ouverture de la fente associée aux classes granulométriques. 9
Tableau I-IX Catégories pour les valeurs maximales du coefficient d'aplatissement. 10
Tableau I-X Classification de la pollution du ballast selon les différents indices d'encrassement ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Tableau III-1Catégories de trafic UIC (703 R) 32
Tableau IV-1 IV.7.1 Longueur minimum des éléments de tracé 38
Tableau IV-2Excès dévers en fonction tonnage journalier 42
Tableau IV-3Valeurs limites de variation du dévers en fonction de la longueur (Référentiel SNTF, 2005) 44
Tableau V-1Valeurs Limites 46
Tableau VI-1Valeur limite maximales du rayon de raccordement de profil en long (source référentiel SNTF) 55
Tableau VIII-1 Objectifs de campagne de reconnaissance géotechnique in-situ 89
Tableau VIII-2 Implantation et description des sondages carottés. 90
Tableau VIII-3 Description des puits de reconnaissance 94
Tableau VIII-4 Récapitulatif des essais au pénétromètre dynamique lourd. 95
Tableau VIII-5Classification du sol en fonction de la compressibilité (XP P 94-090-1) 97
Tableau VIII-6 Résultats des essais au laboratoire 98
Tableau VIII-7 Les résultats de la classification du sol étudié 99
Tableau X-1Les principales zones de déblais entre PK22+000 et PK 29+000 103
Tableau X-2 Les caractéristiques mécaniques des déblais. 105
Tableau X-3Récapitulatif des résultats de vérification de stabilité des talus en déblais. 106
Tableau X-4 Utilisation des matériaux en remblai et en couche de forme 109
Tableau X-5 Les caractéristiques mécaniques des remblais. 112
Tableau X-6 Récapitulatif des résultats de vérification de stabilité des talus en remblais. 113
Tableau X-7 Les épaisseurs et volume de la terre végétale 116
Tableau X-8 Récapitulatif des volumes de terrassement 116
Tableau X-9 Récapitulatif des volumes de terrassement 117
Tableau X-10 Les ouvrages d'arts projetés du projet. 118
Tableau XI-1 Classification de portance des plateformes selon UIC719. 125

SOMMAIRE

INTODUCTION GENERALE **1**

CHAPITRE I: RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE **2**

I.1 INTRODUCTION 2
I.2 OBJECTIF DE TRAVAIL 2
I.3 DEFINITION DU BALLAST 2
I.4 NATURE ET ORIGINE DU BALLAST : 3
I.5 ROLE DU BALLAST 3
I.6 QUALITE ET PROPRIETES DE BALLAST 4
I.6.1 La granulométrie *4*
I.6.2 La dureté *3*
I.6.3 Forme *9*
I.6.4 L'angularité et la rugosité *10*
I.6.5 La densité *10*
I.6.6 La perméabilité *13*
I.6.7 La non-gélivité *13*
I.6.8 Propreté *13*
I.7 MISE EN PLACE ET PROFILS DE BALLAST 13
I.8 DEGRADATION DE LA VOIE 15
I.8.1 Déformation géométrique *15*
I.8.2 Lois empiriques de tassement : *16*
I.8.3 Entretien et phases de dégradation *17*
I.9 DEGRADATION DU MATERIAU BALLAST : 17
I.9.1 Phénomène de comminution : *17*
I.9.2 Mesure de la comminution : *18*
I.9.3 Pollution du ballast : *19*
I.9.4 Synthèse *20*
I.10 CONCLUSION 21

CHAPITRE II: CHEMINS DE FER EN ALGERIE **27**

II.1 INTRODUCTION : 27
II.2 AVANTAGES DE CHEMIN DE FER : 27
II.3 LE RESEAU FERROVIAIRE ALGERIEN : 27
II.3.1 Étapes de développement: *27*
II.3.2 Réseau actuel en Algérie : *28*
II.4 CONCLUSION 29

CHAPITRE III: PRESENTATION DU PROJET **31**

III.1 INTRODUCTION : 31
III.2 CHOIX DE CATÉGORIE DE TRAFIC : 32
III.3 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA LIGNE PROJETEE 32
III.4 CONLUSION : 33

CHAPITRE IV: TRACE EN PLAN 35

IV.1 INTRODUCTION 35
IV.2 DEFINITION DU TRACE EN PLAN 35
IV.3 REGLES, NORMES ET CONDITIONS A RESPECTER POUR LE TRACE EN PLAN 35
IV.4 LES ELEMENTS DU TRACE EN PLAN 36
IV.5 CONDITIONS DE RACCORDEMENT 37
IV.6 QUANTIFICATION DES PARAMETRES 37
IV.7 LES PARAMETRES DE CONCEPTION DU TRACE DE LA VOIE 38
IV.7.1 Longueur minimum des éléments de tracé 38
IV.7.2 Le rayon minimum 38
IV.7.3 Dévers 38
IV.8 APPLICATION NUMERIQUE POUR LE CALCUL DES DEVERS 46
IV.8.1 Raccordement progressif 46
IV.9 APPLICATION AU PROJET 48
IV.9.1 Calcul de la longueur de l'alignement droit L_{min} 48
IV.9.2 Calcul du rayon minimal R_{min} 49
IV.9.3 Calcul du coefficient de dévers (C) 49
IV.9.4 Calcul de dévers théorique d_{th} 49
IV.9.5 Calcul de dévers pratique d_p 49
IV.9.6 Calcul de l'insuffisance de dévers I 50
IV.9.7 Calcul d'excès de dévers E 50
IV.9.8 Calcul de la longueur et le paramètre de la clothoïde 50
IV.9.9 Variation de dévers 50
IV.9.10 Variation de l'insuffisance de dévers ΔI 50
IV.9.11 Gauchissement et variation du dévers d/L 51
IV.10 CALCUL D'AXE 51

CHAPITRE V: PROFIL EN LONG 53

V.1 INTRODUCTION 53
V.2 ÉLEMENTS GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG 53
V.3 COORDINATION DU TRACE EN PLAN ET PROFIL EN LONG 54
V.4 DECLIVITE MAXIMALE 54
V.5 RAYON ADMISSIBLE DE RACCORDEMENT DE PROFIL EN LONG 55
V.6 LONGUEUR MINIMALE DES ELEMENTS DU PROFIL EN LONG 56

CHAPITRE VI: PROFILE EN TRAVERS 58

VI.1 INTRODUCTION 58
VI.1.1 Profil en travers type : 58
VI.1.2 Profil en travers courant : 58
VI.2 ETABLISSEMENT DE PROFILE TYPES 58
VI.2.1 Elément de la superstructure 58
VI.2.2 Eléments de l'infrastructure 58
VI.2.3 Eléments de talus 58

VI.2.4 Eléments d'assainissement *58*
VI.2.5 Les éléments de protection de la voie *59*
VI.3 LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS 59
VI.4 PROFIL TYPE DE NOTRE PROJET 59
VI.5 CONCLUSION 60

CHAPITRE VII: ETUDE HYDROLOGIQUE 62

VII.1.1 Situation géographique et description de la région d'étude *62*
VII.1.2 Données météorologiques de la région d'étude *62*
VII.1.3 Caractéristiques morphologiques et climatiques des bassins versants *65*
VII.2 CALCUL HYDRAULIQUE 67
VII.2.1 Temps de concentration Tc *67*
VII.2.2 Intensité de pluie I *68*
VII.2.3 Coefficient de ruissellement *69*
VII.2.4 Evaluation des débits d'eaux pluviales *69*
VII.3 APPLICATON AU PROJET 71
VII.3.1 Exemple de calcul par la formule Rationnelle *71*
VII.3.2 Exemple de calcul par la formule de Crupedix *72*
VII.4 DRAINAGE TRANSVERSAL 74
VII.4.1 Estimation des débits des ouvrages de traverse *75*
VII.4.2 Vérification des conditions d'auto curage *75*
VII.4.3 Dimensionnement des buses *76*
VII.4.4 Dimensionnement des dalots *77*
VII.4.5 APPLICATION AU PROJET *78*
VII.4.6 DRAINAGE LONGITUDINAL *80*
VII.4.7 CALCUL HYDRAULIQUE DES PONTS *82*
VII.5 CONCLUSION 83

CHAPITRE VIII: ETUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE 85

VIII.1 ETUDE GÉOLOGIQUE 85
VIII.1.1 Introduction *85*
VIII.1.2 Encadrement géologique et géographique *85*
VIII.1.3 Sismicité *86*
VIII.1.4 Contexte géologique *87*
VIII.2 ETUDE GÉOTECHNIQUE : 89
VIII.2.1 Essais in-situ : *89*
VIII.2.2 Essais au laboratoire : *95*
VIII.2.2.6 ONCLUSION : *100*

CHAPITRE IX: TERRASSEMENT ET OUVRAGES D'ART 102

IX.1 TERRASSEMENT : 102
IX.1.1 INTRODUCTION : *102*
IX.1.2 DEBLAIS : *102*
IX.1.2.2 Critère général dans les *103*

IX.1.3 REMBLAIS : *110*
IX.1.4 EPAISSEURS DE LA TERRE VEGETALE : *115*
IX.1.5 CALCUL DES VOLUMES DE TERRASSEMENT : *116*
IX.2 OUVRAGES D'ART : 117
IX.2.1 INTRODUCTION : *117*
IX.2.2 LES OUVRAGES D'ART DU PROJET : *117*
IX.3 CONCLUSION : 118

CHAPITRE X: DIMENSIONNEMENT D'ASSISE FERROVIAIRE 120

X.1 INTRODUCTION 120
X.2 LA COUCHE D'ASSISE 120
X.2.1 Les différentes couches d'assise *121*
X.3 APPLICATION AU PROJET : 127
X.3.1 Calcul de la couche d'assise *128*
X.3.2 Epaisseur des différentes couches : *129*

CHAPITRE XI: SUPERSTRUCTURE 131

XI.1 131
XI.2 CATEGORIE DE VOIES 131
XI.3 COMPOSITION DE LA VOIE FERREE 131
XI.3.1 Rail *132*
XI.3.2 Les traverses *136*
XI.3.3 Systèmes de fixation *137*
XI.3.4 Appareil de voie *139*
XI.4 APPLICATION AU PROJET 142

CHAPITRE XII: AMENAGEMENT DE LA GARE 145

XII.1 NTRODUCTION : 145
XII.2 TYPES DE GARES 145
XII.3 CONCEPTION GENERALE DES GARES 145
XII.3.1 Conditions de conception d'une gare *145*
XII.4 INSTALLATIONS D'UNE GARE VOYAGEURS : 146
XII.4.1 Types de gares de voyageurs *146*
XII.4.2 Les équipements de gares de voyageurs *146*
XII.5 INSTALLATIONS D'UNE GARE MARCHANDISES : 147
XII.6 CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA GARE : 147
XII.6.1 Déclivité dans les gares *147*
XII.6.2 Les quais *147*
XII.6.3 La distance à l'axe de la voie *148*
XII.6.4 Garage franc *148*
XII.6.5 La longueur utile d'une voie de stationnement : *148*
XII.6.6 Heurtoir : *149*
XII.6.7 . Appareils de la voie *149*
XII.7 APPLICATION AU PROJET : 150

XII.7.1 Aménagement de la gare Hadjout : *150*
XII.7.2 Caractéristiques de la gare : *151*
XII.7.2.4 Hauteur des quais : *151*
XII.7.3 Caractéristiques géométriques *152*
XII.7.4 Assainissement dans la gare *152*
XII.8 CONCLUSION 153

CHAPITRE XIII: ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT 155

XIII.1 INTRODUCTION 155
XIII.2 DEFINITION D'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT 155
XIII.3 OBJECTIF ET UTILITE D'UNE ETUDE D'IMPACT 155
XIII.4 CADRE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE DES ETUDES D'IMPACT 155
XIII.5 CONTENU DE L'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT 156
XIII.6 APPLICATION AU PROJET 157

CHAPITRE XIV: SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION 167

XIV.1 SIGNALISATION 167
XIV.1.1 INTRODUCTION *167*
XIV.1.2 OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION *167*
XIV.1.3 DIFFERENTES FONCTIONS DES SIGNAUX : *167*
XIV.1.4 GENRE ET ETALON DE SIGNALISATION : *167*
XIV.1.5 IMPLANTATION DES SIGNAUX : *168*
XIV.1.6 SIGNAUX LUMINEUX : *168*
XIV.1.7 VISIBILITE DES SIGNAUX : *169*

CHAPITRE XV: DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF 171

CHAPITRE XVI: CONCLUSION GENERALE 175

BIBLIOGRAPHIE 176

Introduction générale

INTODUCTION GENERALE

Le transport est le déplacement d'objets, de marchandises, ou d'individus, d'un endroit à un autre. Les modes de transport incluent l'aviation, le chemin de fer, le transport routier, le transport maritime, le transport par câble, l'acheminement par pipeline et le transport spatial. Le mode dépend également du type de véhicule ou d'infrastructure utilisé. Le type de transport peut se caractériser par son appartenance au secteur public ou privé.

Le transport ferroviaire a bien trouvé sa place dans le secteur du transport. Avec d'autant d'avantages par rapport en termes de coût, de temps, de fiabilité et les avantages apportés pour l'environnement. La capacité de charge augmente avec l'augmentation du nombre de wagons, volume de fret transporté et le nombre de passagers. C'est donc l'un des moyens de transport les plus importants.

Le réseau des chemins de fer en Algérie sert au transport de personnes et de marchandises. L'ambition des pouvoirs publics est de connecter toutes les villes Algériennes entre elles par le réseau ferroviaire.

Le projet de la ligne ferroviaire entre dans le programme de raccordement de port -centre d'El Hamdania-Cherchell, classé parmi les plus grandes infrastructures portuaires au monde. Ce réseau permet de lier plusieurs régions Algériennes et le centre et l'ouest du continent Africain avec le reste du monde à travers le port stratégique de cinquième génération d'El Hamdania-Cherchell.

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE (L'TUDE DE DEGRADATION DU BALLAST)

CHAPITRE I: RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE (L'ETUDE DE DEGRADATION DU BALLAST)

I.1 INTRODUCTION

Jusqu'à un passé récent, l'Algérie a connu une explosion sur le plan industriel, économique,et au niveau des réseaux ferroviaires, Dans ce domaine, les matériaux granulaires constituentun ingrédient essentielle l'infrastructure. L'un de ces matériaux est le ballast, qui joue un rôleprimordial pour assurer la stabilité des voies et facilite les opérations de maintenance.

Ce chapitre est consacré à une étude bibliographique, où nous présenterons les caractéristiques du ballast ainsi que les performances mécaniques et les essais appliqués sur cedernier.

I.2 OBJECTIF DE TRAVAIL

L'objectif de ce travail est d'avoir une idée sur les problématiques actuelles relatives aumatériau de ballast qui composent la voie, ainsi que les différentes études et essais appliquéspour définir ses performances.

I.3 DEFINITION DU BALLAST

Le ballast constitue la couche supérieure de la structure d'une voie ferrée sur laquelle repose les traverses supportant le rail. L'épaisseur de la couche d'environ 300 mm sous la traverse suffit à remplir les différentes fonctions d'une couche support de voie à moindre coût.

Le ballast est un tapis de concassé rocheux dur, élastique, calibré, creux et compact, bloquant les traverses, dont le nivellement peut être réalisé au millimètre en emboîtant entre eux des grands cailloux de 2 ,5 à 5 cm de taille.

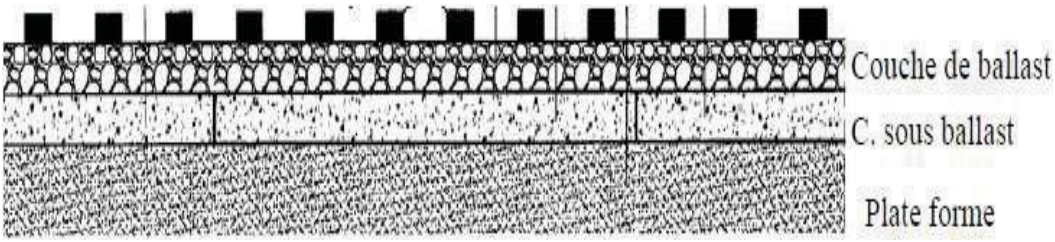


Figure I-I Représentation schématique d'une structure classique de voie ferrée

I.4 NATURE ET ORIGINE DU BALLAST :

Les granulats du ballast proviennent des produits de différentes natures (naturels ou artificiels). Parmi les produits naturels, citons les pierres concassées, les graviers et le sable.Parmi les produits artificiels citons les laitiers, les scories et les cendrées (d'usine ou de dépôtsde locomotives).

Les qualités et défauts des pierres concassées dérivent des caractères des roches dont ellessont extraites :

- Des roches magmatiques et métamorphiques, sont des roches massives, compactes,exemptes de porosité, non gélive et dépourvues de stratification où de joints de clivage, et résistent parfaitement aux agents atmosphériques (ex : porphyre, granite, basalte,gneiss, diorite).
- Des roches sédimentaires peuvent fournir des pierres suffisamment dures pour constituer un ballast de bonne qualité. Les roches siliceuses (grés, quartzites) résistent bien aux altérations dues aux agents atmosphériques. Les calcaires s'altèrent par dissolution et par l'abondance des joints. Cependant, les calcaires durs peuvent donner un ballast de bonne qualité.

I.5 ROLE DU BALLAST

La couche de ballast joue un rôle très important dans le système de la voie ballastée. Il a différentes fonctions, que nous pouvons énumérer de la manière suivante (J, alias, 1984 ; E.T. Selig and J.M. Waters, 1994,) :

- Permettre l'ancrage longitudinal et latéral de la voie.
- Amortir une part des vibrations mécaniques et acoustiques induites par les circulations.

- Transmettre jusqu'à la plateforme les charges concentrées appliquées sur les traverses, avec des niveaux d'effort acceptables pour la sous-couche, en limitant le tassement permanent de la voie.
- Faciliter les opérations de maintenance et de mise en place de la voie.
- Assurer le drainage immédiat des eaux pluviales dans la voie.

I.6 QUALITE ET PROPRIETES DE BALLAST

Un bon ballast doit présenter des qualités physico-mécaniques qui sont exprimées par lespropriétés physiques correspondant à la résistance externe et interne aux contraintes qui s'exercent sur le matériau solide et les propriétés mécaniques correspondant à la dynamiqueinterne et externe d'un matériau solide

La performance du ballast, pour arriver à répondre à ces fonctions dépend des caractéristiques des particules et notamment de leur granulométrie, forme (angularité), duretéet état de surface (texture, propreté). Ce matériau doit remplir les critères définis dans la norme algérienne « NA 17000 » (2008). Les critères de qualité du ballast portent sur la granulométrie, la dureté, la forme et la propreté.

Ces propriétés physico-mécaniques sont les suivantes :

I.6.1 La granulométrie

Le ballast recommandé par la SNTF est un granulat concassé 31.5/50 mm. Les fuseaux decontrôle et de refus sont représentés sur le Graphe ci-après. Les deux fuseaux représentent respectivement la spécification du ballast préconisée par la norme et les valeurs limites au-delà desquelles le ballast est refusé. Le deuxième fuseau est établi suite à des contrôles de conformitéà la norme.

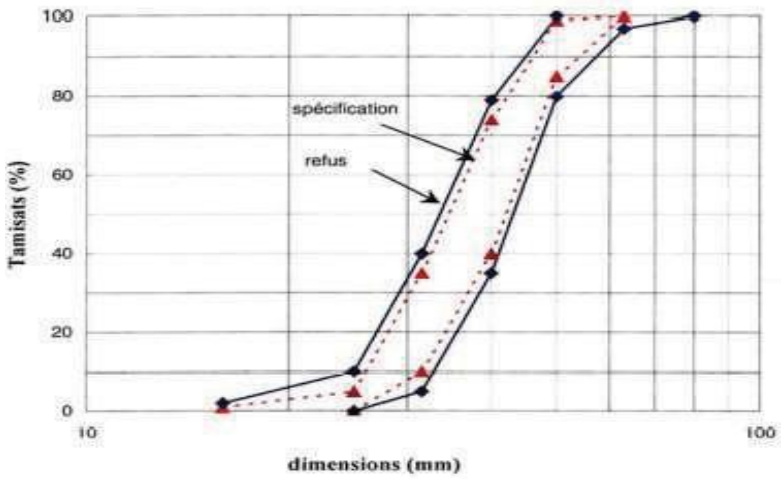


Figure I-II Granulométrie du ballast utilisé par la SNTF. (NA 17000, 2008).

La granularité du ballast de voie ferrée, déterminée conformément à NA17000, doitêtre conforme à la catégorie correspondante spécifiée dans le Tableau ci-après :

Tableau I-I Catégories pour la granularité

Maille de tamismm	Ballast de voie ferrée 31,5 / 50(mm)			Ballast de voie ferrée 31,5/63 (mm)		
	Pourcentage en masse de passant					
	Catégorie de granularité					
	A	B	C	D	E	F
80	100	100	100	100	100	100
63	100	97 à 100	95 à 100	97 à 99	95 à 99	93 à 99
50	70 à 99	70 à 99	70 à 99	65 à 99	55 à 99	45 à 70
40	30 à65	30 à 70	25 à 75	30 à 65	25 à 75	15 à 40
31,5	1 à 25	1 à 25	1 à 25	1 à 25	1 à 25	0 à 7
22,4	0 à 3	0 à 3	0 à 3	0 à 3	0 à 3	0 à 7
31,5 à 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	—	—	—
31,5 à 63	—	—	—	≥ 50	≥ 50	≥ 85

NOTE 1 : L'exigence pour le passant au tamis de 22,4 mm s'applique au ballast devoie ferrée échantillonné sur le lieu de production.

NOTE 2 : Dans certains cas, il est permis d'utiliser un tamis de 25 mm au lieu dutamis de 22,4 mm si une tolérance de 0 à 5 s'applique (0 à 7 pour la catégorie F).

Le maitre de l'ouvrage (exploitant) SNTF exige selon le chapitre 9 du référentiel technique un ballast de catégorie A.

Grains fins

La teneur en grains fins déterminée par tamisage conformément à la norme doit être conforme à la catégorie correspondante spécifiée dans le Tableau I.2.

Tableau I-II Catégories pour la teneur en grains fins

Maille detamis mm	Pourcentage maximal passant en masse			
	Catégorie de teneur en grains fins			
	A	B	déclaré	C
0.5	0.6	1.0	>1.0	Aucune exigence
NOTE L'exigence s'applique au ballast de voie ferrée échantillonné sur le lieu de Production				

Fines

La teneur en fines déterminée conformément à la norme doit être conforme à la catégorie correspondante spécifiée dans le Tableau I.3.

Le cas échéant, la propreté doit être évaluée à partir de la teneur en fines. Les fines doivent être considérées comme non nocives si leur teneur totale est inférieure à la catégorie correspondante spécifiée dans le Tableau I.3 conformément à la réglementation en vigueur sur le lieu d'utilisation du granulat.

Tableau I-III Catégories pour la teneur en fines

Maille de tamis mm	Pourcentage maximal passant en masse				
	Catégorie de teneur en fines				
	A	B	C	déclaré	D
0.063	0.5	1.0	1.5	>1.5	Aucune exigence
NOTE L'exigence s'applique au ballast de voie ferrée échantillonné sur le lieu de production.					

I.6.2 La dureté

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

La dureté d'un échantillon de granulat prend en considération les deux aspects suivants :

I.6.2.1 La résistance à l'usure

La résistance à l'usure par frottement des grains entre eux est mesurée par l'essai d'attrition DEVAL SEC noté DS et DEVAL HUMIDE noté DH. Cet essai s'effectue par frottement des grains de matériaux de l'éprouvette placée dans de petits cylindres dont l'axe est incliné de 30° par rapport à l'horizontale. On procède à un essai sec et à un essai humide car, en général, l'attrition à l'état humide est plus rapide qu'à l'état sec. Les informations apportées par ces deux essais sont donc complémentaires.

- **Coefficient micro Deval**

- **But :**

L'essai MICRO DEVAL permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat.

Il vise à caractériser les granulats utilisés pour la constitution des assises de chaussée, y compris les couches de roulement. L'essai MICRO DEVAL peut s'effectuer sur des matériaux secs "MDS" ou sur des matériaux imbibés d'eau "MDE".

- **Résistance à l'usure selon la norme algérienne :**

La résistance à l'usure du ballast de voie ferrée (coefficient micro-Deval, *M*DE*RB*,), déterminée conformément à la NA17000, doit être exprimée par la catégorie correspondantespécifiée dans le Tableau suivant :

Tableau I-IV Catégories pour les valeurs maximales de résistance à l'usure

Coefficient micro-Deval	Catégorie MDE_{RB}
≤ 5	MDE_{RB} 5
≤ 7	MDE_{RB} 7
≤ 11	MDE_{RB} 11
≤ 15	MDE_{RB} 15
> 15	MDE_{RB} Déclarée
Aucune exigence	MDE_{RB} NR

- **Principe et méthode d'essai** :

Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produits dans lamachine Deval par les frottements réciproques et les chocs modérés des élémentsdes échantillons pour essai de 7 kg, L'essai micro Deval sec s'est récapitulé dans le tableau suivant :

Tableau I-V Les normes de l'exécution de l'essai Deval

Granularité	25/55 mm
Echantillon	44 pierres 5000 ± 50 g
Charge de frottement	Aucune
Nombre de rotation	10000 avec 2000 rotations/Heure
Maille de tamis	1,60 mm
Calcul du coefficientDeval	Deval = 2800/mm étant la masse sèche, en grammes, de la fractiondu matériau passant, après l'essai, au tamis de 1,6 mm.

Les normes d'essai Deval adoptées par l'Algérie sont :

-valeur normative du Deval : D>9

-Deval évalué par rapport au passant : < 1,60mm (ARAB et BOUZIANE ,2009)L'essai micro Deval en présence d'eau se fait comme suit :

1- Prise d'essai de 500 g lavée et séchée.

2- Mise en place dans un tambour avec 5 kg de billes métallique calibrées.3- Faire tourner (14000±10) tours/heure au tambour.

4- Retirer alors la prise d'essai. Pour lavage au-dessus d'un tamis de 1.5 mm5- Peser le refus à ce tamis après séchage (m. exprimé en g)

Tableau I-VI Les normes de l'exécution de l'essai Micro-Deval en présence d'eau

Granularité	10/14 mm
Echantillon	500 g
Charge de frottement	5 kg de billes de d=10 mm en acier inox
Nombre de rotation	12000-6000 tours/heure
Maille de tamis	1,60 mm
Calcul du coefficient Deval	100*m/500

m : masse en gramme des éléments des dimensions inférieures à 1,60 mm formés au coursde l'essai.

I.6.2.2 La résistance aux chocs

La résistance aux chocs des grains de ballast entre eux est mesurée par essai de fragmentation, appelé LOS ANGELES. L'éprouvette ainsi que plusieurs boules en acier sontsoumises à une rotation autour de l'axe du cylindre qui les contient.

- **Coefficient Los Angeles :**

Le ballast, sous l'effet des contraintes qui lui sont transmises, évolue par ;

- Frottement des granulats entre eux ;
- Chocs engendrés par les traverses.

Ces deux phénomènes ont été reproduits en laboratoire pour mesurer la résistance combinéeà la fragmentation par chocs et l'usure par frottement réciproque des granulats connue sous l'appellation d'essai Los Angeles.

- **But et méthode de l'essai :**

L'essai consiste à mesurer la masse m d'éléments inférieurs à 1,6 mm, produits par la fragmentation du matériau testé (diamètres compris entre 4 et 47 mm) et que l'on soumet auxchocs de boulets normalisés (la charge de boulets composée de 11 boulets sphériques en acierd'une masse totale de (4 775 ± 85) g doit être remplacée par une charge comportant 12 bouletsd'une masse totale de (5 210 ± 90) g) (NA17000, 2008).

La masse de l'échantillon transmis au laboratoire doit comporter au moins 15 kg de grains dansla classe granulaire de 31,5 mm à 50 mm.

Tamiser l'échantillon de laboratoire à l'aide des tamis d'essai de 31,5 mm, 40 mm et 50 mm afin de fournir des fractions distinctes dans les classes granulaires de 31,5 mm à 40 mm et de40 mm à 50 mm. Laver chaque fraction séparément, puis les sécher en étuve à (110 ±5) °C jusqu'à obtenir la masse constante. Laisser les fractions refroidir à température ambiante.

Réduire la masse de chaque fraction de sorte que chacune ait une masse de (5 000 ± 50) g. Combiner les deux fractions réduites pour produire une prise d'essai présentant une

masse sèche totale de (10 000 ± 100) g.

La machine doit tourner à 1 000 tours au lieu de 500 tours à une vitesse de 31 $t.min^{-1}$ à 33 $t.min^{-1}$. (NA17000, 2008).

- **Calcul et expression des résultats**

Le coefficient de Los Angeles de ballast est calculé à l'aide de la formule suivante :

$LA_{RB} = \frac{10000 - m}{100}$ ou $LA_{RB} = 100\frac{m}{M}$

Tel que :

m : masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai

M : masse de matériau soumis à l'essai. LARB : coefficient Los Angeles du matériau.

LA_{RB} : coefficient Los Angeles du matériau.

- **Valeurs de LA selon la norme algérienne**

La résistance à la fragmentation du ballast de voie ferrée (coefficient Los Angeles, *LA*RB),doit être déclarée conforme à la catégorie correspondante spécifiée dans le Tableau ci-après :

Tableau I-VII Catégories pour les valeurs maximales du coefficient Los Angeles

Coefficient Los Angeles	Catégorie *LA*RB
≤ 12	*LA*RB 12
≤ 14	*LA*RB 14
≤ 16	*LA*RB 16
≤ 20	*LA*RB 20
≤ 24	*LA*RB 24
> 24	*LA*RB Déclaré
Aucune exigence	*LA*RB *NR*

On note qu'il n'y a pas de corrélation entre les coefficients DEVAL et LOS ANGELES. Ces deux essais complémentaires permettent d'évaluer deux aspects de la résistance du ballast en voie. En effet, il est soumis à une fatigue d'attrition mais aussi aux chocs causés par l'impact des traverses, qui ont perdu le contact avec le ballast suite à un tassement trop important de ce dernier.

Par contre les résultats de ces essais sont très importants pour la détermination d'un paramètre

principal du ballast qui s'appelle la DRG (Dureté Relative Globale).

Le coefficient de dureté DR d'un échantillon est déterminé à l'aide de l'abaque (voir Annexe1). Cet abaque permet de préciser :

- une valeur DR à l'état sec DRs (à partir de DS et LA),
- une valeur DR à l'état humide DRh (à partir de DH et LA),

La valeur DR retenue est la plus petite des deux valeurs DRs et DRh.

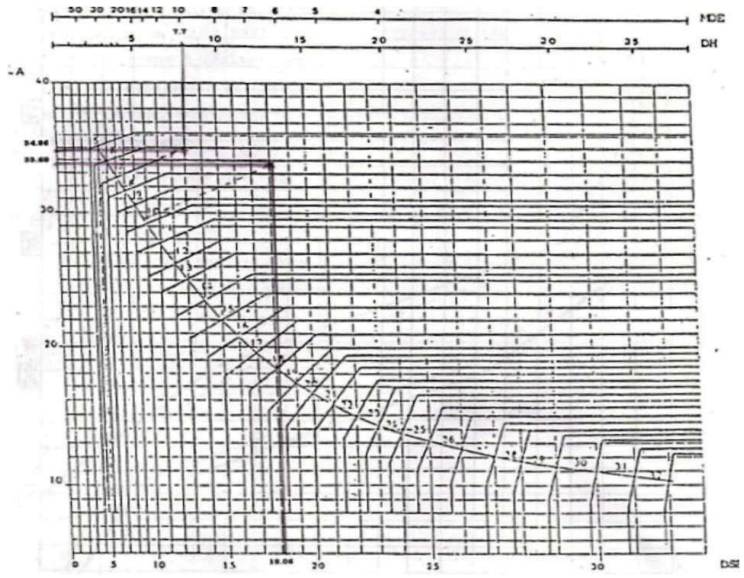


Figure I-III Abaque de DRG

I.6.2.3 La dureté relative globale

Il existe une relation entre les valeurs de l'essai Deval et l'essai Los Angeles. Cette relationtraduit la dureté relative globale d'une roche.

La qualité d'un échantillon prélevé n'est jamais à elle seule représentative de la qualité globale d'un ballast. On constate toujours, même dans les carrières à matériaux d'apparence homogène, une dispersion très importante des qualités *DR* des échantillons successivement prélevés.

Pour cette raison, on définit statistiquement à partir des valeurs mesurées depuis un certainlaps de temps, le coefficient de dureté globale DRG qui est égal à la plus faible des deux valeurs ci-après :

$DRG1 = DR' - 0.5\ \sigma_{DR}$

$DRG2 = DR_{min} + 2$

Où DR' : Moyenne arithmétique des duretés relatives $DR' = \frac{\Sigma\ DR}{n}$

Avec n : nombre d'échantillons soumis à l'essai.

σ_{DR} : Ecart type, Tel que : $\sigma_{DR} = \sqrt{\frac{\Sigma\ (DRi - DR')^2}{n-1}}$

DRmin : la plus faible valeur des duretés relatives.

I.6.2.4 Résistance à la compression simple

Pour évaluer les qualités mécaniques de ballast le maitre d'ouvrage (exploitant SNTF) exige une étude concernant la résistance à la compression simple du matériau.

La SNTF exige que la roche dont provient le ballast, ait au minimum, une résistance à la compression simple de mille deux cent kilogrammes par centimètre carré (1200 kg/cm2).

- **Principe de l'essai**

Une éprouvette cylindrique est comprimée entre les plateaux d'une presse jusqu'à rupture.

Le plateau supérieur de la presse est muni d'une rotule. L'élancement de l'éprouvette doit être suffisant (h > 2Ø) pour éviter l'effet de frettage des plateaux. On déduit la contrainte de rupture par compression simple (Rc) de la charge de rupture Pr par: RC = $\frac{4\,Pr}{Pr^2}$, valable dans la partie centrale de l'éprouvette non influencée par le frettage des plateaux à condition que l'élancement h soit suffisant.

La vitesse de mise en charge influence le résultat. On la souhaite aussi lente que possible (en pratique de l'ordre de 4 tonnes/minute). Pour les éprouvettes d'élancement insuffisant (h/ Ø <2), OBERT donne la formule suivante qui permet de passer de Rc mesuré à Rc pour :

$R_c = R_{cm} \frac{0.778\ 0.222\,(1/2)}{0.778\ 0.222\,(h/Ø)}$ (Philippe EYNDE, 1983)

I.6.3 Forme

Les grains de ballast sont de forme polyédrique avec des arêtes vives. La présence de grains allongés nuit à la stabilité de la couche compactée du fait de la possibilité d'attrition de ses particules. Des particules comme les aiguilles et les éléments plats ne doivent pas dépasser 92mm. Le pourcentage en masse d'aiguilles ne doit pas excéder 7%. L'homogénéité du ballast est définie par la proportion d'éléments friables ou altérés qui ne doit pas dépasser 3%. Les éléments plats sont caractérisés par un coefficient d'aplatissement global qui représente le pourcentage total en masse passant à l'ensemble des grilles et ne doit pas dépasser 12%. Les éléments plats sont définis comme étant d'une classe granulométrique passant au travers d'une grille à fentes, La norme affecte à chaque classe granulométrique la taille de l'ouverture de la fente, voir le tableau :

Tableau I-VIII taille de l'ouverture de la fente associée aux classes granulométriques.

Classe granulométrique d/D (mm)	Ouverture de la fente (mm)
50-63	31,5
40-50	25
31,5-40	20
25-31,5	16

Le pourcentage total en masse de grains passants par l'ensemble des grilles s'appelle "Coefficient d'aplatissement". Ce coefficient ne doit pas dépasser 12%.

Ce coefficient doit être l'essai de référence pour la détermination de la forme du ballast de voie ferrée. Il doit être exprimé par la catégorie correspondante spécifiée dans le Tableau ci-après :

Tableau I-IX Catégories pour les valeurs maximales du coefficient d'aplatissement.

Coefficient d'aplatissement	Catégorie FI
≤ 15	FI15
≤ 20	FI20
≤ 35	FI35
> 35	FI Déclaré
Aucune exigence	FINR

I.6.4 L'angularité et la rugosité

Les granulats du ballast doivent présenter des surfaces assez rugueuses et des arêtes vives pour assurer la cohésion de la masse. Elles permettent donc aux éléments du ballast de s'assembler entre eux de façon à former un ensemble compact et cohérent. Cette cohésion assure le contact et le frottement ballast /traverses, le bon maintien en place et l'immobilisation de ses dernières par pénétration des arêtes vives des éléments de ballast dans la masse des traverses (bois, rugosité ou alvéoles du béton).

I.6.5 La densité

Elle doit être élevée pour mieux résister aux différents efforts auxquels le matériau est soumis. Un bon matériau devra avoir une densité apparente au moins égale à 2,5 g/cm³ par rapport à un optimum de masse volumique compris entre 2 et 2,8 g/cm³. Les essais appliqués ici sont les essais de calcul de masse volumique (apparente, et absolue).

I.6.5.1 Masse volumique apparente et absolue

- **But de l'essai :**

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire .Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires.

- **Méthode de l'essai :**

- **Masse volumique absolue :**

Cette méthode est très simple et très rapide. Elle utilise du matériel très courant de laboratoire. Toutefois sa précision est faible.

1. Remplir une éprouvette graduée avec un volume V1 d'eau.

2. Peser un échantillon sec M de granulats (environ 300 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.

3. Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V2.

La masse volumique est alors : $p_s = \frac{M}{V2-V1}$.

Pour opérer dans de bonnes conditions, utiliser une éprouvette graduée en verre de 500 cm3 de volume. La lecture des niveaux V1 et V2 doit se faire en bas du ménisque formé par l'eau. En effet, celle-ci a tendance à remonter sur les bords de l'éprouvette sur une hauteur de 1 à 2 mm, ce qui fausse bien sûr la lecture des volumes si la lecture est effectuée en haut du ménisque.

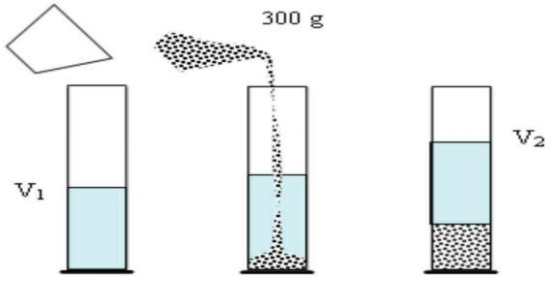


Figure I-IV L'éprouvette de la Masse volumique absolue

- **Masse volumique apparente :** C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en l'état naturel, après passage àl'étuve à 105±5°C, notée et exprimée en (gr/cm^3 ; kg/m^3 ; T/m^3), tel que : $P_{ap} = \frac{Ms}{Vap}$.

Avec :

P_{ap} : Masse volumique apparente.

Ms : Masse sèche d'un corps.

Vap : Volume apparent.

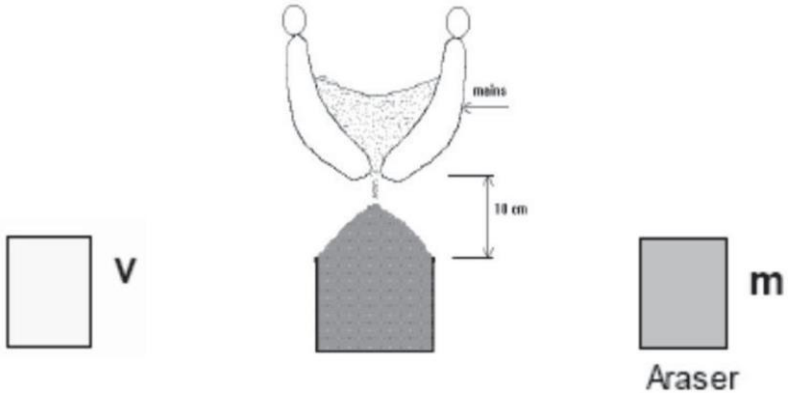


Figure I-V Eprouvette de la Masse volumique apparente.

I.6.6 La perméabilité

Le ballast doit assurer un bon drainage ou écoulement des eaux pluviales avec une pente suffisante ; car l'eau qui reste dans le ballast y forme finalement de la boue, les traverses qui s'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.

I.6.7 La non-gélivité

Plus un granulat est imperméable, plus il est mieux protéger et insensible aux effets du gel, qui se traduit par la résistance à l'écaillage et aux cycles d'imbibition-dessiccation en présence des eaux et des solutions minérales tels que les sels fondants.

I.6.8 Propreté

Les grains de ballast doivent êtres expurgés du sable, de la terre, des poussières, des débris et des fines pouvant influencer la rugosité et le frottement entre grains qui sont à l'origine de la résistance macroscopique. La masse relative des éléments passant au tamis de 1.6 mm doit être inférieure à 0.5%.

I.7 MISE EN PLACE ET PROFILS DE BALLAST

Le ballast est mis en place sous et entre les traverses. Suivant les méthodes de travail employées, il peut être mis en place par divers engins mécaniques. Généralement, une première couche de ballast est installée avant la mise en place des rails et des traverses. L'espace entre les traverses est ensuite comblé grâce à des wagons ballastières permettant un déversement du ballast en voie.

La géométrie de la voie est ensuite travaillée grâce aux bourreuses mécaniques permettant de mettre à niveau la voie et de lui donner les caractéristiques géométriques souhaitées. Les opérations de bourrage et de nivellement font l'objet des IN 0028, IN 0029, IN 0295 et IN 298.

Après chaque phase de bourrage, le ballast est désorganisé. La voie est donc stabilisée afin de retrouver une compacité et une résistance optimale pour l'exploitation. Cette stabilisation est analogue au compactage des terrassements ou au cylindrage des enrobés. Elle peut se faire par deux techniques, soit par circulation de trains lourds

(minimum 500 t), soit en utilisant un stabilisateur dynamique.

Le ballast est mis en place de façon à former un épaulement (banquette) à l'extrémité de la traverse. Cette quantité de ballast a pour but de soutenir les efforts latéraux subis par la voie. Suivant l'intensité de ces efforts latéraux ou la sensibilité des éléments de la voie, différents profils de voie sont susceptibles d'être mis en place. Le profil plein, le profil renforcé et le profil super renforcé, représentés sur la figure I.4, sont les trois types de banquettes utilisées. Leurs caractéristiques et leur domaine d'emploi sont définis par l'IN 0274.

Le profil plein est utilisé en section courante sans éléments particuliers et pour des zones courbes dont le rayon est supérieur à 1000 m. Les profils renforcés et super renforcés est utilisé dans le cas d'une installation sensible comme des appareils de voie ou les appareils de dilatation ou dans le cas d'une courbe plus forte. L'objectif de ces profils est de rajouter une masse supplémentaire augmentant les contraintes et la résistance latérale de la banquette pour prévenir les déformations de voie.

En outre, l'IN 0274 définit également les épaisseurs minimales de ballast à mettre en œuvre sous les traverses selon le type de traverse et la catégorie de voie. Les épaisseurs minimales peuvent varier entre 15 cm, pour les voies les moins circulées, et 35 cm pour les voies les plus circulées. Généralement l'épaisseur maximale de ballast est de 50 cm. Au-delà, il est difficile d'assurer le compactage de la voie.

I.8 DEGRADATION DE LA VOIE

Les spécifications techniques des voies ferrées garantissent la sécurité et la qualité d'exploitation de l'infrastructure ferroviaire. Le vieillissement de l'infrastructure ferroviaire peut être source d'accident et de problèmes d'exploitation. Ces incidents peuvent aller d'un défaut de signalisation entrainant un blocage de circulation jusqu'à une rupture de rail et un déraillement du matériel roulant. Dans le cas de l'élément ballast, le vieillissement de l'infrastructure se manifeste généralement par une perte de qualité et de résistance du matériau ou par une déformation géométrique de la voie.

I.8.1 Déformation géométrique

La géométrie de la voie est primordiale pour la sécurité et la qualité d'exploitation de l'infrastructure. Les gauches et les défauts de nivellement sont les deux principaux problèmes de géométrie qui se manifestent au cours du vieillissement de l'infrastructure.

La maîtrise de la valeur du gauche d'une voie ferrée est primordiale pour assurer la sécurité des usagers de l'infrastructure. En effet, lorsqu'un train circule dans une zone où la voie présente un gauche, les 4 points d'appui des boggies ne sont pas dans le même plan. L'une des 4 roues peut alors perdre le guidage imposé par le champignon du rail, comme présenté sur la figure I.IX, et entrainer le déraillement du train.

On mesure généralement un gauche sur une longueur de 3 m. Normalement, le gauche maximal admissible est de 12 mm. En chantier ou de façon exceptionnelle, le gauche maximal peut être de 18 mm. On considère qu'au-delà de 24 mm de gauche sur 3 m le risque de déraillement est très important.

Un défaut de nivellement vertical quant à lui peut se traduire par un déplacement vertical des engins roulants lors de la circulation. Cela crée des accélérations verticales importantes dégradant la qualité de service et pouvant fragiliser les éléments de la voie par la répétition des impacts.

L'évolution de la géométrie d'une voie est directement due au tassement des différentes couches de matériaux supportant la voie. La majorité du tassement de la voie se produit dans l'épaisseur de la couche de ballast comme illustré par les travaux de Selig et

Waters et la figure I-X. Le tassement et les variations de géométrie du ballast sont représentés par des déformations irréversibles et le comportement élasto-plastique du ballast.

Durant la vie de l'infrastructure, le tassement de la voie se manifeste en plusieurs phases. Les travaux de Guerin montrent que le comportement de la voie évolue et les variations du tassement sont décrites en deux phases, comme illustrées par la figure I.XI. Une première phase d'évolution rapide du tassement correspondante à la stabilisation de la voie, et une seconde phase d'évolution plus lente correspondante au tassement et au vieillissement de l'infrastructure.

Le comportement élastoplastique d'un géo-matériau comme le ballast correspond à la réorganisation des grains qui le composent et à la somme des déplacements relatifs des grains les uns par rapport aux autres. Deux principaux phénomènes sont identifiables. Soit les grains se réorganisent de façon à réduire les vides et l'espace entres les grains, soit ils glissent les uns par rapport aux autres de façon à réorganiser le matériau.

I.8.2 Lois empiriques de tassement :

Afin d'anticiper la dégradation géométrique des voies, plusieurs lois empiriques ont étéproposées pour décrire le tassement des voies ferrées en fonction du trafic. Par exemple, Shenton propose plusieurs formules donnant la déformation verticale $\mathcal{E}_{Nc}$ (sans unité)des voies ferrées en fonction du nombre de cycles Nc. Il exprime C^P la déformation initiale, q_{max} l'amplitude du chargement, σ_3 la contrainte de référence, α différent du coefficient de Drucker-Prager et k, a et b les paramètres des équations.

$$\mathbf{\varepsilon_{Nc} = \varepsilon_1 (1 + 0.2 \log Nc)}$$

$$\mathbf{\varepsilon_1^P = K (q_{max} / \sigma_{3)}}$$

$$\mathbf{\varepsilon (Nc) = aNc^{0.2} + bNc}$$

D'autres auteurs, comme Ionescu et al Profillidis et Alva-Hurtado, ont également proposé des formules similaires faisant varier la déformation totale de la voie selon des formes logarithmiques en fonction du nombre de cycles ou de la masse de trafic cumulé. Chacune de ces fonctions utilise plusieurs paramètres décrivant la vitesse et l'amplitude des tassements de l'infrastructure. Ces paramètres dépendent entres autres de la qualité du matériau utilisé et de la qualité de sa mise en œuvre. La dégradation de la qualité du matériau

aura une influence sur les déformations géométriques de la couche de ballast.

I.8.3 Entretien et phases de dégradation

I.9 DEGRADATION DU MATERIAU BALLAST :

La dégradation des caractéristiques géométriques de la voie est accompagnée de dégradations du matériau ballast en lui-même. Cette dégradation a pour effet d'accélérer les dégradations géométriques, comme évoqué plus tôt, mais également de diminuer la résistance de la voie aux contraintes qui lui sont imposées. Une perte de qualité du ballast peut augmenter le risque d'incident.

La qualification et la quantification des phénomènes de dégradation du ballast durant la vie de l'infrastructure sont donc nécessaires. On s'intéresse ici aux phénomènes de comminution et de pollution du ballast.

I.9.1 Phénomène de comminution :

Le premier phénomène de dégradation du ballast concerne les grains en eux-mêmes. Comme tout grain d'un géo-matériau, les grains de ballast sont sujets à la comminution. Ce phénomène correspond à l'évolution des grains d'une certaine taille en plusieurs grains de tailles inférieures. Généralement, on sépare ce phénomène en trois mécanismes suivant le degré de gravité selon le classement de Guyon et Troadec [4]. Ils sont représentés par la figure I.XIV.

Figure I-VI Phénomène de comminution : (a) fracture, (b) attrition, (c) abrasion

a. Le phénomène de fracture correspond à la séparation du grain initial en grains de tailles similaires sans grain principal ;

b. Le phénomène d'attrition correspond à la séparation de petits éléments du grain initial.

Il y a alors un grain principal et des grains secondaires ;

c. Le phénomène d'abrasion correspond à la disparation des aspérités du grain initial et à la formation de poussières.

Ces trois mécanismes sont la manifestation d'un même phénomène, mais à des degrés différents. La fracture des grains se produit généralement lorsque le matériau est soumis à de fortes contraintes isotopiques, alors que l'abrasion peut se manifester pour des contraintes plus faibles.

La comminution des grains de ballast a divers effets sur le comportement du matériau global. L'abrasion se traduit par une perte d'aspérités en surface des grains ce qui diminue les frottements inter-particulaires et la résistance générale du matériau. L'attrition a principalement pour effet d'arrondir les grains ce qui diminue la résistance et l'effet d'imbrication des grains. Enfin, la fracture des grains et l'apparition de grains plus fins en général a pour effet d'introduire des éléments intermédiaires dans le matériau. Ces éléments jouent le rôle de lubrifiant au niveau des points de contact ce qui diminue encore la résistance du matériau.

Enfin, l'apparition de grains plus fins provoque un comblement des vides du matériau. Globalement cela se traduit par une densification du ballast et une perte de volume apparent de matériau participant au tassement de l'infrastructure.

I.9.2 Mesure de la comminution :

La comminution d'un matériau granulaire se traduisant par la diminution de la taille des grains et l'apparition de grains plus petits, elle est notamment visible sur la courbe granulométrique du matériau.

La courbe granulométrique permet de décrire la composition d'un géo-matériau en fonction des diamètres de ses grains. On note cette courbe F(d) donnant en fonction d'un diamètre d la proportion massique du matériau de diamètre inférieur. La dérivée de cette courbe notée p(d) donne la proportion massique de chaque fraction granulaire dans le matériau.

Lors de la détérioration d'un matériau, la proportion des fractions granulaires de plus gros diamètre diminue. Dans le même temps, la masse correspondant aux fractions

granulaires de plus petit diamètre augmente. On constate alors une augmentation générale du passant pour chaque diamètre d. Par exemple, ce phénomène est illustré par la figure I.XV représentant l'évolution d'un matériau granulaire sous l'effet d'un martellement.

La mesure de ce phénomène peut se faire de plusieurs façons. Il est possible de comparer les proportions de chaque fraction granulaire ou directement les courbes granulométriques.

I.9.3 Pollution du ballast :

La comminution des grains n'est pas le seul phénomène aboutissant à une perte de qualité

du ballast. En effet, il subit également une pollution et un apport de matériaux extérieurs.

Ces matériaux peuvent provenir de l'environnement immédiat par le vent ou la végétation par exemple. De la même façon, des éléments peuvent provenir de la dégradation des autres composants de la voie ou des trains eux-mêmes. C'est le cas des poussières d'acier provenant de l'usure des rails ou des garnitures de frein. De même, les traverses, notamment en béton, se dégradent sous les chargements répétés des trains. Cela crée également une certaine quantité de fines qui polluent le ballast de façon plus localisée, comme illustré par la figure I.XVI.

Enfin, les fines remontant depuis le sol support et la plateforme constituent une source importante de pollution extérieure. Ce phénomène se manifeste davantage lorsque le sol support comporte une part importante de fines notamment argileuses. Les chargements successifs créent un effet de succion de ces éléments dans le ballast.

Pour prévenir ce problème, il est possible de mettre en place des nappes de géotextiles entre la plateforme et le ballast. D'autres solutions techniques sont également utilisées, notamment à l'étranger, en mettant en place des couches de matériau intermédiaire appelé sous-ballast servant de tampon à la remontée des éléments fins du sol.

Il est possible d'évaluer de niveau de pollution du ballast grâce à l'indice d'encrassement (Fouling Index), noté FI. Selig et Waters [8] proposent de mesurer cet indice par la formule selon les passants P4 à 4 mm et P0.075 à 0.075 mm.

FI = P4 + P0.075

Ionesco propose une mesure similaire en utilisant les mesures de P13.2 et P0.075 et une mesure alternative FID = D90 /D10. Il propose également une classification de l'état du ballast de propre à très souillé selon le tableau suivant :

Tableau I X Classification de la pollution du ballast selon les différents indices d'encrassement

Indice d'encrassement			**Classification**
$FI_p = P_{0.075} + P_{13.2}$	**$FI_D = D_{90} / D_{10}$**	**$FI = P_{0.075} + P_{4.75}$**	
$FI_p < 2$	$FI_D < 2.1$ et $P_{13.2} < 1.5\%$	$FI < 1$	Propre
$2 < FI_p < 10$	$2.1 < FI_D < 4$	$1 < FI < 10$	Modérément propre
$10 < FI_p < 20$	$4 < FI_D < 9.5$	$10 < FI < 20$	Modérément encrassé
$20 < FI_p < 40$	$9.5 < FI_D < 40$	$20 < FI < 40$	Encrassé
$FI_p > 45$	$FI_D > 40$, $P_{13.2} > 40\%$, $P_{0.075} > 5\%$	$FI > 40$	Très encrassé

I.9.4 Synthèse

On peut résumer la dégradation du ballast comme deux phénomènes principaux, la comminution des grains et la pollution du ballast. Ces deux phénomènes ont pour effet de modifier le comportement du matériau en entraînant notamment une perte de résistance et une perte des capacités drainantes du matériau. La résistance du ballast est largement due à sa structure enchevêtrée, à son caractère anguleux et à l'état de surface de ses grains. Sa dégradation a donc pour effet d'en diminuer la résistance. La perte d'aspérités a pour effet immédiat de diminuer la résistance au frottement inter particulaire. De même, la rupture des arêtes et l'arrondissement des grains a pour effet de faciliter les rotations et donc les déplacements relatifs des grains. Enfin, l'apparition d'éléments plus petits a un effet de lubrification au niveau des points de contact. L'ensemble de ces dégradations se traduit de façon macroscopique par une chute de la résistance et de l'angle de frottement du matériau. Cette diminution de la résistance aboutit ensuite à une accélération des tassements et une augmentation des défauts de géométrie de la voie.

I.10 CONCLUSION

La voie ferrée est une infrastructure de transport soumise à de fortes contraintes techniques garantissant l'efficacité et la sécurité de son exploitation. Elle doit satisfaire des exigences mécaniques et géométriques nécessaires à son bon fonctionnement.

Parmi les éléments qui la composent, le ballast est un élément important. Il répond d'abord aux exigences de résistance, puisqu'il doit résister aux efforts auxquels il est soumis et les transmettre au sol support. Il doit également répondre aux exigences de géométrie primordiales à la sécurité des engins roulants.

La structure ballastée subit donc des chargements importants et répétés ce qui entraine une modification de la géométrie de la voie. Des tassements irréversibles du matériau et des déformations plastiques se manifestent dans la structure. Il est alors nécessaire de réaliser des opérations de nivellement et d'entretien de la géométrie de la voie.

Durant la vie de la structure le matériau ballast est également dégradé. L'état des grains est altéré par le phénomène de comminution. Cela se traduit par une perte d'aspérités et un arrondissement des grains. Ce phénomène peut être accompagné d'un phénomène de pollution extérieure. Dans les deux cas, le phénomène de dégradation du ballast se traduit par une perte de résistance du matériau. D'une part, à cause de la diminution de la résistance inter-particulaire et d'autre part à cause des effets de formes des grains et l'apparition de grains fins jouant un rôle lubrifiant dans le matériau.

Cette dégradation du matériau ballast influe directement sur la sécurité de la voie, mais également sur la vitesse de dégradation de la géométrie.

Le suivi du comportement de la structure du ballast sur un très grand nombre de cycles, ainsi que le suivi de ses dégradations ouvrent de nouvelles possibilités de définir une prédiction précise de l'état de dégradation de la structure et la quantification des proportions de matériau sain et de matériau dégradé aidant à l'anticipation et à l'optimisation des opérations d'entretien par exemple.

CHEMINS DE FER EN ALGERIE

CHAPITRE II: CHEMINS DE FER EN ALGERIE

II.1 INTRODUCTION :

Le transport est un service nécessaire pour de nombreuses activités de la vie courante c'est un élément important dans le développement d'un pays donc l'être humain a toujours chercher de le développer il est même devenue de plus en plus sa préoccupation majeur, il essaie toujours d'exploiter la totalité de l'espace par le transport routier, chemins de fer, transport aérien et maritimes. Le chemin de fer est une invention spectaculaire qui se présente dans la civilisation humaine depuis la révolution industrielle en l'Europe dans le IX ème siècle. Il englobe le métro, le tramway et la voie ferrée. En Algérie le transport ferroviaire a fait ses débuts à la fin du XIXe durant la colonisation française de l'Algérie.

II.2 AVANTAGES DE CHEMIN DE FER :

Le chemin de fer présente plusieurs avantages par rapport aux autres moyens de transport on peut citer :

- Possibilité de remorquer des charges élevées car le contact métal sur métal limite à une faible valeur la résistance au roulement.
- Rapidité et sécurité vis-à-vis des accidents car le dépassement est impossible, absence des obstacles.
- Un débit supérieur à celui d'une autoroute à 4 voies.
- Coût de transport réduit par rapport au transport routier.
- Transport Non ou peu polluant.

II.3 LE RESEAU FERROVIAIRE ALGERIEN :

II.3.1 Étapes de développement:

En Algérie le chemin de fer a passé par différentes étapes de développement :

- En 1857 c'était prévu la réalisation de 1357 km de chemins de fer ce projet a été réalisé par six compagnies.
- En 1879 renforcer les lignes de chemins de fer existantes avec plus de 1700 km Ce projet a été confié à des investisseurs privés et des collectivités locales.
- En 1959, création de la compagnie des chemins de fer Français en Algérie (CCFA) qui devint en 1963 la Société Nationale des Chemins de Fer Algériens (SNCFA).

- En 1976, l'état algérien a divisé la SNCFA en trois organismes distincts : La SNTF, ANESRIF et la SIF.
- En 1999, le linéaire en voies ferrées existant ne dépassait pas les 1800 km. Donc ils ont lancé beaucoup de projet comme la pénétrante de l'ouest qui va du Sud de Sidi Bel Abbés vers Béchar, donc le total de linéaire obtenu après à la réception de ce projet est de 6.000km.
- En 2005, l'ANESRIF est créée pour gérer un nouveau programme pour développer le réseau à 12 500 km en 2025.
- En 2010, 315 km de nouvelles voies sont ouvertes (Bordj Bou Arreridj à M'Sila, Ain Touta à M'Sila, nouvelle ligne de Béchar), les lignes de banlieue d'Alger ont été électrifiées.
- En 2011, il s'est hissé au niveau de 4000 km après l'achèvement de certains projets, dont la pénétrante de l'ouest qui va du Sud de Sidi Bel Abbés vers Béchar.
- En 2015 sur un programme de 2 300 km de nouvelles lignes, 1 324 km sont en travaux dont la majeure partie concerne la partie ouest de la boucle des hauts plateaux.

II.3.2 Réseau actuel en Algérie :

Le réseau des chemins de fer algérien est aujourd'hui parmi les plus modernes en 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 [1] :

- 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'Ouvrage d'Art dont l'ouverture est supérieure à 10 m : 553.
- Nombre d'Ouvrage 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.

- D'après la classification mondiale des chemins de fer effectuée par CIA en 2008 : L'Algérie est classée la 45 éme sur 134 pays au monde et occupe la 6éme place au niveau africain, ainsi qu'elle est la première par rapport aux pays Maghrébins. [2].

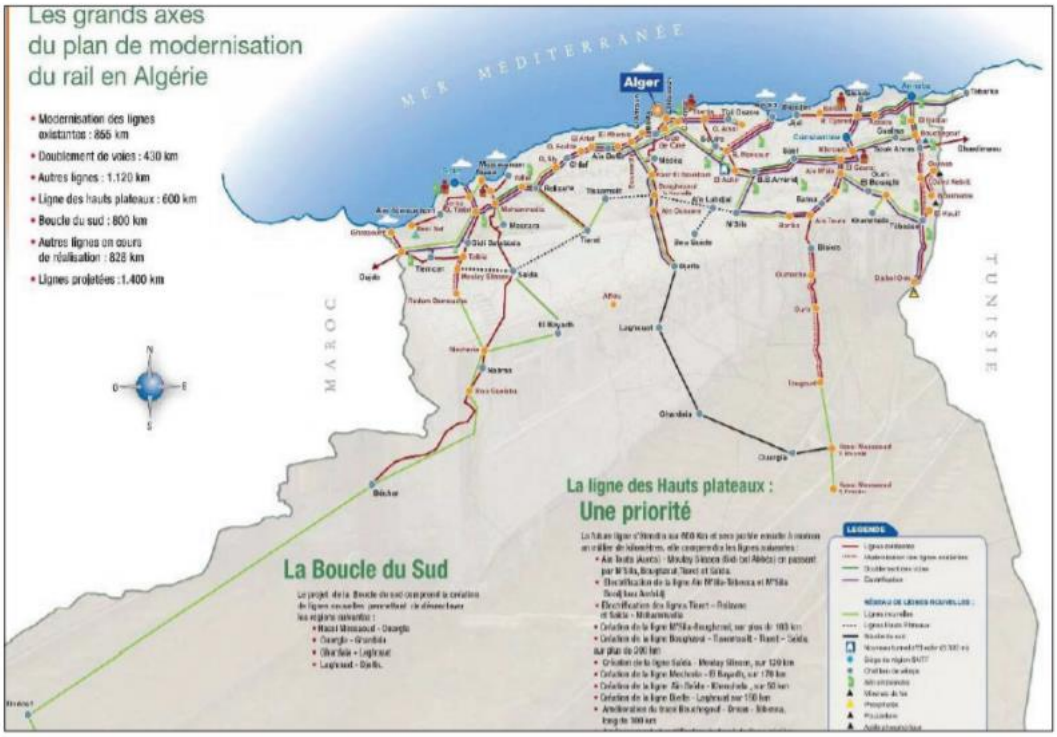


Figure II-IPlan de développement des chemins de fer en Algérie.

II.4 CONCLUSION

Le réseau ferroviaire algérien est plus ou moins dense au niveau des grandes villes et les grands centres industriels, le trafic de passagers et de marchandises y est plus important, mais ce mode de transport reste très minoritaire par rapport au mode de transport routier. Actuellement un grand effort d'extension et de modernisation est consenti afin d'élever substantiellement la part de marché de ce mode de transport et de garantir une équité socioéconomique entre les différentes parties de la nation.

PRESENTATION DU PROJET

CHAPITRE III: PRESENTATION DU PROJET

III.1 INTRODUCTION :

Dans le cadre du Schéma Directeur National des Infrastructures Ferroviaires inscrit au plan quinquennal de l'année 2014, l'état prévoit la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire « EL AFFROUN – port centre Cherchell (TIPAZA).» Dans un linéaire de 40 km. L'Agence Nationale d'Etude et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires ANESRIF «maitre d'ouvrage délégué» est chargée de la gestion de la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire. Cette ligne ferroviaire permettra l'extension, le maillage et l'interconnexion des nouvelles lignes avec les lignes existantes, dans le but d'assurer les transports ferroviaires voyageurs et Marchandises, en conformités des exigences générales des autorités à savoir :

- L'un des objectifs recherché est d'augmenter les fréquences et la vitesse commerciale des trains, le réseau ferré doit faire face à un trafic relativement important sur l'artère Est – Ouest.
- La projection d'une bonne infrastructure de communication et en concertation avec les autorités locales, contribue au développement du transport ferroviaire de la région.
- Augmenter la sécurité en évitant les sinuosités.
- Diminution du temps de parcours.
- Construction d'une nouvelle ligne à double voie électrifiée.Améliorer les conditions d'exploitation avec un relèvement significatif de la vitesse.
- Amélioration des performances du chemin de fer.
- Offrir un transport ferroviaire plus compétitif.
- Conservation de la nature et de l'environnement.
- Création les postes d'emplois permanents et temporaires.

Notre projet porte sur un travail intitulé : « Étude avant-projet détaillé (APD) de la nouvelle ligne ferroviaire EL AFFROUN- TIPAZA du PK 22+275 au PK 34+850 avec la conception de la gare de HADJOUT . C'est une nouvelle ligne électrifiée d'un aspect voyageurs et marchandises à une vitesse successivement de 160 km/h et 80km/h. Le but de cette étude est d'établir une conception d'un tracé qui répond aux critères techniques et aux termes de références

exigés.



Figure III-IPosition de projet

III.2 CHOIX DE CATÉGORIE DE TRAFIC :

La ligne est de trafic mixte avec vitesse de trafic de voyageurs de 160 km/h, donc la ligne est classée dans la deuxième catégorie (II) selon les normes UIC (703 R).

Tableau III-ICatégories de trafic UIC (703 R)

Catégorie I	Lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs supérieures à 80km/h et au plus égales à 120 km/h.
Catégorie II	Lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs supérieures à 120 km/h et au plus égales à 200 km/h.
Catégorie III	Ligne à trafic mixte et vitesses projetées des trains de voyageurs pouvant atteindre 250 km/h .sont données les valeurs utilisées sur les lignes nouvelles des FS et de la DB .les vitesses maximales sont provisoirement limitées à 200 km/h.
Catégorie IV	Lignes à trafic de voyageurs exclusivement, avec vitesses supérieures à 250 km/h et pouvant atteindre 30 km/h .sont données les valeurs utilisées sur les lignes TGV de la SNTF.

III.3 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA LIGNE PROJETEE

Les exigences techniques du projet sont :

• Nouvelle ligne à double voie ;

• Type de trafic : mixte (trains voyageurs et trains marchandises).

• Vitesse de conception de la ligne :

- Voyageurs : 160Km/h

- Marchandises : 80Km/h

• Pente longitudinale maximale : 16‰.

• Pente au niveau de la gare : 0‰.

• Levé topographique (couloir d'étude).

• Profil en travers :

- Ecartement standard des rails (1435 mm en alignement) ;

- La largeur de la plate-forme en double voie est fixée à 13,60 m avec un entraxe de 4.20 m.

- L'axe des poteaux caténaires devra se situer à un minimum de 3060 mm de l'axe de la voie ;

- Un cheminement de 1000 mm sera aussi implanté pour la circulation piétonnière du personnel de maintenance de la voie dans le cas des voies à l'air libre uniquement.

• Voie équipée de rail du type 60 E1 (60.21 kg/m) posés sur des traverses bi-bloc en béton armé VAX.

• Charge à l'essieu :

- Charges à l'essieu pour la superstructure de 20 tonnes.

- Charges à l'essieu pour les ouvrages d'art de 25 tonnes.

III.4 CONLUSION :

Ce projet a pour but de répondre aux objectifs économiques et aux besoins sociaux de la région, de régler le problème de transport entre Hadjout et Le port centre de Cherchell à la fois des personnes et de marchandise, aussi de diminuer le temps du parcours pour permettre aux voyageurs de gagner du temps de déplacement tout en respectant les exigences environnementales.

TRACE EN PLAN

CHAPITRE IV: TRACE EN PLAN

IV.1 INTRODUCTION

L'étude géométrique du tracé de la voie, a pour but d'obtenir un bon roulement des véhicules, il est donc indispensable de chercher la meilleure forme géométrique à donner à la surface de roulement de la voie et du tracé adopté pour cette surface. Pour concevoir le tracé d'une ligne ferroviaire, on doit prendre en compte les enjeux des territoires desservis et respecter les contraintes liées à la vitesse. L'objectif est d'intégrer la ligne nouvelle harmonieusement dans son environnement humain et naturel.

IV.2 DEFINITION DU TRACE EN PLAN

Le tracé en plan dessine la trajectoire de la ligne vue du dessus, il est constitué par la projection horizontale sur un repère cartésien topographique de l'ensemble des points définissant le tracé de la voie ferrée. Il est constitué par une succession de segments de droites et (ou) de courbes circulaires raccordés entre eux par des courbes de transition du type clothoïde. Les caractéristiques des éléments constituant le tracé en plan doivent assurer les conditions de confort et de stabilité. En chemin de fer le tracé en plan est caractérisé par deux vitesses : · Vv : vitesse des trains rapides (voyageurs) · Vm : vitesse des trains lents (marchandises)

IV.3 REGLES, NORMES ET CONDITIONS A RESPECTER POUR LE TRACE EN PLAN

Les normes exigées et utilisées dans l'étude du projet sont résumées dans les fiches de la SNTF, il faut respecter ces normes dans la conception et dans la réalisation. Dans ce qui suit, on résume les règles à respecter dans le tracé en plan :

- Respecter le référentiel technique utilisé (règlement et normes)
- Comme c'est une étude APD, on ne doit pas sortir du couloir choisi
- Essayer d'utiliser le maximum d'alignement droit 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'est inévitable le franchissement s'effectuera perpendiculairement à sa ligne d'écoulement ou bien des endroits les plus étroits.
- Suivre les courbes de niveau afin de diminuer le terrassement.

- Eviter de passer par des terrains agricoles, des zones forestières et des propriétés privées.
- Eviter les problèmes de talus ·
- Eviter les terrains très plastiques ·
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques. ·
- Eviter les problèmes des talus :
- Talus en déblai :
    - éviter la présence de nappe, terrains plastiques et la Présence de roches fissurées. ·
    - Talus en remblai : éviter les terrains instable e (pouvant être mis en mouvement par le remblai) et les sols très compressible.

IV.4 LES ELEMENTS DU TRACE EN PLAN

L'axe du tracé en plan est constitué d'une succession des alignements droits, des liaisons (courbes de raccordements) et des arcs de cercles qui sont schématisés ci-dessous :

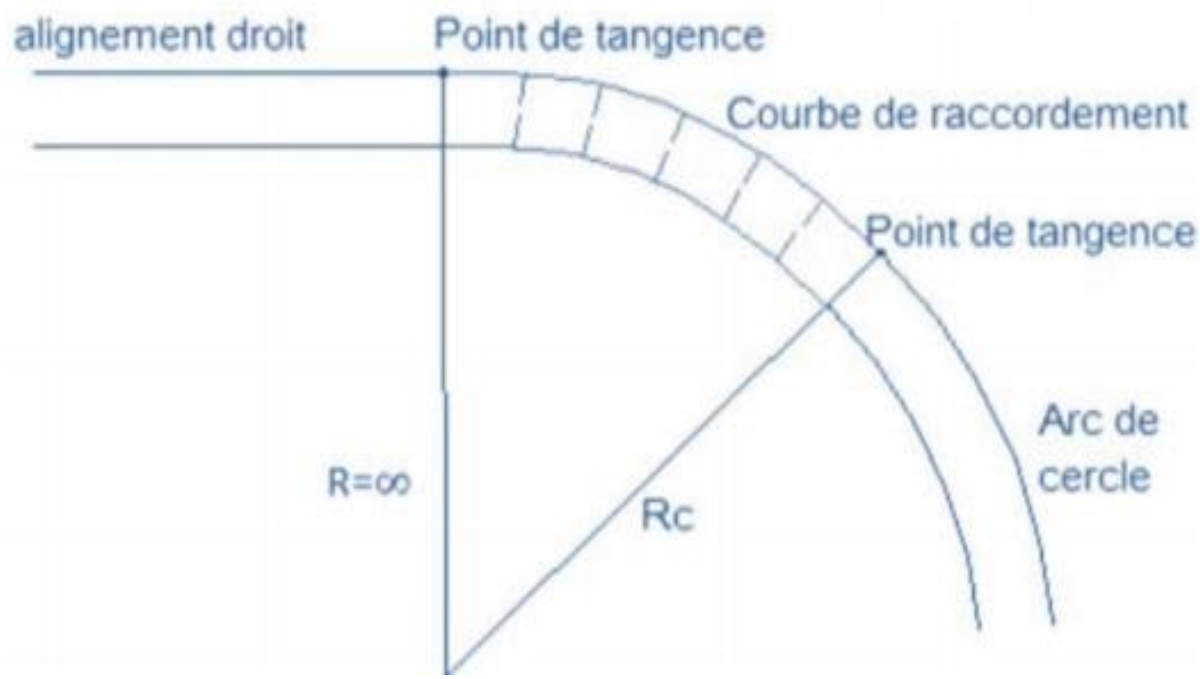


Figure IV-IEléments du tracé en plan

Alignement : est le plus simple et le plus favorable à l'exploitation, il est recommandé d'utiliser plus d'alignement dans le tracé en plan quand la topographie de la zone nous permet parce qu'il offre un meilleur confort aux usagers ainsi que leur sécurité ($R = \infty$).

Arc de cercle : le raccordement entre les alignements se fait avec les raccordements circulaires, les rayons minimaux des courbes circulaires sont essentiellement imposés par la vitesse de circulation des véhicules ou plutôt par la force centrifuge qui lui est lié (R=Constante).

Courbe de raccordement : C'est un élément géométrique qui raccorde l'alignement à un arc de cercle (R =variable), on utilise pour ce type de raccordement la clothoïde qui assure, grâce à sa variation linéaire de courbure la stabilité et le confort plus son aspect esthétique satisfaisant.

IV.5 CONDITIONS DE RACCORDEMENT

Le raccordement progressif doit vérifier les trois conditions suivantes :

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

Condition de confort optique C'est pour assurer une vue satisfaisante au conducteur de la voie en limitant le changement de direction.

Condition de confort dynamique La progression du dévers et de la courbure assurent la stabilité et le confort dynamique.

IV.6 QUANTIFICATION DES PARAMETRES

Ces paramètres, pour lesquels le respect des valeurs exceptionnelles garantit la sécurité et le confort avec le coût de maintenance. On distingue deux types de paramètre

Paramètres relevant de la sécurité :

Le rayon de la courbe

La variation de courbure.

L'insuffisance de dévers.

Le dévers et le taux de variation de dévers.

Paramètres relevant le confort :

Excès de dévers.

Variation de l'insuffisance de dévers.

Longueur des éléments de tracé.

IV.7 LES PARAMETRES DE CONCEPTION DU TRACE DE LA VOIE

IV.7.1 Longueur minimum des éléments de tracé

La longueur effective de tout élément de tracé (autre que les courbes de raccordement) doit se situer au-dessus d'une valeur exceptionnelle, en prenant en considération les paramètres de conception du tracé effectivement utilisés pour les éléments de tracé encadrant (dévers, insuffisances de dévers et leurs variations). Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes, entre milieux de doucines, doivent respecter les valeurs exprimées en mètres ci-après (la vitesse V est exprimée en km/h).

Tableau IV-I IV.7.1 Longueur minimum des éléments de tracé

Valeur limite normale (m)	V/2=80 m
Valeur limite exceptionnelle(m)	V/3= 53.3 m

IV.7.2 Le rayon minimum

La valeur du rayon minimum admissible est un paramètre qui dépend de la vitesse du projet, il est limité pour assurer, le confort des voyageurs et éviter que les efforts transversaux sur la voie ne soient trop importants. Le rayon minimum (normal et exceptionnel), sera défini à partir de l'insuffisance de dévers admissible (I) pour les vitesses maximales (Vmax) et à partir de l'excès de dévers (E) pour les vitesses minimales (Vmin) sans que le dévers maximum ne soit dépassé. (Référentiel technique SNTF, 2005) [8]

Le rayon minimum de la courbe se calcule en utilisant les relations suivantes :

$$\frac{11.8\,V^2_{min}}{dp-E} \geq R \geq \frac{11.8V^2_{max}}{dp+I}$$; dp : dévers pratique.

IV.7.3 Dévers

D'après les lois de la mécanique classique un point matériel qui se déplace dans une courbe subit une force centrifuge qui a tendance à le renverser à l'extérieur du virage. Cette force peut conduire au déraillement du train et à la fatigue de la voie et des roulants,

pourannuler ou modérer cette force, on surélève le rail ou la file extérieur, de la voie, cette différence de niveau dans une courbe est appelée dévers.

IV.7.3.1 Le dévers théorique

Pour une vitesse V du train on établit le dévers nécessaire qui peut assurer la stabilité sur lavoie et le confort des voyageurs, ce dévers est en fonction de cette vitesse ainsi que la résultante

« R » du poids du véhicule (P) et de la force centrifuge (F).

Ce dévers est appelé dévers théorique d'équilibre, il est trouvé comme suit :

La force centrifuge est donnée par : $F=ma=\frac{mV^2}{R}$

Le poids est donné par : P=mg

$tg = \frac{F}{P} = \frac{V^2}{R.g}$

On a : d = e. sinα (α est petit ➡ sin α ≈ tg α)

Donc : $d = e.tg\ \alpha = e\frac{V^2}{R.g}$ (V en m/s)

Pour : e = 1.5m, g = 9.81m/s² et V [m/s] = (1/3.6)*V[km/h]

D'où : d = 0.0118 V²/R (R en [m], d en [m] et V en [km/h])

Ou bien : $d = 11.8\frac{V^2(\frac{km}{h})}{R(m)}$ avec d en [mm]

F : force centrifuge

e : écartement de la voie

α : angle de dévers

p : poids du véhicule

IV.7.3.2 Le dévers pratique (prescrit)

Le choix du dévers à mettre en voie est un compromis, car il doit permettre la circulation, dans des conditions normales de sécurité et de confort, aussi bien des trains rapides de voyageurs que des trains lents de fret.

Ce dévers donné à la voie est appelé dévers prescrit. (Conception du tracé SNCF, 2006)[9]

Sa valeur est comprise entre celle des trains rapides et celle des trains lents, elle est donnée par :

$D_p = 1000\frac{C}{R}$ ou C : est un coefficient du dévers.

R : rayon de courbure [m]

D_p : devers pratique [mm]

Ce dévers est toujours inferieur au dévers théorique. Il ne doit pas dépasser la limite qui est de 160mm (180mm exceptionnelle). Les normes de la SNTF estiment ce dévers de 70% du dévers théorique : $D_p = 0{,}7(11.8\ V^2/R) < 160$ mm

IV.7.3.3 Le coefficient de devers

Il exprime la proportionnalité entre le devers pratique et la courbure à la création d'une ligne. (Conception du tracé SNCF, 2006)[9]

Le calcul théorique de C se fait en utilisant les formules suivantes :

- 1ère formule : $C = 0.006\ V_R^2$
- 2ème formule : $C = R_{min} \cdot d_{Rmin}/1000$

$$R_{min} = \frac{11.8\ V_R^2}{d_{Rmin} + I_{max}} \qquad d_{Rmin} = \frac{V_R^2 \cdot E_{max} + V_L^2 I_{max}}{V_R^2 - V_L^2}$$

R_{min} : Rayon minimum

d_{Rmin} : Dévers pratique correspondant au rayon minimum.

V_R : Vitesse du train rapide ; V_L : Vitesse du train lent (de marchandises)

I_{max} : Insuffisance maximale du dévers, $I = d_R - d_p$, tel que d_p c'est le dévers pratique et d_R le dévers des trains rapides.

E_{max} : L'excès maximum du dévers, $E = d_p - d_L$, tel que d_L est le dévers des trains de marchandises.

IV.7.3.4 Notion de l'insuffisance (I) et l'excès de dévers (E)

Les trains de voyageurs nécessitent des dévers plus importants que celle des trains de marchandises. Pour une vitesse V_R des trains rapides, un dévers rend difficile sinon impossible, pour le démarrage des trains de marchandise à cause de la traction, de plus, les surcharges entraînent l'écartement des champignons et la formation des bavures. Pour un

dévers d_L correspond à une vitesse V_L des trains de marchandises, le voyageur ressent un confort marqué.

IV.7.3.5 L'insuffisance de dévers (I)

Lorsque la vitesse d'un véhicule empruntant une courbe est plus élevée que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers prescrit, ce véhicule est soumis à une force centrifuge non compensée. Le dévers de la voie est donc insuffisant et la résultante des forces se déplace vers l'extérieur de la courbe. On appelle insuffisance de dévers (exprimée en mm) la différence entre le dévers d'équilibre et le dévers prescrit. (XP ENV 13803-1, 2003) [10]

$I = d - d_p$

d : dévers théorique des trains rapides.

Pour les valeurs de R et d fixées, l'insuffisance de dévers détermine la vitesse maximale en pleine courbe, de telle manière que :

$$I = 11.8 \frac{V_R^2}{R} - d_p \text{ [mm]} \leq I_{rec}$$

I_{rec} peut être remplacée par la valeur $(aq)_{rec}$:

$$aq = \frac{V_{max}^2}{12.96\ R} - \frac{g \times d}{1500} = \frac{I}{153} \leq (aq)_{lim}\ \frac{I_{rec}}{153}$$

IV.7.3.6 L'excès de dévers (E)

Lorsque la vitesse d'un véhicule en courbe est plus faible que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers prescrit, ce véhicule est soumis à une force centripète non compensée. Le dévers de la voie est donc excessif et la résultante des forces se déplace vers l'intérieur de la courbe. On appelle excès de dévers (exprimé en mm) la différence entre le dévers prescrit et le dévers d'équilibre. (XP ENV 13803-1, 2003)[10] C'est la différence entre le dévers pratique et le dévers théorique des trains lents.

E_{max} : L'excès maximum du dévers

$E = d_p - d_m$

$$E = d_p - 11.8 \frac{V_{min}}{R^2}$$

d_m : Dévers théorique des trains lents

Dans les courbes de grand rayon, il y a généralement une différence significative entre la vitesse des trains rapides V_{max} et celle des trains plus lents V_{min}

Il y a excès de dévers lorsque l'expression suivante prend une valeur positive :

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

Les valeurs limites de l'excès de dévers d'après UIC 703 sont indiquées ci-dessous :

Les valeurs limites pour l'excès de dévers dépendent de l'intensité du trafic quotidien des trains marchandises et elles sont déterminées de la manière suivante :

Tableau IV-IIExcès dévers en fonction tonnage journalier

Tonnage journalier	E_{max}
Volume ≤ 45000 T/J	70
25000< volume < 45000	80
10000< volume < 25000	90
Volume ≤ 10000	100

IV.7.3.7 Raccordement de dévers

Le Dévers 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 dévers d'alignement à un dévers 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. La figure ci-dessous montre la variation linéaire du devers selon la SNTF :

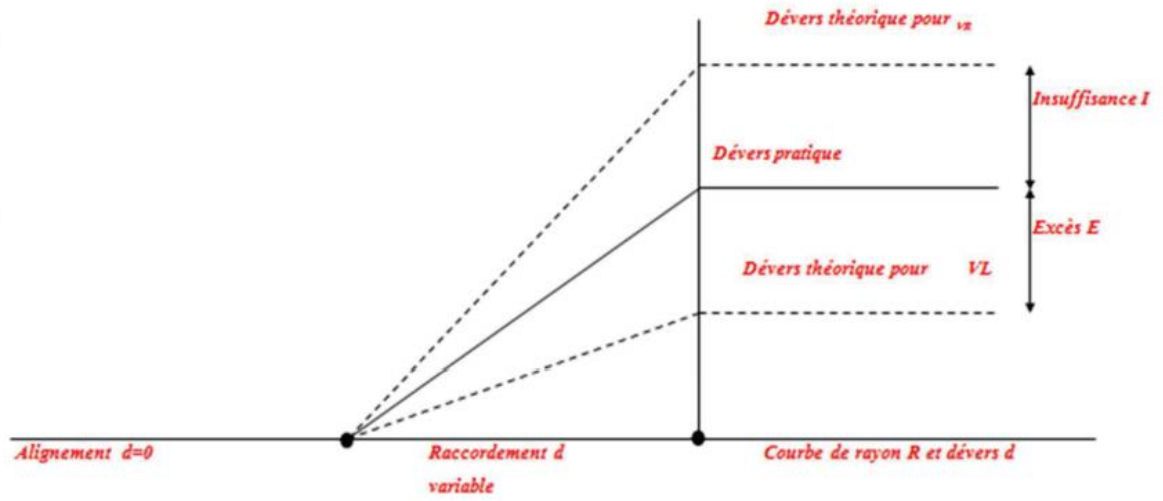


Figure IV-II La variation linéaire du devers

IV.7.3.8 Gauchissement et variation de dévers

La variation du dévers provoque un gauchissement de la voie, donc les points de contact des quatre roues ne se trouvent pas au même niveau, et la charge se répartit inégalement sur les quatre roues, et sous des charges dynamiques pour de grandes vitesses, le problème s'avère néfaste. Pour régler le problème, on doit limiter cette rampe par unité de longueur, le rapport Δd/ Δl appelé « gauche » exprime cette variation en (mm/m).

IV.7.3.9 Variation de dévers en fonction du temps dD/dt

Taux suivant lequel le dévers augmente ou diminue relativement à la vitesse d'un véhicule franchissant une courbe de raccordement. Pour les variations de dévers à gradient de dévers constant, on souhaite obtenir la relation suivante, où Δd est la variation de dévers :

$$\frac{dD}{dt} = \frac{dD.V_{max}}{3.6L} \leq \left(\frac{dD}{dt}\right)_{rec}$$

Une limite de la variation de dévers (dd/dt) dans les courbes de transition est nécessaire pour que la vitesse de rotation des véhicules ne nuise pas à leur stabilité.

IV.7.3.10 Variation de dévers en fonction de la longueur dD/dl

Taux exprimé en mm/m suivant lequel le dévers augmente ou diminue par unité de longueur. La formule qui nous donne cette variation est :

$$\frac{dD}{dl} = \frac{3.6}{V_{max}} \frac{dD}{dt} = \frac{dp}{dL}$$

Sa limite est donnée en fonction de la vitesse comme suit :

Tableau IV-IIIValeurs limites de variation du dévers en fonction de la longueur (Référentiel SNTF, 2005)

Valeur limite normale (m)	$\Delta d/\Delta l = 180/Vv$
Valeur limite exceptionnelle(m)	$\Delta d/\Delta l = 216/Vv$

La SNTF exige une variation ≤ 2.52 (exception 3.24 mm/m)

A.N: VR =160 km/h ➡ 180/160 = 1.125 mm/m < 2.52 mm/m.

IV.7.3.11 Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps dl/dt

Dans le cas des courbes de raccordement avec variations uniforme de la courbure et rampe de dévers à pente constante on peut établir la relation suivante, I étant l'insuffisance de dévers dans la pleine courbe :

$$\frac{dI}{dt} = \frac{V_{max}}{3.6L} \text{ x } I \leq \left(\frac{dI}{dt}\right)_{rec} \text{ [mm/s]}$$

Pour assurer le confort de l'usager le fait que l'être humain est plus sensible aux variations d'accélération qu'à l'accélération elle-même la variation de l'insuffisance du dévers est limitée.

Application numérique pour le calcul des devers

IV.8 APPLICATION NUMERIQUE POUR LE CALCUL DES DEVERS

D'après le référentielle SNTF on a les données suivantes :

Tableau 0-IValeurs Limites

Paramètre et symbole	Valeur normale	Valeur exceptionnelle
Devers maximal (dmax)	160 mm	180 mm
Insuffisance de devers voyageur (I)	150 mm	160 mm
Excès de devers (E)	110 mm	130 mm
Variation de devers (dd/dl)	180 / V	216 / V
Limite de variation de devers (di/dt)	75 mm/s	90 mm/s

IV.8.1 Raccordement progressif

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.

IV.8.1.1 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 danc/dt (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. La clothoïde aux arcs (ou spirale de Cornu) a une courbure proportionnelle à l'abscisse curviligne L mesurée depuis le point d'inflexion 0.

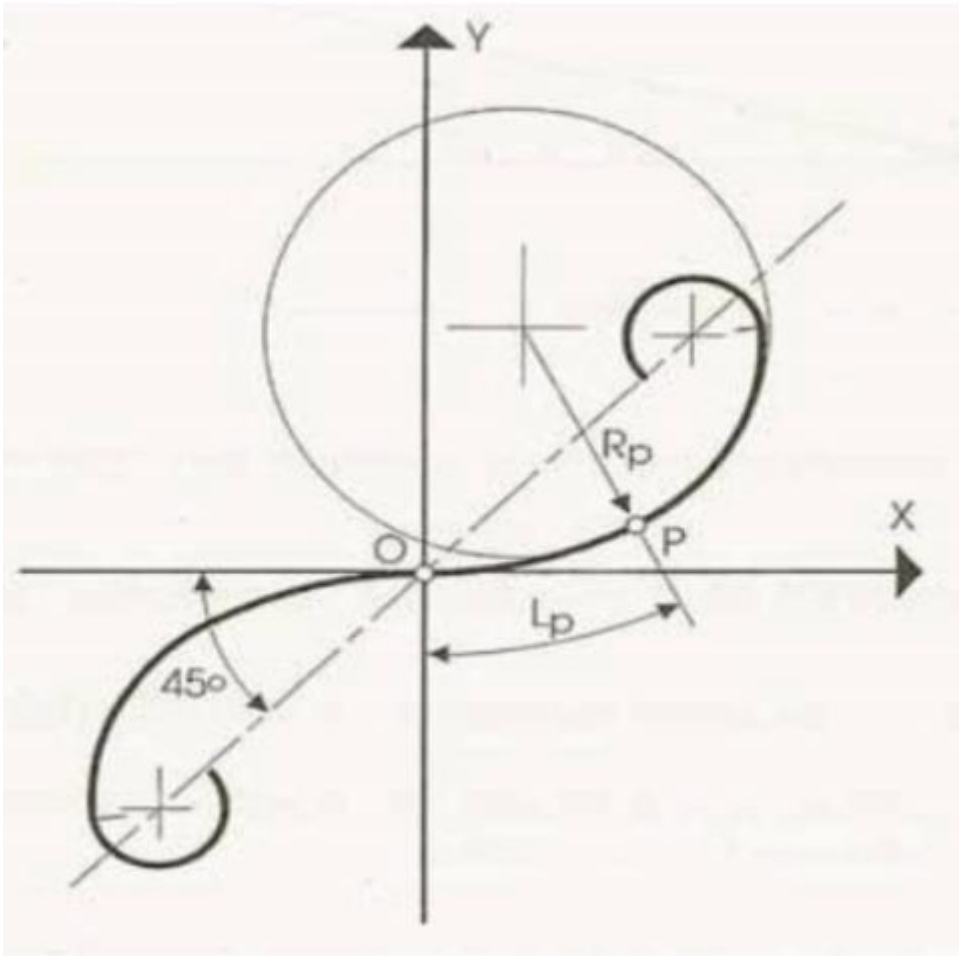


Figure 0-I Equation mathématique de la clothoïde

Les clothoïdes sont des courbes homothétiques, c'est-à-dire géométriquement semblables entre elles, le paramètre de la clothoïde étant le rapport d'homothétie ou facteur de similitude. Les angles et les rapports sont donc des invariants. On utilise ce type de raccordement afin de:

- Introduire progressivement le devers.

- Concevoir un tracé esthétiquement satisfaisant.
- Respecter les conditions de confort et de sécurité.

IV.8.1.2 La longueur de la clothoïde

La longueur de la clothoïde doit être déterminée à partir des valeurs limites imposés par les paramètres suivants :

- Variation de dévers en fonction du temps dd/dt.
- Variation de dévers en fonction de la longueur dd/dl.
- Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps dI/dt.

La longueur de clothoïde doit satisfaire chacune des conditions de sécurité et de confort suivantes :

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

IV.8.1.3 Paramètre de la clothoïde

$A = \sqrt{R.L_{CL}}$

IV.9 APPLICATION AU PROJET

D'après les données de la SNTF :

Vitesse des trains rapides VR = 160 km/h.

Vitesse des trains lents VL = 80 km/h.

$E_{max} = 100$

$I_{max} = 150$ D'après la SNTF.

IV.9.1 Calcul de la longueur de l'alignement droit L_{min}

- Valeur limite normale : $L_{min} = \frac{V_v}{2} = \frac{160}{2}$; $L_{min} = 80m$.

- Valeur limite exceptionnelle : $L_{min} = \frac{V_v}{3} = \frac{160}{3}$; $L_{min} = 53.33m$;

  On prend $L_{min} = 55m$.

IV.9.2 Calcul du rayon minimal R_{min}

$$D_{Rmin} = \frac{V_v^2 \ Emax \ + V_m^2 \ Imax}{V_v^2 \ - \ V_m^2}$$

$$= \frac{160^2.100 + 80^2.150}{160^2 - 80^2}$$

= 183.33mm > 160mm ; Donc on prend $D_{Rmin} = 160mm$.

Et la formule donnant le rayon minimale : $R_{min} = \frac{11.8 \ X \ V_v^2}{(D_{Rmin} + I_{max})}$

Avec : $D_{Rmin} = 160mm$

$I_{max} = 150mm$

AN : $R_{min} = 974,452$

Donc : $R_{min} \approx 1000m$.

IV.9.3 Calcul du coefficient de dévers (C)

C = 0.006 x V_m^2

C = 0.006 x 160^2 = 153.6 ;

On prend C = 165 (il est recommandé de choisir des valeurs de dévers de multiple de 15, il est favorable pour faciliter la tâche lors de l'exécution).

IV.9.4 Calcul de dévers théorique d_{th}

Pour R=1300m

$d_{th} = 11.8 \frac{V^2}{R} = 11.8 \ \frac{160^2}{1300} = 232.37$ ➡ **d_{th} = 232.37 mm**

IV.9.5 Calcul de dévers pratique d_p

$d_p = \frac{1000 \cdot C}{R} = \frac{1000 \cdot 165}{1300} = 126.92$

On prend **d_p = 130mm** < 160 **vérifié.**

IV.9.6 Calcul de l'insuffisance de dévers I

$I = d_{th} - d_p = 232.37 - 130$

I = 102.37mm < 150 **vérifié.**

IV.9.7 Calcul d'excès de dévers E

D'abord on calcule le dévers théorique des trains lents (V_{min} = 80km/h) :

$d_{th}' = 11.8 \frac{V_{min}^2}{R} = 11.8 \frac{80^2}{1300} = 58.09$ mm

$E = d_p - d_{th}' = 130 - 58.09 = 68.91$

E = 71.91 mm < 90 mm **vérifié**.

IV.9.8 Calcul de la longueur et le paramètre de la clothoïde

$L_{CL} \geq \frac{dp \cdot Vmax}{3.6 \frac{\Delta d}{\Delta t}} = \frac{127 \times 160}{3.6 \times 50} = 112.89$; On prend **L_{CL} = 120m.**

$A = \sqrt{R.L_{CL}} = \sqrt{1300 \cdot 120} = 394,97$; **A =394,97.**

IV.9.9 Variation de dévers

$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{dp \cdot Vmax}{3.6\, L_{CL}} = \frac{130 \times 160}{3.6 \times 120} = 48.15$ **;**

$\frac{\Delta d}{\Delta t}$ **= 48.15 mm/s** < 50 mm/s **vérifié.**

IV.9.10 Variation de l'insuffisance de dévers ΔI

$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \cdot Vmax}{3.6\, L_{CL}} = \frac{102.37 \times 160}{3.6 \times 120} = 37,91$;

$\frac{\Delta I}{\Delta t}$ **= 37,91 mm/s** < 75 mm/s **vérifié**.

IV.9.11 Gauchissement et variation du dévers d/L

$\frac{dp}{L_{CL}} = \frac{130}{120}$ = 1,08 ;

$\frac{dp}{L_{CL}}$ **= 1,08 mm/m** < 1,125 mm/m **vérifié**.

Tableau 0-II 5 Paramètres du tracé en plan

N° sommet	R (m)	d_p (mm)	d_{th} (mm)	I (mm)	d_{th}' (mm)	E (mm)	L_{CL} (m)	A (m)
S1	1300	130	232.37	102.37	58.09	71.91	120	394.97
S2	1200	140	251.73	111.73	62.93	77.07	130	394.97
S3	1200	140	251.73	111.73	62.93	77.07	130	394.97
S4	1600	105	188.8	83.8	47.2	57.8	100	400
S5	1300	130	232.37	102.37	58.09	71.91	120	394.97
S6	1600	105	188.8	83.8	47.2	57.8	100	400

IV.10CALCUL D'AXE

Les calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel **CIVIL 3D** et les résultats sont joints dans l'annexe en fin du rapport (annexe 2).

PROFIL EN LONG

CHAPITRE V: PROFIL EN LONG

V.1 INTRODUCTION

Le profil en long est composé de succession de lignes droites raccordées par des courbes circulaires sans transition aucune.

Le profil longitudinal sera défini par la projection horizontale de la cote de la file basse des rails des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé.

Le profil en long est l'un des facteurs principaux qui interviennent dans le confort et la sécurité d'une voie ferroviaire définit par les déclivités et d'autres caractéristiques techniques, il conditionne le volume de terrassement et les ouvrages à implanter.

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

- L'altitude du terrain naturel ;
- L'altitude du projet ;
- La déclivité du projet, distances partielles et cumulées.

V.2 ÉLEMENTS GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG

Les éléments qui constituent le profil en long sont :

- Pente : C'est le tronçon de voie ou l'altitude est décroissante dans le sens de circulation (descente) représenté par la pente y sur la Figure VI- I
- Rampe : C'est le tronçon de voie ou l'altitude est croissante dans le sens de circulation (montée) représenté par les pentes x et z sur la même figure.
- 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. (Conception du tracé SNCF, 2006)[9].

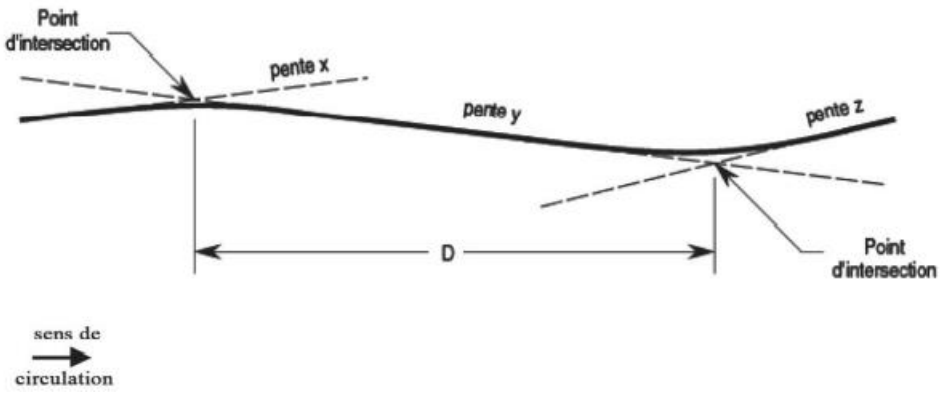


Figure V-I Les éléments du profil en long

V.3 COORDINATION DU TRACE EN PLAN ET PROFIL EN LONG

Le tracé de la ligne rouge doit répondre à plusieurs conditions concernant le confort, la sécurité, l'évacuation des eaux pluviales et l'économie, c'est pour cela qu'il faut respecter certaines règles :

- Il faut respecter les valeurs des paramètres géométriques et les rayons prescrits par le règlement.
- Le rayon minimum en profil en long est de $0.35V^2_{max}$;
- La déclivité maximale est de 16‰ en conditions normales, 18‰ en exceptionnelles et est de 00‰ au niveau des gares et haltes ;
- Pour assurer un bon écoulement des eaux, il est utile de placer les zones des dévers nuls dans une pente du profil en long et éviter les angles rentrants en déblai ;
- Minimiser les quantités de déblai et remblai ;
- Éviter une hauteur excessive en remblai ;
- Éviter de placer les appareils de voie en courbe ou bien en déclivité.
- Pour une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long, il est conseillé de ne pas placer une courbe verticale sur une autre horizontale.
- Éviter le placement d'une courbe en profil en long immédiatement après une courbe en tracé en plan.
- Minimiser les ouvrages d'art.

V.4 DECLIVITE MAXIMALE

Elle inclut les rampes et les pentes, la déclivité affecte les possibilités de freinage et de démarrage des circulations.

La déclivité admise varie en fonction de sa longueur.

- En déclivité de longueur inférieure à 3000 m, elle ne doit pas dépasser 16‰ et exceptionnellement 18‰.
- En déclivité de longueur comprise entre 3 000 m et 15 000 m, elle diminue graduellement pour passer de 16‰ à 13‰, exceptionnellement de 18‰ à 15‰.
- En déclivité de longueur supérieure à 15 000 m, la déclivité ne doit pas dépasser 13‰ et exceptionnellement 15‰. (Référentiel SNTF, 2005) [8].

La figure ci-après précise la valeur de la déclivité en fonction de sa longueur d'application :

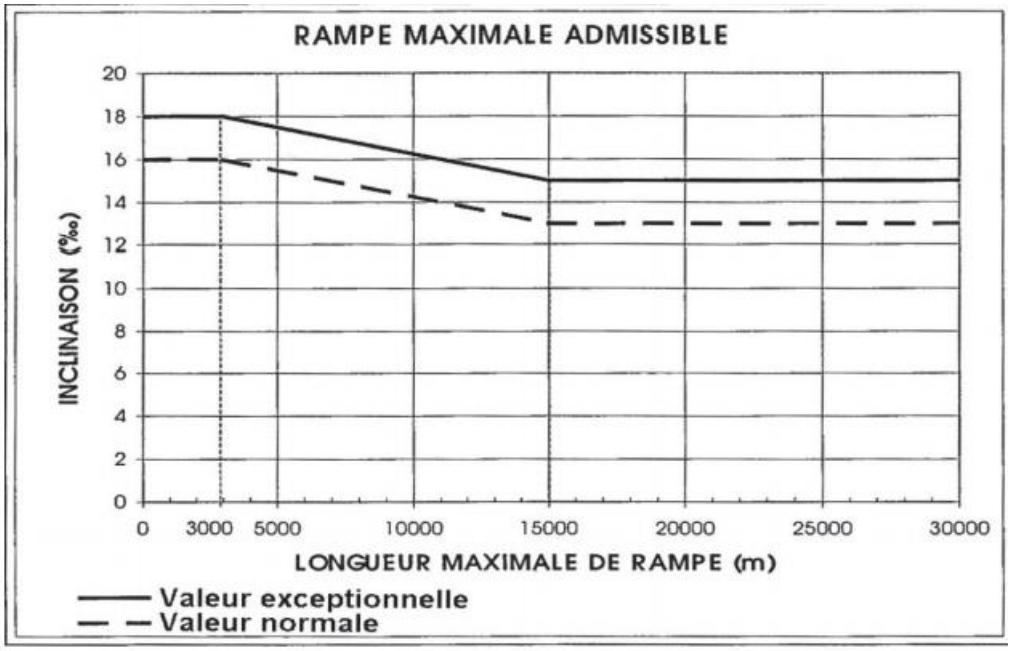


Figure V-II Déclivités maximales admissibles (Source référentiel SNTF)

V.5 RAYON ADMISSIBLE DE RACCORDEMENT DE PROFIL EN LONG

Lorsque la différence algébrique de deux déclivités successives est importante, celles-ci sont raccordées entre elles par des cercles dans le plan vertical. Ces cercles sont appelés « raccords de déclivité » ou « raccordements circulaires ». (SNCF, 2006).

Pour calculer le rayon des courbes verticales, on utilise la formule suivante :

$R_v = \frac{V_{max}^2}{12.96\ a_v} \geq (R_v)_{lim}$ (XP ENV 13803-1, 2003)

Les valeurs limites sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau V-IValeur limite maximales du rayon de raccordement de profil en long (source référentiel SNTF)

Valeur minimale Recommandée [m]	0.35 x V^2_{max}
Valeur minimale exceptionnelle [m]	0.25 x V^2_{max}

V.6 LONGUEUR MINIMALE DES ELEMENTS DU PROFIL EN LONG

Afin d'éviter les oscillations des véhicules dues aux variations successives des déclivités, La longueur de la déclivité entre deux raccordements altimétriques, ne doit pas être inférieure à $\frac{V}{2}$ et exceptionnellement à $\frac{V}{2.5}$.

La longueur minimale des raccordements de déclivité est de 30m pour tenir compte des bases de nivellement des bourreuses. (Conception du tracé SNCF, 2006)

Remarque :

- Un exemple de calcul des éléments du profil en long est détaillé dans l'annexe 2.
- Les calculs sont faits avec le logiciel AUTODESK CIVIL 3D, les résultats sont joints dans l'Annexe 2.

PROFILE EN TRAVERS

CHAPITRE VI: PROFILE EN TRAVERS

VI.1 INTRODUCTION

Le profil en travers d'une voie ferrée est la coupe transversale de cette dernière suivant un plan vertical perpendiculaire à l'axe de cette voie. L'échelle la plus fréquemment utilisée est celle de 1/100. On distingue deux types de profil :

VI.1.1 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.

VI.1.2 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.

VI.2 ETABLISSEMENT DE PROFILE TYPES

VI.2.1 Elément de la superstructure

- La valeur de l'écartement de la voie.
- La distance entre les axes.
- Le type de traverse utilisé.
- Poteaux Quatemère.
- La valeur du devers en courbe.
- L'épaisseur de la couche de ballaste.

VI.2.2 Eléments de l'infrastructure

- Les épaisseurs de chaque couche.
- Les pentes transversales de chaque couche.
- La pente latérale de la plateforme.

VI.2.3 Eléments de talus

- La pente de chaque talus.
- Les ouvrages de consolidation.

VI.2.4 Eléments d'assainissement

- Type et dimension du drainage longitudinal

VI.2.5 Les éléments de protection de la voie

- Butées en terre en cas d'ensablement.
- Système de protection contre la chute de pierres.

VI.3 LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS

- Emprise : C'est la surface du terrain naturel affecté à la voie, limitée par le domaine public.
- Assiette : C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.
- Plate-forme : C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.
- La voie : C'est le chemin de roulement des trains.
- La berme : Supporte des équipements (barrières de sécurité, signalisations..). Sa largeur qui dépend tout 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.

VI.4 PROFIL TYPE DE NOTRE PROJET

Pour notre projet, on a opté pour les sections types exigées par la SNTF :

Type de ligne : double voies mixte électrifiée.

- Ecartement de la voie : 1.435 m (standard).
- Entraxe : 4,20 m.
- Distance axe voie – axe Poteau caténaire a la face extérieur du rail : 3.25 m.
- Largeurs de la plate-forme :13.60 m.
- Pente latérale de la plate-forme : 4%.
- Pente latérale de la couche de ballast : 2/3.
- Epaisseur du ballast : 30 cm.
- Epaisseur du sous-ballast : 20 cm.
- Epaisseur de la couche de fondation : 15 cm.
- Pente (déblai : 2/3 et remblai : 2 / 3). · Fossé trapézoïdale (b= 0.5 m ; h= 0.8 m).

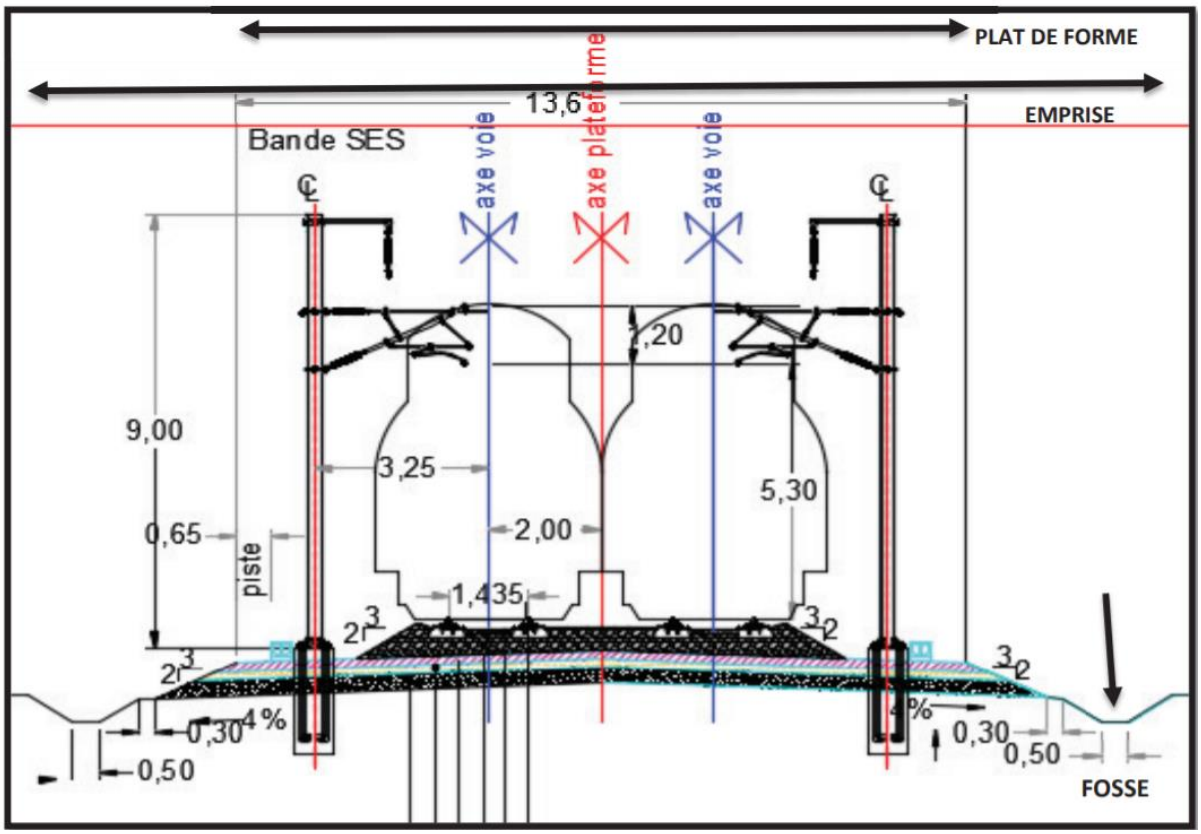


Figure VI-I Élément géométrique du profile en travers

VI.5 CONCLUSION

Le profil en travers est indispensable lors d'une étude, donc dans ce chapitre nous permis d'énumérer les éléments du profil en travers ainsi que c'est la détermination des volumes des terrassements et de la couche d'assise de la voie ferrée.

ETUDE HYDROLOGIQUE

CHAPITRE VII: ETUDE HYDROLOGIQUE

VII.1.1 Situation géographique et description de la région d'étude

La zone d'étude est limitée à l'Est par la wilaya d'Alger ; à l'ouest par la W.de Chelf ; au Nord la mer méditerranée et au sud Est par la W.de Médéa et Sud-Ouest par la Willaya D'AinDefla.

La zone d'étude reliant la ville d'El Affroun (W. de Blida) à celle de Tipaza traverse **les sous bassins versant 10 et 03** du grand bassin hydrographique du Côtier Algérois codé **02a** par l'ANRH.

L'axe de projet traverse les principaux oueds par des ouvrages d'art (Ponts et viaducs), et leurs affluents par des petits ouvrages de drainages (dalots ou buses) et cela dans les zones de remblais et dont les dimensions sont données par la présente étude hydrologique et hydraulique.



Figure VII-I Carte météorologiques de la région d'étude

VII.1.2 Données météorologiques de la région d'étude

Pour notre tronçon (du pk 22+275 au pk 34+850) on utilisera les données météorologiques des stations de Hadjout et de meurad barrage

VII.1.2.1 Température

Les valeurs de la température moyenne mensuelle observées dans la région, indiquent des températures douces avec des valeurs moyennes variant de 24,9 au mois d'Août et de 12.5 au mois de Janvier. On peut distinguer deux saisons :

- Une saison chaude, s'étalant du mois de Mai au mois d'Octobre, avec un maximum au mois d'Aout (27,6°C).
- Une saison froide, qui s'étale du mois de Novembre au mois de Mai, avec un minimum au mois de Janvier (10° C).

Tableau VII-I Temperature moyenne

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T_{moy} °C	12.5	13.25	14.6	16.1	17.5	21.0	24.0	24.9	23.0	21.0	17.6	14.7

VII.1.2.2 Humidité

Tableau VII-II Pourcentage d'humidité

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
HUM%	14.8	12.6	19.2	21.0	19.8	28.3	31.0	29.2	33.0	28.2	19.0	14.5

Les mois les plus humides sont : juillet, aout, septembre, octobre.

VII.1.2.3 Vent

Tableau VII-III Vitesse de vent

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Vitesse du vent moyenne Annuelle (m/s)
Vent (m/s)	1.5	2.0	3.4	3.0	3.1	3.2	2.8	2.7	3.3	2.3	2.9	2.6	2.54

Les vents dominants dans le périmètre sont ceux qui soufflent de N.E et de l'ouest. Le maximum des forces de vents se situe au cours de l'hiver ; Le minimum se situe aux mois d'été. La vitesse moyenne annuelle des vents est 2,54m/s.

VII.1.2.4 Insolation

Tableau VII-IV Insolation

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Insolation (h)	6.8	6.6	6.8	8.9	6.1	10.2	11.3	9.7	8.0	6.6	5.9	2.6

L'insolation la plus forte durant toute l'année est celle du mois juillet et du mois de juin.

VII.1.2.5 Pluviométrie

La ville de Tipaza est situé sur le littoral ou la précipitation est élevée, la zone de Tipaza présente une valeur de précipitation de l'ordre 600mm/an.

Tableau VII-V Pluviométrie

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MOY
P (mm)	81.3	84.6	76	50.5	41.6	9.3	3.1	5.2	30	57.2	85	99.2	56.06

VII.1.3 Caractéristiques morphologiques et climatiques des bassins versants

VII.1.3.1 Bassin versant

Le bassin versant est définit par un territoire géographique délimité par des lignes de partage des eaux, il est l'espace drainé par un cours d'eau et ses affluents. L'ensemble des eaux qui tombent dans cet espace convergent vers un même point de sortie.

Chaque bassin versant se subdivise en un certain nombre de bassins élémentaires (parfois appelés « sous-bassins versants »).

VII.1.3.2 Caractéristiques morphologiques

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.

Après délimitation des bassins versant sur carte topographiques au 1/50 000 en utilisant logiciel Autocad ; on calcule les paramètres suivants :

- S : La surface du bassin versants (Km^2).
- P : Le périmètre (Km).
- L : La longueur du talweg (Km).
- Hmax : L'altitude max (m).
- Hmin : L'altitude min (m).
- Hmoy : L'altitude moy (m).
- La pente moyenne (%).

Tableau VII-VI CALCULE DES BASSINS VERSANTS

N° BV	PK	Surface	Long	Cote max	Cote min	Cote moy	ΔH	Pente bassin
		Km²	Km	H_{max}(m)	H_{min}(m)	H_{moy}(m)	m	J(m/m)
1	23+140	43.84	12.07	508	30	269	478	0.0396
2	24+650	1.379	1.81	122	27	74.5	95	0.0526
3	25+198	2.884	3.24	152	33	92.5	119	0.0367
4	25+665	10.58	5.51	252	37	144.5	215	0.0390
5	26+403	0.49	0.88	192	56	124	136	0.1545
6	26+753	2.533	3.59	470	70	270	400	0.1115
7	27+742	2.26	2.96	336	82	209	254	0.0858
8	29+400	0.1900	0.58	158.00	112.00	135.00	46.00	0.0793
9	29+890	0.3281	0.55	222.00	122.00	172.00	100.00	0.1832
10	31+180	3.8530	4.22	466.00	98.00	282.00	368.00	0.0872
11	31+840	0.6430	1.05	200.00	84.00	142.00	116.00	0.1102
12	31+910	0.2694	0.39	158.00	86.00	122.00	72.00	0.1851
13	32+960	0.4772	0.82	148.00	53.00	100.50	95.00	0.1161
14	33+475	6.1530	5.95	818.00	58.00	438.00	760.00	0.1276
15	34+425	1.6800	2.63	400.00	40.00	220.00	360.00	0.1369
16	34+825	181.0200	27.68	1390.00	22.00	706.00	1368.00	0.0494

VII.2 CALCUL HYDRAULIQUE

VII.2.1 Temps de concentration Tc

Le temps de concentration est le temps que mettent des gouttes d'eau non évaporées et non infiltrées dans le sol de descendre du sommet du bassin versant jusqu'à l'exutoire. Des méthodes simplifiées peuvent être utilisées pour estimer le temps de concentration sur des bassins versants.

Pour notre considération, on va utiliser les formules suivantes :

VII.2.1.1 Formule de Ventura

$Tc = 0.127 \sqrt{\frac{A}{J}}$ avec : $A \leq 5$ km²

Tel que :

- **Tc (h)** : Temps de concentration ;
- **A (km²)** : Surface du bassin versant ;
- **J (m/m)** : Pente du bassin versant.

VII.2.1.2 Formule de Passini

$Tc = 0.108 \frac{\sqrt[3]{A \times L}}{\sqrt{J}}$ avec : $5\ km^2 < A \leq 25\ km^2$

Tel que :

- **Tc (h)** : Temps de concentration ;
- **A (km²)** : Surface du bassin versant ;

- **L (km)** : Longueur de l'oued principal ;
- **J (m/m)** : Pente du bassin versant.

VII.2.1.3 Formule de Giandotti

$Tc = \frac{4\sqrt{A}+1.5\,L}{0.8\sqrt{H}}$ avec : $A \geq 25km^2$

Tel que :

- **Tc (h) :** Temps de concentration ;
- **A (km²)** : Surface du bassin versant ;
- **L (km)** : Longueur de thalweg principal ;
- H **(m)** = $H_{moy} - H_{min}$.

VII.2.2 Intensité de pluie I

L'intensité de l'averse de durée t et de période de retour T est estimée par la formule de Montana :

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

Tel que :

- **I(t,T) (mm/h)** : L'intensité de la pluie ;
- **T (ans)** : Période de retour ;
- **t (h)** : Durée de traverse;
- **a(T)** et **b(T) :** Paramètres de Montana.

Tableau VII-VII Paramètres de Montana en fonction de periode de retour

Période de retour (ans)	a	b
10	45.1	0.66
20	52.7	0.66
50	62.6	0.66
100	70	0.66

VII.2.3 Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement C signifie le pourcentage des eaux écoulées sur la terre saturée de pluies par rapport à la quantité total des eaux courantes.

Le coefficient de ruissellement est déterminé par 3 paramètres : C (C1, C2, C3).

Tableau VII-VIII Le coefficient de ruissellement

Couverture	Morphologies	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

VII.2.4 Evaluation des débits d'eaux pluviales

Il est évident que le calcul de débit est indispensable pour le calcul des ouvrages hydraulique. Le débit pris en compte pour les calculs hydrauliques et le dimensionnement des ouvrages dans notre projet est le débit centennal (Q100) ou un débit historique supérieur s'il est connu.

Le calcul du débit proposé est effectué par l'un des formules suivantes :

VII.2.4.1 Formule Rationnelle

$$Q_{100} = \frac{C \; X \; I_{100} \; X \; A}{3.6} \quad \text{avec : } A < 10 \text{ km}^2$$

Tel que :

- **Q_{100} (m^3/s)** : Débit centennal ;
- **A (km^2)** : La superficie de BV **;**
- **I_{100} (mm/h)** : L'intensité de pluie **;**
- **C** : coefficient de ruissèlement.

VII.2.4.2 Formule de transition

$Q_{100} = \alpha Q_{R100} + \beta Q_{C100}$ avec : $10km^2 < A < 50\ km^2$

Tel que :

- **Q_{100} (m^3/s)** : Débit centennal ;
- **Q_{R100} (m^3/s)** : débit centennal fourni par la formule Rationnelle ;
- **Q_{C100} (m^3/s)** : débit centennal fourni par la formule Crupedix ;
- $\alpha = (50 - A) / 40$ **;**
- $\beta = 1 - \alpha$.

VII.2.4.3 Formule Crupedix

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

$Q_{10} = R \times (P_{10}/80)^2 \times A^{0.8}$ avec : $A > 50\ km^2$

Tel que :

- **Q10 (m^3/s)** : débit décennal ;
- **Q100 (m^3/s)** : débit centennal ;
- **R** : coefficient régional traduisant l'aptitude au ruissellement équivaut au :
  - ✓ **0.2** pour les terrains perméables ;
  - ✓ **1.5** à **1.8** pour les terrains imperméables ;
  - ✓ **1** pour les terrains intermédiaires.
- **P_{10} (mm)** : pluie journalière de période de retour décennal **;**
- **b'** : paramètre de superficie de BV (**1.4 < b' < 4**) :
  - ➢ Jusqu'au 20 km^2, $b' = \frac{Q_{R100}}{Q_{R10}}$, calculé par la formule Rationnel ;
  - ➢ Au-delà de 20 km^2, **b'** est déterminé à partir des données provenant descours d'eau jaugés sur des BV représentatif à proximité de projet.

VII.3 APPLICATON AU PROJET

Tous les bassins versants ont une superficie A < 10 km^2 sauf les bassins versant N° 1, 4, et 16, qui ont respectivement des superficies égales à 43.84, 10.58, et 181.0200.

Avec A(N°16) > 50km².

Donc on utilise deux méthodes de calcul : la formule Rationnelle et la formule de Crupedix.

VII.3.1 Exemple de calcul par la formule Rationnelle

Tenant compte le bassin versant N°8 :

N°BV	PK	A (km^2)	L (km)	H_{max} (m)	H_{min} (m)	H_{moy} (m)	ΔH (m)	J (m/m)
08	29+400	0.19	0.58	158.00	112.00	135.00	46.00	0.0793

VII.3.1.1 Temps de concentration Tc

A < 5 km^2 donc on applique la formule de Ventura :

$$Tc = 0.127\sqrt{\frac{0.19}{0.0793}},$$

Tc = 0.197 h.

VII.3.1.2 Intensité de pluie I

Pour T = 100 ans :

- a = 70
- b = 0.66

$$I(t, T) = \frac{70}{0.197^{0.66}},$$

I = 204.53 mm/h.

VII.3.1.3 Coefficient de ruissellement

- C1 : culture ;

- C2 : 5% < J= 7.93% < 10% => ondulé ;
- C3 : limon argileux.

C (C1, C2, C3) = 0.60

VII.3.1.4 Calcul du débit max

$$Q_{100} = \frac{0.60 \times 204.53 \times 0.19}{3.6}$$

Q_{100} =6.48 m^3/s

VII.3.2 Exemple de calcul par la formule de Crupedix

Tenant compte le bassin versant N°16 :

N°BV	PK	A (km^2)	L (km)	H_{max} (m)	H_{min} (m)	H_{moy} (m)	ΔH (m)	J (m/m)
16	34+825	181.02	27.68	1390.00	22.00	706.00	1368.00	0.0494

VII.3.2.1 Temps de concentration Tc

A > 25 km^2 donc on applique la formule de Giandotti :

$$Tc = \frac{4\sqrt{181.02} + 1.5 \times 27.68}{0.8\sqrt{0.684}},$$

Tc = 4.557 h.

VII.3.2.2 Intensité de pluie I

Pour T = 100 ans :

- a = 70 ;
- b = 0.66 ;

$$I(t, T) = \frac{70}{4.557^{0.66}},$$

I = 25.72 mm/h.

VII.3.2.3 Coefficient de ruissellement

- C1 : culture ;
- C2 : 0% < J= 4.94% < 5% => presque plat ;

- C3 : Argile limoneuse graveleuse.

C (C1, C2, C3) = 0.5

VII.3.2.4 Calcul du débit max

- **R**= 1 ;
- **b'** = 2
- **P_{10}** = 75.1 mm.

$Q_{10} = 1 \times (75.1 /80)^2 \times 181.02^{0.8}$;

Q_{10} = 56.40 m^3/s.

$Q_{100} = 2 \times 56.40$;

Q_{100} = 112.8 m^3/s.

Les résultats de calcul des débits maximaux des BV du PK22+275 au PK34+850 sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VII-IX

N° BV	PK	Surface A [km²]	C	T_C [h]	I (100) ans [mm /h]	Q (100ans) [m³ / s]
1	23+140	43.84	0.4	3.605	30.03	**53.22**
2	24+650	1.379	0.6	0.651	92.93	**21.36**
3	25+198	2.884	0.5	1.128	6– 4.65	**25.90**
4	25+665	10.58	0.5	2.120	42.63	**61.51**
5	26+403	0.49	0.6	0.227	186.26	**15.21**
6	26+753	2.533	0.6	0.606	97.42	**41.13**
7	27+742	2.26	0.6	0.653	92.74	**34.93**
8	29+400	0.1900	0,60	0,197	204,53	**6,48**
9	29+890	0.3281	0,72	0,170	124,56	**8,17**
10	31+180	3.8530	0,60	0,846	42,51	**27,30**
11	31+840	0.6430	0,72	0,307	83,83	**10,78**
12	31+910	0.2694	0,72	0,153	133,67	**7,20**
13	32+960	0.4772	0,72	0,258	94,19	**8,99**
14	33+475	6.1530	0,72	1,004	37,90	**46,64**
15	34+425	1.6800	0,72	0,446	65,27	**21,93**
16	34+825	181.0200	0,50	4,557	25.72	**112.80**

VII.4 DRAINAGE TRANSVERSAL

Les ouvrages hydrauliques de traversée permettent :

- Le franchissement des grandes rivières et de leur champ d'inondation ;
- Le transit d'un coté à l'autre de la plateforme, des eaux des bassins versant naturels et desdispositifs de drainage longitudinal.

Les types d'ouvrages concernés sont :

- Des ouvrages d'art à fonction hydraulique ;
- De petits ouvrages constitués d'un conduit (buse circulaire ou tuyau rectangulaire), de têtes d'extrémités, d'un lit de pose et d'un remblai contigu au conduit.

VII.4.1 Estimation des débits des ouvrages de traverse

Le débit de saturation ou le débit capable de l'ouvrage hydraulique est calculé par le biais de la formule de **Manning Strickler** pour un événement pluvial d'occurrence centennale (T=100 ans) :

$$Q_s = K_S \times S_m \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

Tel que :

- Q_s **(m^3/s)** : Débit de saturation de l'ouvrage ;
- **I (m/m)** : Pente longitudinale de l'ouvrage ;
- R_h **(m)** : rayon hydraulique ($R_h = S_m/P_m$), avec (S_m : section mouillé, P_m : périmètremouillé) ;
- **Ks** : Coefficient de rugosité de Strickler dépend de la nature de la surface de l'écoulement.

Tableau VII-X Valeurs de coefficient de rugosité de Stickler

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

VII.4.2 Vérification des conditions d'auto curage

Les ouvrages de drainage transversaux des eaux pluviales sont dimensionnés en respectant les conditions d'auto-curage afin de les protégés.

Les conditions sont :

- $V_{écoulement} \geq 0.6$ m/s pour $Q_a / Q_{ps} = Rq = 0.1$;
- $V_{écoulement} \geq 0.3$ m/s pour $Q_a / Q_{ps} = Rq = 0.01$;
- Le taux de remplissage en cas de débit d'apport $R_h < 0.8$.

Q_{ps} : le débit à pleine section ; **Q_a** : débit de crue ; **$V_{écoulement}$** : vitesse d'écoulement.

VII.4.3 Dimensionnement des buses

Une buse est une conduite circulaire en béton qui assurel'écoulement des fluides qui franchissent le tracé sous la plateforme.

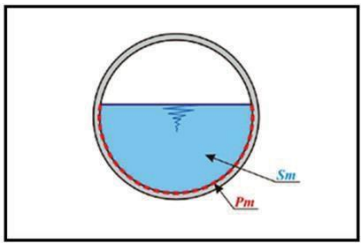


Figure VII-II Buses

Elle est caractérisée par :

- Son diamètre D ;
- Sa surface mouillée : $S_m = \pi \frac{D^2}{4}$;
- Son périmètre mouillé : $P_m = \pi$ x D.

Le dimensionnement d'une buse résulte de la comparaison entre le débit d'apport et le débit de saturation de cette buse, c'est-à-dire il faut que Q_a soit inférieur à Q_s.

On utilise la formule de **Manning–Strickler**, sachant que :

$R_h = \frac{Sm}{Pm} = \frac{D}{4}$.

Le principe consiste à chercher le diamètre de la buse qui vérifie cette condition.

$Q_a = Q_s$ => $D = \left(\frac{4^{\frac{5}{3}}.Q}{K_s .\pi .\sqrt{I}}\right)^{3/8}$

Une fois le diamètre est calculé. On adoptera un diamètre normalisé commercial tel que : Ø500.Ø800.Ø1000, Ø1200, Ø1500…etc.

VII.4.4 Dimensionnement des dalots

Les calculs hydrauliques des ouvertures rectangulaires doivent être vérifiés pour un taux de

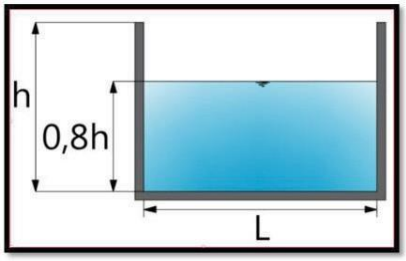


Figure VII-III Dalot

remplissage $\mathbf{H_r = 0.8H}$, on fixe la hauteur d'après la configuration du profil en long.

Les dalots sont caractérisés par :

- Leur surface mouillée : $\mathbf{S_m = B \times 0.8H}$;
- Leur périmètre mouillé : $\mathbf{P_m = B + 2 \times 0.8H}$;

On utilise la formule de **Manning –Strickler**, sachant que :

$R_h = \frac{Sm}{Pm} = \frac{L \times 0.8h}{L+2\ X\ 0.8h}$.

Le principe consiste à chercher la hauteur du dalot qui vérifie cette condition :

$Q_a = Q_s \quad => \quad H = \frac{1}{0.8\ L} \left(\frac{Qa}{Ks\ .\ I^{1/2}}\right)^{3/5} . (L + 1.6H)^{2/5}$

La résolution de cette équation se fait par la méthode itérative. On propose un dalot carré avec une seule cellule : L = H.

Pour assurer un écoulement fluvial, il faut que : $H > h_{critique}$, tel que : $h_{critique} = \sqrt[3]{\frac{Qc^2}{g\ B^2}}$

VII.4.5 APPLICATION AU PROJET

VII.4.5.1 Dimensionnement des dalots

Pour le bassin versant N°5 :

- Q_a = 15.59 m^3 ;
- Pente I = 1% ;
- K_s = 70 ;
- H_0 = 1.59.

Après le calcul itératif, les valeurs retenues pour cette section (dalot) sont :

H = 2m et B = 2m.

$Q_C = 70 \times 3.2 \times 0.62^{2/3} \times 0.1^{1/2} = 16.21\ m^3/s.$

PK	Ouvrage Prévu	H (m)	B (m)	S_m (m^2)	P_m (m)	R_h (m)	Q_a (m^3/s)	Q_c (m^3/s)	Q_{ps} (m^3/s)	V_{ps} (m^3/s)
26+403	Dalot	2	2	3.2	5.2	0.62	15.59	16.21	21.36	5.34

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

$h_{critique} = \sqrt[3]{\frac{16.21^2}{9.81 \times 2^2}}$ = 1.87m < 2m ; condition vérifiée.

- **Vérification les conditions d'auto curage :**

1ere condition

Pour $Q_a / Q_{ps} = R_q = 0.1$ il faut $V_{écoulement}$ > 0.6 m/s.

Rq = 0.1 => Rv = 0.638 = $\frac{V}{Vps}$ => V = 0.638 × 5.34 = 3.4 m/s

V > 0.6 m/s ; Condition vérifiée.

2ème condition

Pour $Q_a / Q_{ps} = R_q = 0.01$ il faut $V_{écoulement} > 0.3$ m/s

$R_q = 0.1$ => $R_v = 0.315 = \frac{V}{Vps}$ => $V = 0.315 \times 5.34 = 1.68$ m/s

V > 0.3 m/s ; Condition vérifiée.

3ème condition

Le taux de remplissage en cas de débit d'apport $R_h > 0.8$

$R_q = \frac{Qa}{Qps} = \frac{15.59}{21.36} = 0.72$ => 0.7920 < 0.8 ; Condition vérifiée.

- ✓ **Le dalot est bien dimensionné**.

  Dans le tableau suivant nous présentons les dimensions retenues des ouvrages d'assainissement traversant le projet :

Tableau VII-XI Les resultats de calcule de dimensionement des dalots

N° BV	PK	Qa (m3/s)	Nbr de section	H (m)	B (m)	Sm (m^2)	Pm (m)	Rh (m)	I (%)	Qs (m^3/s)	Dimensionnement final (H×L)
1	23+140	**Ouvrage d'art**									
2	24+650	21.36	1	2	3	4.8	6.2	0.77	1	28.33	1(2m× 3m)
3	25+198	25.90	1	2.5	3	6	7	0.86	1	37.9	(2.5m× 3m)
4	25+665	61.51	1	3	4	9.6	8.8	1.09	1	71.21	1(3m× 4m)
5	26+403	15.21	1	2	2	3.2	5.2	0.61	1	16.21	1(2m× 2m)
6	26+753	41.13	1	3	3.5	8.4	8.6	0.98	1	57.88	1(3m× 3m)
7	27+742	34.93	1	2.5	3	6	7	0.86	1	37.9	(2.5m× 3m)
8	29+400	6,48	1	1.5	1.5	1.8	3.9	0.46	1	7.5	1(1.5m×1.5m)
9	29+890	8,17	1	1.5	2	2.4	4.4	0.54	1	11.14	1(1.5m×2m)
10	31+180	27,30	1	2.5	3	6	7	0.86	1	36.19	1(2.5m×3m)
11	31+840	10,78	1	2	2	3.2	5.2	0.61	1	16.11	1(2m×2m)
12	31+910	7,20	1	1.5	2	2.4	4.4	0.54	1	11.14	1(1.5m×2m)
13	32+960	8,7	1	1.5	2	2.4	4.4	0.54	1	11.14	1(1.5m×2m)
14	33+475	46.64	1	3	3.5	8.4	8.3	1.01	1	59.19	1(3m×3.5m)
15	34+425	21.93	1	2	3	4.8	6.2	0.77	1	28.23	1(2m×3m)
16	34+825	**Ouvrage d'art**									

VII.4.6 DRAINAGE LONGITUDINAL

VII.4.6.1 Dimensionnement des fossés

Ils assurent la collecte et l'évacuation des ruissellements superficiels générés par la plateforme ferroviaire, les bermes et les talus vers les exutoires naturels ou les ouvrages d'assainissement transversaux, ceci est en fonction des pentes du fossé et de la nature des matériaux du sol support.

Pour leur dimensionnement on utilise la formule de **Manning-Strickler :**

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

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

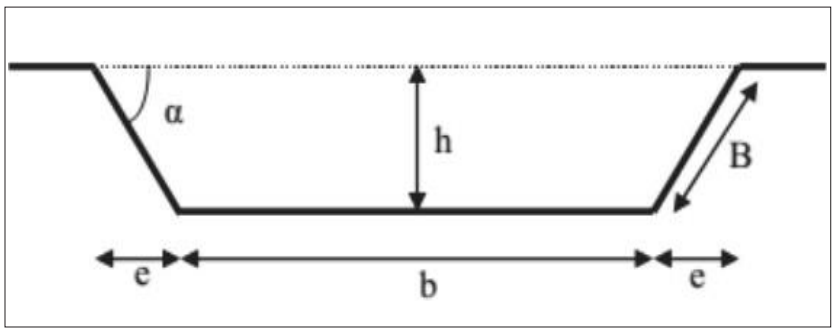


Figure VII-IV Fossé de forme trapézoidale

Avec :

- La surface mouillée : $S_m = (b+z \times h) \times h$ (avec z la pente des berges)
- Le périmètre mouillé : $P_m = b + 2h\sqrt{1+Z^2}$
- La hauteur maximale admissible de remplissage pour l'écoulement dans les fossés estla hauteur totale.
- Les dimensions du fossé sont obtenues, en écrivant l'égalité du débit d'apport et ledébit de saturation $Q_s = Q_{apport}$.

- $Q = K \times S \times R^{2/3} \times I^{1/2} = K \times ((b+z \times h) \times h) \times \left(\frac{(b+z \times h) \times h}{b + 2h\sqrt{1+Z^2}}\right)^{2/3} \times I^{1/2}$.

Pour la détermination des dimensions des fossés on va faire des itérations.

VII.4.6.2 Application au projet

Tableau VII-XII Types des fossés adoptés pour notre projet

		Cas du déblai	Cas du remblai
		Le cas le plus défavorable : - Longueur : 2200m. - Hauteur (max) :12.46m.	Le cas le plus défavorable : -Longueur : 1550m. - Hauteur (max) :8.55m.
Plateforme	C	0.9	0.9
	P (m/m)	0.04	0.04
	A(Km^2)	0.01496	0.01054
	Tc(h)	0.078	0.065
	I (mm/h)	249.16	281.53
	Q (m3/s)	0.9318	0.741
Les bermes	C	0.7	0.7
	P (m/m)	0.04	0.04
	A(Km^2)	0.00066	0.000465
	Tc(h)	0.016	0.014
	I (mm/h)	720	787.54
	Q (m3/s)	0.0924	0.0712
Les talus	C	0.7	0.7
	P (m/m)	0.67	0.67
	A(Km^2)	0.0283942	0.01476678
	Tc(h)	0.262	0.019
	I (mm/h)	511.13	641.82
	Q (m^3/s)	2.82	1.84
Q_a (m^3/s)		$Q_{pf} + Q_b + Q_t$ = 3.844 m^3/s	$Q_{pf} + Q_b + Q_t$ = 2.65 m^3/s

En conclusion, les types des fossés adoptés pour notre projet sont :

- **En remblai :** un fossé de dimensions : h=0.55m, b=0.5m.
- **En déblai :** un fossé de dimensions : h=0.55m, b=0.5m.

Donc Pour la totalité du tracé nous prenons un fossé de : h=0.55m, b=0.5m.

VII.4.7 CALCUL HYDRAULIQUE DES PONTS

Dans cette partie, on va présenter un calcul approximatif de gabarit nécessaire (section mouillé minimale à respecter) pour faire passer le débit voulu sachant que le débit de vérification est de **1.5 fois** le débit donné par l'étude hydrologique (guide SETRA 2006), finalement, on déduit la hauteur du pont par rapport au fond de l'oued toute on respectant untirant d'eau minimum de **1.5 m.**

Le calcul se fait par l'équation de Manning-Strickler :

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

VII.4.7.1 Application au projet

Tenant compte du pont qui traverse Oued Hachem au pk 23+140 :

$Q_{100} = 53.22\ m^3/s$ => $Q_{\text{vérification}} = 1.5 \times Q_{100} = 1.5 \times 53.22 = 79{,}83\ m^3/s$.

Avec :

- I = 0.0396
- $K_s = 30$
- Largueur d'oued est B = 2.8 m

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

$$Q = K_s \times (0.8H \times B) \times \left(\frac{0.8\,H.B}{B+1.6H}\right)^{2/3} \times I^{1/2}$$

$$Q = K_s \times (0.8H \times B)^{5/3} \times \frac{1}{(B+1.6H)^{2/3}} \times I^{1/2}$$

$$K_s \times (0.8H \times B)^{5/3} \times I^{1/2} = Q(B + 1.6H)^{2/3}$$

$$(0.8H \times B)^{5/3} = \frac{Q(B+1.6H)^{2/3}}{Ks \times I^{1/2}}$$

$$H = \frac{1}{0.8B}\left(\frac{Q}{Ks \times I^{1/2}}\right)^{3/5}(B + 1.6H)^{2/5} = H_0\frac{(B+1.6H)^{2/5}}{0.8B}$$

La résolution de cette équation se fait par la méthode itérative :

On trouve **H = 6.52 m**.

Donc la hauteur minimale du pont par rapport au fond de l'oued est :

H_{pont}=6.52+1.5 =**8.02m**.

Le calcul hydraulique du pont est présenté dans le tableau ci-dessous :

PK	I	K_S	Longueur du fond de l'oued (m)	Q_{100} (m^3/s)	$Q_{vérification}$ (m^3/s)	Hauteur du pont (m)
23+140	0.0396	30	2.8	53.22	79.83	8.02

VII.5 CONCLUSION

D'après l'étude hydrologique et hydraulique précédente, on déduit que le tracé étudié comporte un volet des travaux très important en termes des ouvrages de drainage longitudinal et transversal :

- ✓ Un (02) pont sur oued.
- ✓ Quinze (14) ouvrages hydrauliques (dalot).
- ✓ Un fossé de forme trapézoïdale (h=0.55m, b=0.5m). Sur linéaire de 10 km dans les deux cotés à droite et à gauche.

ETUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

CHAPITRE VIII: ETUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

VIII.1 ETUDE GÉOLOGIQUE

VIII.1.1 Introduction

Dans le cadre de l'étudier d'une nouvelle ligne ferroviaire, on doit passer par une étude géologique, cette dernière a pour objet la description des spécificités géologiques du site et d'évaluer les contraintes géologiques et géotechniques majeurs.

VIII.1.2 Encadrement géologique et géographique

VIII.1.2.1 Encadrement géographique

La zone d'étude traverse la partie occidentale de la plaine de la Mitidja, une partie de la plaine d'Oued Nador (vallée d'Oued Bouklel et vallée d'Oued Beriche) et la vallée de l'Oued Hachem, qui se trouve dans le sous bassin versant du Côtiers Cherchell.

Cette zone se situe entre les piémonts de l'Atlas Mitidjien au Sud et le littoral au Nord. Administrativement, le tracé traverse le territoire de la Wilaya de Tipaza, il commence de la gare d'El Affroun jusqu'au centre de TIPAZA.

La zone d'étude est limitée :

- Au Nord, par la ride du Sahel et les Monts de Chenoua ;
- A l'Est, par la plaine de la Mitidja (sous bassin versant du Mazafran) ;
- A l'Ouest, par Djebel Chem Beida et Cap blanc ;
- Et au Sud, par les piémonts de l'Atlas Mitidjien et les collines de Menacer.

VIII.1.2.2 Encadrement géologique

La zone d'étude fait partie de l'Atlas tellien, elle se situe entre les piémonts de l'Atlas Blidéen et les massifs de Miliana au Sud et le littoral au Nord. Le tracé traverse la partie occidentale de la plaine de la Mitidja, la plaine alluviale d'Oued Nador, la ride du Sahel et la vallée de l'Oued Hachem.

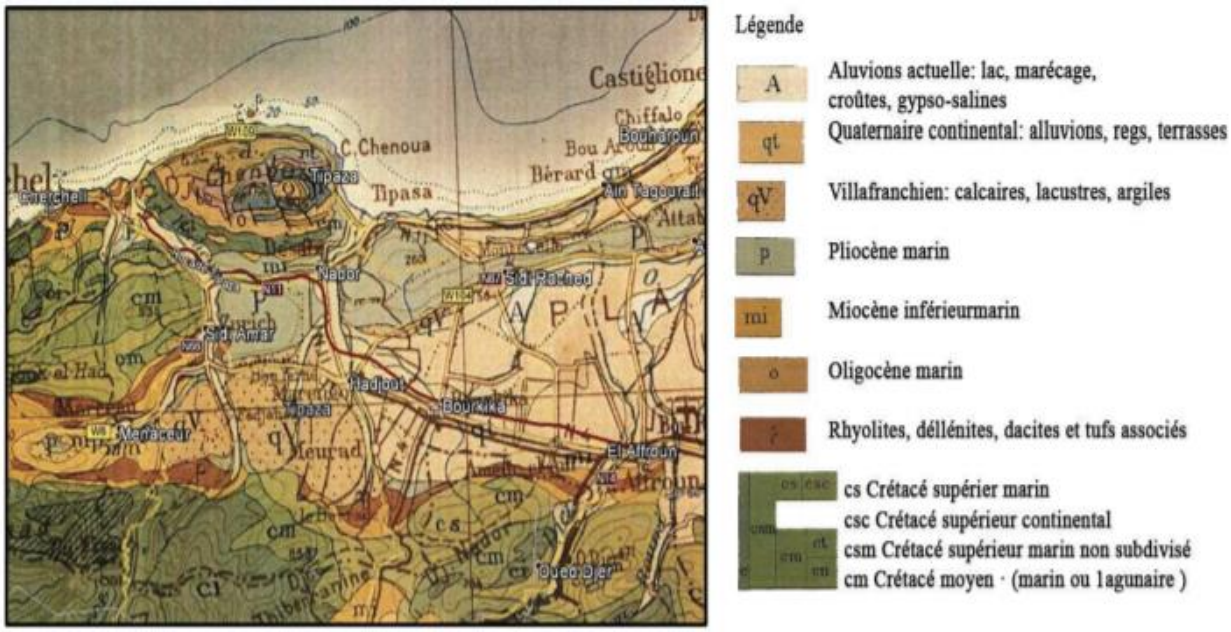


Figure VIII-ICarte géologique de la région à 1' échelle 1/500 000ème

VIII.1.3 Sismicité

Le Règlement Parasismique Algérien des Ouvrages d'Art (R.P.O.A 2008) a établi des règles qui sont en fonction de l'intensité de l'action sismique d'une région, pour tenir compte de la probabilité d'occurrence d'un séisme dans une région d'étude. Ces règles divisent le territoire algérien en cinq (05) zones sismiques :

- **Zone 0** : sismicité négligeable ;
- **Zone I** : Sismicité faible ;
- **Zone IIa** : Sismicité moyenne ;
- **Zone IIb** : Sismicité élevée ;
- **Zone III** : Sismicité très élevée.

VIII.1.3.1 Zone sismique occupée par la région d'étude

Compte tenu des critères de classification, et suite à l'analyse détaillée de la carte sismique de l'Algérie en dessus, vu l'histoire géologique de la zone d'étude. Elle appartient au grand système actif de failles délimitant les plaques africaine et eurasiatique. Le risque sismique est permanent, il exerce un impact direct sur les constructions et voiries et induit des dégâts

matériels et sociaux immédiats d'où la classification de la zone d'étude, selon les règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art (RPOA, 2008), en « Zone III » caractérisée par une sismicité très élevée, ce qui implique une grande vulnérabilité face à cette aléa.

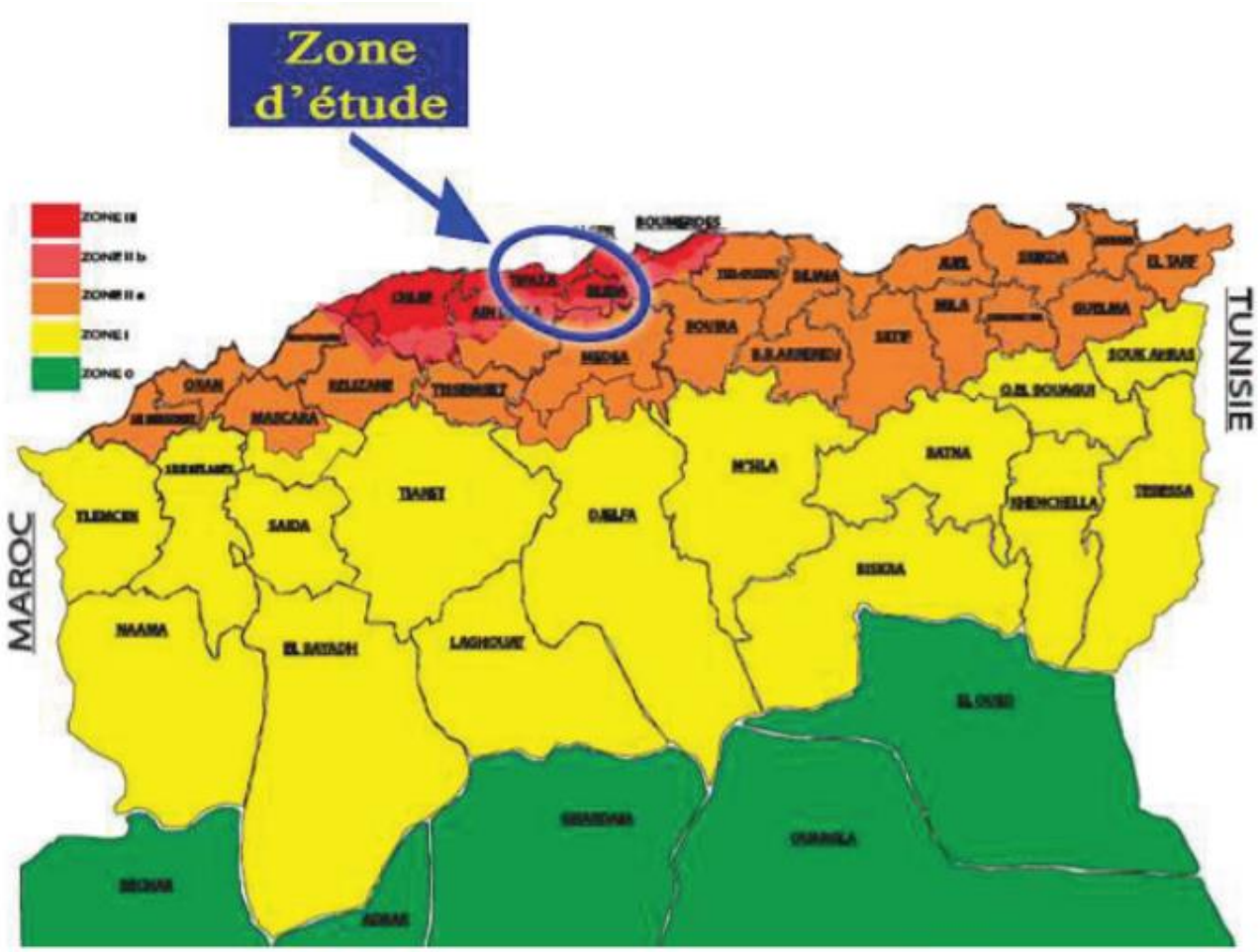


Figure VIII-II Zones de sismicité (cercle bleu : zone d'étude)

VIII.1.4 Contexte géologique

Le projet de la nouvelle ligne ferroviaire devant relier Tipaza et El Afroun s'inscrit Presque entièrement dans la plaine de Mitidja.

Les unités géologiques qui constituent la région d'étude sont :

- **Le socle cristallin** :

Il se manifeste très intensivement par les plissements métamorphiques à plusieurs reprises le soulèvement de la montagne s'est déroulé au cours du Miocène.

- **La dorsale d'âge jurassique** :

Les chaînons de la région de Tipaza d'ossature calcaire d'âge liasique, considérés comme la continuité orientale des unités de la dorsale Kabyle. Elle est marquée par une tectonique récente induisant des soulèvements le long de la côte ainsi que par la sismicité enregistrée dans cette zone.

- **Série de flysch d'âge Crétacé et Eocène** :

Se présente comme une unité charriée en nappes de recouvrement et reposant en partie sur le cristallin et en partie sur les unités telliennes qui sont développées en profondeur. Au-dessous des flysch. Cette unité et les unités telliennes sous-jacentes sont bien plissées.

- **Oglio-miocène** :

Matériaux flysch appartenant à la nappe numidienne. Cette nappe est caractérisée ; par la superposition de deux sous unités :

- Unité sous-numidienne renferme des argiles versicolores de teintes vertes ou rouge violacé.
- -Unité numidienne renferme des grès quartziques avec ciment siliceux sous forme de bancs métriques de grains hétérogènes. Ces grès sont en alternance d'argiles verdâtres et rougeâtres.
- **Mio-Pliocène** :

I1 débute par un niveau à glauconie séparant l'Asti en et le Plais ancien, surmonté par une épaisse série de calcaires à Lithothamniées et de calcaire gréseux, des marnes grises ou bleues, parfois jaunes du Plais ancien, est une séquence épaisse et uniforme sur laquelle repose la majeure partie de la plaine.

- **Pliocène-Quaternaire Supérieur** :

Dépôts continentaux de conglomérats détritiques grossiers ferrugineux, parfois calcaires pélitomorphiques et tufs calcaires. La puissance ne dépasse pas 20 mètres.

- **Quaternaire** :

Au quaternaire récent le fossé d'effondrement va connaître un remplissage par les marnes. Puis par des matériaux détritiques au Paléo-Quaternaire il est représenté par des' alluvions, sables et conglomérats visibles surtout le long des oueds. La puissance est de 10 mètres.

VIII.2 ETUDE GÉOTECHNIQUE :

Cette étude permet de réaliser une reconnaissance géotechnique détaillée du sol, à l'emplacement de la structure prévu à construire. Afin de prévoir le comportement géotechnique des différentes formations que va traverser le projet ferroviaire. Pour cela, la campagne d'investigation géotechnique au niveau du tronçon étudie allant du PK 22+275 au PK 34+850 consiste à la réalisation des travaux de reconnaissances géotechniques suivant :

-Essais in-situ ;

-Essais au laboratoire

VIII.2.1 Essais in-situ :

La campagne de reconnaissance géotechnique in-situ a consisté en la réalisation de sondages carottés, d'essais au pénétromètre dynamique lourd poussés jusqu'au refus et des puits de reconnaissance.

Tableau VIII-I Objectifs de campagne de reconnaissance géotechnique in-situ

N°	Désignation	Norme	Objectifs
1	Sondages Carottés	XP P 94-202	• Identification du sol • Distinction des types de formation • Prélèvement des échantillons.
2	Essais pressiométriques	NF P94-110-1	• Détermination des pressions limites et de fluage.
3	Essais au pénétromètre dynamique lourd	NF P94-114	• Détermination de la succession des différentes couches de sol • Détermination de la capacité portante

			du sol.
4	Puits de reconnaissance		• Evaluer l'épaisseur des sols de mauvaise qualité à décaper ;

VIII.2.1.1 Sondages carottés :

Cet essai permet d'observer la succession des couches de sol et les éventuelles venues d'eau. A la différence d'un sondage destructif ou à la tarière, le sondage carotté permet de conserver une « image » de la succession des couches, de déterminer la nature des formations en place et de récupérer des échantillons intacts qui ont été transmis au laboratoire pour subir les différents essais physiques et mécaniques.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VIII-II Implantation et description des sondages carottés.

sondage	PK	Profondeur(m)	Description lithologique
SC09-AT	22+275	0.0 – 3	Terre végétale
		3– 6	Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre.
		6 – 9.5	Passage de sable limoneuse
		9.5 – 12.7	Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre.
		12.7 – 20.0	Sable fin
SC11.1-AT	23+050	0.00 – 0.50	Terre végétale
		50 – 20.00	Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre
SC12-AT	26+000	0.00 – 0.50	Terre végétale
		0.50 – 5.50	Argile noire.
		5.50 – 8.00	Argile sableuse
		8.00 – 15.00	Grès dure a fragmenté avec des sables
SC13-AT	27+625	0.00 – 1.00	Terre végétale.

		1.00 – 8.50	Argile sableuse
		8.50 – 9.50	Passage des grès.
		9.50 – 15.00	Argile sableuse grès
SC14-AT	28+525	0.00 – 0.50	Terre végétale.
		0.50 – 2.00	Argile noire
		2.00 – 9.50	Grès dure.
		9.50 – 15.00	Passage gréseux avec sables.
SC15-AT	29+255	00.00 - 00.50	Terre végétale
		0.50 – 05.00	Argile sableuse
		05.00 – 08.00	Argile graveleuse sableuse
		08.00 - 10.50	Passage sable et grès
		10.50 – 15.00	Argile graveleuse sableuse
SC17-AT	32+525	0.00 – 02.00	Terre végétale
		02.00 – 03.00	Argile limoneuse
		03.00 – 04.00	Passage graveleux limoneux
		4.00 - 08.75	Argile limoneuse
		8.75 – 09.00	Passage graveleux sableux
		9.00 - 10.75	Argile limoneuse
		10.75 - 11.75	Passage grès et sable
		11.75 – 20.00	Argile sableuse
SC18-AT	33+875	0.00 – 02.00	Terre végétale
		2.00 – 11.50	Argile limoneuse jaunâtre a rougeâtre
		11.50 – 12.50	Argile sableuse jaunâtre

		12.50 – 13.50	Argile sableuse graveleuse
		13.50 – 20.00	Argile limoneuse jaunâtre

VIII.2.1.2 Essai préssiometrique Menard

Cet essai consiste à dilater radialement une cellule cylindrique placée dans un forage préalable, c'est la réalisation dans un forage préalable qui différencie essentiellement cet essai des autres essais préssiométriques réalisés par auto forage ou par fonçage direct de la sonde par battage ou vérinage. Les résultats expérimentaux relevés par l'opérateur ou enregistrés sont interprétés par ordinateur, le programme calcule la courbe corrigée qu'il présente puis les caractéristiques préssiométriques EM et Pl. Les valeurs de EM et Pl déterminées sur un forage sont ensuite présentées sur un profil en fonction de la profondeur, ce profil est appelé profil préssiométrique.

Tableau VIII-III Implantation et description des sondages préssiométrique

sondage	PK	Profondeur(m)	Description lithologique
SP-10	22+275	0.00 – 3.00	Terre végétale
		3.00– 6.00	Argile limoneuse
		6.00–20.00	Grés tendre
SP-11	22+900	0.00 – 1.00	Terre végétale
		1.00 – 20.00	Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre
SP-12	23+100	0.00 – 1.50	Terre végétale
		1.50 – 20.00	Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre
SP-13	26+000	0.00 – 1.00	Terre végétale.
		1.00 – 5.50	argile noire
		5.50 – 8.00	argile sableuse
		8.00 – 20.00	Grés dure a fragmente avec des sables

SP-14	28+525	0.00 – 1.00	Terre végétale.
		1.00 – 2.00	Argile noire
		2.00 – 9.50	Grès dure.
		9.50 – 12.00	Passage gréseux avec sables.
		12.00 – 20.00	argile marneuse compacte
SP-15	29+255	00.00 - 00.50	Terre végétale
		0.50 – 05.00	Argile sableuse
		05.00 – 08.00	Argile graveleuse sableuse
		08.00 - 10.50	Passage sable et grès
		10.50 – 15.00	Argile graveleuse sableuse
SP-16	32+525	0.00 – 02.00	Terre végétale
		02.00 – 03.00	Argile limoneuse
		03.00 – 08.00	Passage graveleux limoneux
		8.00 - 8.50	Argile limoneuse
		8.00 – 8.50	Passage graveleux sableux
		8.50 - 10.50	Argile limoneuse
		10.50 – 11.50	Passage grès et sable
		11.50 – 20.00	Argile sableuse
SP-17	33+875	0.00 – 02.00	Terre végétale
		2.00 – 11.50	Argile limoneuse jaunâtre a rougeâtre
		11.50 – 12.50	Argile sableuse jaunâtre
		12.50 – 13.50	Argile sableuse graveleuse
		13.50 – 20.00	Argile limoneuse jaunâtre

VIII.2.1.3 Les puits de reconnaissance :

Les puits de reconnaissance ont été réalisés à l'aide d'un retro-chargeur. Les photographies ci-dessous donnent un aperçu de cet engin. Des échantillons de sol remaniés ont été prélevés systématiquement pour les besoins des essais de laboratoire.

Les puits de reconnaissance effectués dans le tronçon étudié sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau VIII-IV Description des puits de reconnaissance

Essai in-situ	PK	Profondeur (m)	La lithologie
PU17-AT	22+800	3.5	Argile de couleur brune.
PU18-AT	24+624	3.5	Limon argileux.
PU19-AT	27+125	3.5	Argile limoneuse graveleuse.
PU20-AT	28+150	3.5	Limon argileux.
PU21-AT	29+750	3.5	Limon argileux
PU22-AT	31+750	3.5	Limon tufacée
PU23-AT	34+025	3.5	Limon argileux
PU24-AT	34+925	3.5	Limon argileux

VIII.2.1.4 Essais au pénétromètre dynamique lourd :

Pour le tronçon en étude, cinq (06) essais au pénétromètre dynamique lourd type (B), ont été réalisés au cours de cette campagne de reconnaissances géotechniques. Les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-après.

Tableau VIII-V Récapitulatif des essais au pénétromètre dynamique lourd.

Essai in-situ	PK	Profondeur ou refus (m)	La résistance de pointe RP (bar)	
			RP Min	RP Max
PDL-10-AT	22+750	14.50	8	200
PDL-11-AT	24+625	8.00	8	88
			92	186
PDL-12-AT	27+125	8.40	12	152
PDL-13-AT	31+750	4.60	24	96
			100	162
PDL-14-AT	34+025	5.80	6	44
			56	140

VIII.2.2 Essais au laboratoire :

Les sondages carottés réalisés nous ont permis de récupérer des échantillons intacts, paraffinées qui ont été acheminés au laboratoire ou ont été réalisés les différents essais physiques et mécaniques.

VIII.2.2.1 Essais d'indentification :

- **Analyse granulométrique (NF P94-056) / (NF P94-057):**

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer les proportions des grains de taille différente dans le sol. Elle s'effectue au laboratoire par :

- Le tamisage : pour les particules à dimension supérieure à 80 **µm**
- Analyse sédiment métrique: pour les particules à dimension inférieure 80 **µm**

- **Essai Proctor modifié (NF P94-093) :**

L'essai Proctor est un essai qui permet de déterminer la teneur en eau à laquelle doit être compacté un sol pour obtenir la densité sèche maximale, On appelle optimum Proctor, la teneur en eau (Ȧ) pour laquelle le sol atteint, pour une énergie de compactage donné, un poids volumique maximal.

VIII.2.2.2 Essais physiques :

Détermination de la teneur en eau (NF P94-050) :

L'essai de teneur en eau permet de déterminer quel est le pourcentage massique d'eau dans le sol étudié, c'est-à-dire quelle est la masse d'eau présente par rapport à 100 grammes de sol sec. Cette information importante permettra de décider du traitement ou de compactage à apporter au sol.

VIII.2.2.3 Analyse chimique :

- **Valeur au bleu de méthylène (NF P94-068) :**

Cet essai permet de mesurer la capacité des éléments fins à absorber du bleu de méthylène. Cette capacité rend compte globalement de l'activité de surface de ces éléments. (Le bleu de méthylène étant absorbé préférentiellement par les argiles, les matière organiques et hydroxydes de fer).

VIII.2.2.4 Essais mécaniques :

- **Essai de compressibilité à l'odomètre (XP P94-090-1) :**

L'essai œdométrique permet d'évaluer l'amplitude de tassement des ouvrages ainsi que son évolution dans le temps. Il consiste à :

- Placé le sol dans une enveloppe rigide.
- Exerce une pression variable à l'aide d'un piston.
- Mesure les affaissements observés. C'est la relation $\sigma=f(\varepsilon)$.

Tableau VIII-VIClassification du sol en fonction de la compressibilité (XP P 94-090-1)

Cc	Compressibilité
<0.02	Incompressible
0.02 à 0.05	Très peu compressible
0.05 à 0.10	Très peu compressible
0.10à 0.20	Moyenne compressible
0.20 à 0.30	Assez fort compressible
0.30 à 0.40	Très compressible
> 0.40	Extrêmement compressible

- **Essai de cisaillement rectiligne à la boite (NF P 94-071-1) :**

L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans une boite de cisaillement constituée de deux demi-boites indépendantes. Le plan de séparation des demi-boites constitue un plan de glissement correspondant au plan de cisaillement de l'éprouvette. Il consiste à :

- Appliquer sur la face supérieure de l'éprouvette sous l'effort (N) maintenu constant pendant toute la durée de l'essai
- Produire après consolidation de l'éprouvette sous l'effort (N) un cisaillement dans l'éprouvette selon le plan horizontal de glissement des deux demi-boites l'une par rapport à l'autre en leur imposant un déplacement relatif δ_l à vitesse constante,
- Mesurer l'effort horizontal de cisaillement (T) correspondant.

Le but de l'essai est d'obtenir les paramètres (C ; φ) pour traiter les problèmes d'instabilités (rupture et glissement) due à la réalisation des remblais sur sols compressible

Tableau VIII-VII Résultats des essais au laboratoire

Puits de reconnaissance	PK	Teneur en eau (%)	Essai Proctor		VBS	Analyse Granulométrique.		
			σ_d (t/m3)	W_{OPT} (%)		D_{max} (mm)	< 2 mm (%)	< 80 µm (%)
PU17-AT	22+800	26.3	1.67	19.7	1.67	6.3	99.84	99.26
PU18-AT	24+624	17.68	1.61	15.2	1.61	5	99.87	97.14
PU19-AT	27+125	14.48	1.81	14.7	1.81	6.3	99.87	17.49
PU20-AT	28+150	15.56	1.77	15.2	1.77	6.3	92.24	48.06
PU21-AT	29+750	16.67	1.74	17.5	4.64	6.3	89.38	62.62
PU22-AT	31+750	19.3	1.65	19.9	1.09	6.3	83.45	54.87
PU23-AT	34+025	22.92	1.63	17.8	1.12	6.3	89.8	69.47

VIII.2.2.5 Classification de sol (selon les fiches UIC, GTR et la norme NF P11-300) :

La classification élaborée par l'UIC a été adoptée pour la classification du sol support le long de tracé. Cette classification se base sur les caractéristiques géotechniques ainsi sur les conditions hydrauliques et hydrogéologiques. Pour arriver à cette classification il faut passer en premier par une classification des sols selon la norme NF P11-300.

- **Application au projet de la classification de sol :**

Puits de reconnaissance	PK	Teneur en eau (%)	Essai Proctor		VBS	Analyse Granulométrique.		
			σ_d (t/m3)	W_{OPT}(%)		D_{max} (mm)	< 2 mm (%)	< 80 µm (%)
PU23-AT	34+025	22.92	1.63	17.8	1.12	6.3	89.8	69.47

Classification GTR :

- D_{max} = 6.3 mm < 50 mm ;
- Passant à 80µm = 69.47% ➡ A1, A2, A3, A4 ;
- VBS = 1.12 ➡ A1 ;
- 1.25 W_{OPT} =22.25 < W_n =22.92 < 1.1 W_{OPT} = 17.8 ➡ A1th

Classification selon la fiche UIC 719R : Les quatre classes de qualité QSi de sols sont : ·

QS0 : Sols "impropres" à la réalisation d'une plateforme correcte et à la suite nécessitent certaines mesures correctrices (substitution du matériau sur une certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation de géotextiles, renforcement par pieux, etc.) ;

QS1 : Sols médiocres acceptables utilisés en conditions hydrogéologiques favorables. Ces sols peuvent, éventuellement, être transformés en sols de meilleure qualité par un traitement approprié, (traitement aux liants) ; ·

QS2 : Sols moyens ; ·

QS3 : Bons sols.

Les résultats de la classification du sol étudié sont récapitulés dans le tableau ci-après :

Tableau VIII-VIII Les résultats de la classification du sol étudié

PK	La lithologie	Classification GTR	classification UIC
22+800	limon argilo sableux	A1th	QS0
24+624	limon argileux	A1h	QS0
27+125	argile limoneuse graveleuse	C1B6m	QS1
28+150	limon argileux	A1m	QS1
29+750	Limon argileux	A2m	QS1
31+750	Limon tufacée	A1m	QS1
34+025	Limon argileux	A1th	QS0

VIII.2.2.6 ONCLUSION :

La réalisation des essais d'identifications et les essais mécaniques aux laboratoires sur plusieurs échantillons du sol prélevés de nombreuse profondeurs (jusqu'à 20m), nous ont permis de faire deux classifications du sol :

Selon la classification GTR : En général le sol est argileux (limon argileux, limon argilo sableux, argile limoneuse graveleuse)

Selon la classification UIC719R : La classe de qualité du sol support le plus souvent rencontré le long du tracé est en majorité QS1 (Sols médiocres).

TERRASSEMENT ET OUVRAGES d'ART

CHAPITRE IX: TERRASSEMENT ET OUVRAGES D'ART

IX.1 TERRASSEMENT :

IX.1.1 INTRODUCTION :

Les terrassements correspondent à la première phase des travaux en vue de l'édification d'un ouvrage. Ils regroupent tous les ouvrages et travaux destinés à modifier provisoirement ou définitivement les formes d'un terrain.

Le calage du profil en long est essentiellement lié à l'optimisation du mouvement de terres, compte tenu des diverses contraintes imposées ; c'est à partir des éléments apportés par la géologie et la géotechnique qu'il faut déterminer un profil projet tel que le coût global des terrassements soit minimal.

La succession des déblais et des remblais est caractérisée par des hauteurs pouvant être importantes (supérieure à 8m pour remblais ,12 m pour déblais).

Le tracé traverse principalement des terrains ou la topographie du site est vallonnée

IX.1.2 DEBLAIS :

Les principales zones de déblais le long du tracé ont fait l'objet d'un programme de reconnaissance géotechnique établi sur la base du profil longitudinal. Le tableau montre pour chaque zone de déblai :

Tableau IX-ILes principales zones de déblais entre PK22+000 et PK 29+000

PK Début	PK Fin	PK (H_{max})	H_{max} (m)	Nature terrain de surface	Classe GTR	Classe UIC
22+285	23+550	23+225	62.59	Limon argileux sableux	A1th	QS0
24+700	25+105	23+387	16.50	Limon argileux	A1h	QS0
25+275	32+850	30+700	46.65	Argile limoneuse graveleuse	C1B6m	QS1
				Limon argileux	A1m	
				Limon argileux	A2m	
				Limon tufacé	A1m	
33+350	34+050	33+500	11.38	Limon argileux	A1th	QS0

IX.1.2.1 La Sécurité dans les zones de déblais :

La prévention des instabilités locales, qui est détectée pendant l'excavation des déblais, il convient de prévoir des mesures de stabilisation et de soutènement des talus, tels que le traitement avec des boulons d'ancrage, des grilles à mailles hexagonales, le gunitage…etc.

IX.1.2.2 Critère général dans les déblais :

- Lorsque les déblais sont effectués dans des terrains rocheux, il peut être possible de disposer au pied des talus pour récupérer les possibles blocs qui pourraient se détacher.

- Pour la stabilisation des talus, il faudra disposer des fossés de crête de talus, ainsi que des tuyaux en descente en béton. De la même façon, la surface des talus sera traitée avec des plantations.
- Dans le cas où peuvent apparaitre des instabilités locales avec détachement des blocs, il est à envisager le rabotage localisé de blocs, la projection de béton, le boulonnage local, la disposition de grillage antichute...
- Il est recommandé de disposer des fossés revêtus dans les bermes pour contrôler l'eau d'écoulement et éviter son infiltration dans les déblais.

IX.1.2.3 Géométrie des talus en déblai:

Les pentes des talus principalement utilisées et exprimées en fraction base sur hauteur, généralement :**1/2, 2/3, 1/1, 3/2, 2/1, 2.5/1, 3/1**.

Elles sont conçues de façon à assurer la stabilité de l'ouvrage. Les talus peuvent être réalisés par palier, en étant interrompus par des banquettes d'au moins 1m de large (risberme), pour briser le ruissellement de l'eau et permettre la circulation à des étages intermédiaires. La géométrie proposée doit être justifiée par des calculs de stabilité.

IX.1.2.4 Vérification de Stabilité des talus en déblais :

Pour la vérification de stabilité des talus en déblais on a utilisé le logiciel 'TALREN V5', et on a choisi la méthode de Bishop pour les ruptures circulaires, Pour les calculs des stabilités, les facteurs de sécurité globaux, à prendre en considération :

- **Fs≥1.5** Pour l'analyse en **conditions statiques**.
- **Fs≥1** Pour l'analyse en **conditions sismique**.

IX.1.2.5 Application au projet :

- Les actions sismiques sont appliquées en étant des forces statiques équivalentes, constantes et proportionnelles au poids propre du terrain ; ces actions sont déterminées en faisant référence aux normes parasismiques algériennes « RPOA » :
- Accélération sismique de la zone : A= 0.30g m/s2
- Coefficient sismique horizontale : kh= 0.5×A= 0.15
- Coefficient sismique verticale : kv= 0.3×kh= 0.045

❖ Les caractéristiques mécaniques des déblais.

Tableau IX-II Les caractéristiques mécaniques des déblais.

PK Début-fin	Profondeur (m)	Nature du terrain	Paramètres géotechniques		
			γ_h (KN/m^3)	C (KN/m^3)	**Φ** (degré)
22+285 à 23+550	3.00 - 62.59	Limon argileux sableux	19	20.90	19.30
24+700 à 25+105	1.00 - 16.50	Limon argileux	20.70	20.90	19.29
25+275 à 32+850	0.50 - 46.65	Argile limoneuse	21	35	26
33+350 à 34+050	2.00 - 11.38	Limon argileux	20	20.30	20

❖ Résultats de vérification de stabilité des talus en débla

Tableau IX-IIIRécapitulatif des résultats de vérification de stabilité des talus en déblais.

PK Début-fin	Géométrie des talus				Facteur sécurité		Observations
	Longueur (m)	Hauteur Max (m)	Pente proposé (m)	Berme/ Talus (m)	Condition statique	Condition sismique	
22+285 à 23+550	1290	62.59	3H/2V	2m/6m	1.69	1.03	Stable
24+700 à 25+105	405	16.50	3H/2V	2m/6m	1.60	1.02	Stable
25+275 à 32+850	7075	46.65	3H/2V	2m/6m	1.57	1.09	Stable
33+350 à 34+050	700	11.38	3H/2V	2m/6m	1.58	1.08	Stable

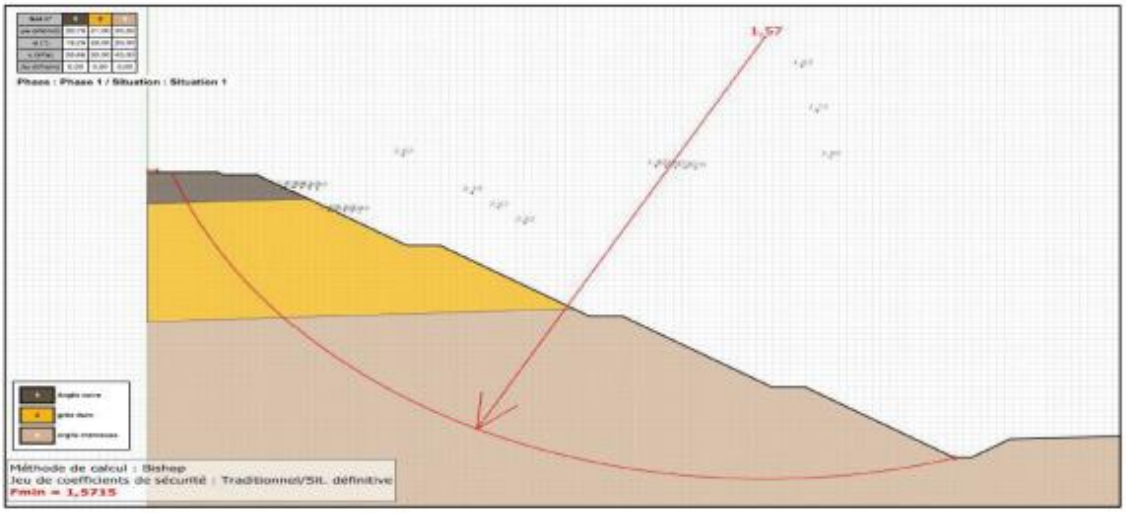


Figure IX-I Les cercles de rupture pour les déblais au PK 28+380 condition statique. (Logiciel TALREN V5)

- **Conclusion :** Pour des raisons de stabilité, mais aussi visant la création d'accès pour d'éventuels entretiens : des risbermes de 2 m de largeur ont été adoptées chaque 6m de hauteur pour les zones de déblais avec pente de 3H/2V.

IX.1.2.6 Réutilisation des matériaux de déblais (déblais mise en remblais) :

En raison des coûts énormes des travaux de terrassements, les constructeurs essaient d'utiliser le maximum des sols extraits en remblais pour réduire les coûts de transport et d'achat des matériaux conformes à l'utilisation pour remblais. Les conditions de réutilisation des matériaux sont définies par le GTR. Dans les zones déblais on a cinq (05) classes de sol classifié par GTR (A1th, A1h, A1m, A2m, C1B6m) : Tableau suivant représente les zones déblais rencontrés le long du tracé entre PK 22+275 et PK 34+850.

Figure IX-II Les zones déblais rencontrés le long du tracé

PK Début	PK Fin	Classe GTR
22+285	23+550	A1th
24+700	25+105	A1h
25+275	27+125	C1B6m
27+125	28+150	A1m
28+150	29+750	A2m
29+750	31+750	A2m
31+750	34+050	A1th

D'après le GTR, la teneur en eau de ces matériaux, va définir les conditions de réutilisations :

Tableau IX-IV Utilisation des matériaux en remblai et en couche de forme

	utilisation des matériaux	
	En remblais	En couche de forme
A1th	Sols normalement inutilisable en l'état	
A1h A1m	Procédé d'extraction en mode de compactage	Il faut procéder par un traitement des liants hydrauliques associés éventuellement à de la chaux
A2m	Ces sols posent généralement peu de problème de réutilisation en remblai sauf par pluie forte ou moyenne.	Il faut procéder par un traitement des liants hydrauliques associés éventuellement à de la chaux
C1B6m	Ces sols sont très sensibles à la situation météorologique. Le W_{OPN} considéré pour cette classe de matériaux est celle déterminée sur la fraction 0/20 mm La granularité de ces matériaux peut nécessiter un écrêtage à 80 mm	Il faut procéder par un traitement des liants hydrauliques associés éventuellement à de la chaux

Conclusion : D'après le GTR les matériaux mis en remblais A1m et A1h, et les matériaux mis en dépôt est A1th.

Réutilisation des matériaux de déblais

	Déblais mis en remblais	Déblais mis en dépôt
Volume (m^3)	35691	463836

IX.1.3 REMBLAIS :

Remblayer, consiste à mettre en place des matériaux pour rehausser ou niveler le terrain existant. Après l'analyse de profil en long du tronçon étudié, on a pu localiser les zones qui sont sujets de cette action. Le tableau ci-dessous représente les différentes zones de remblais à caractérisé par des hauteurs pouvant être importantes (supérieure à 8m) :

Tableau IX-V Les principales zones de remblais entre PK23+550, PK 25+105 et 32+850.

PK Début	PK Fin	PK (Hmax)	H max (m)	Longueur (m)	observation	Niveau piézométrique : NPHE (m/TN)
23+550	24+700	24+500	5.53	1150	/	/
25+105	25+275	25+150	1.87	170		+0.25 m/TN
32+850	33+340	33+000	1.60	490		/

IX.1.3.1 Vérification de la stabilité des talus en remblais:

Au-delà d'une certaine hauteur limite de remblai, il y'a risque de rupture, se présentant généralement sous forme de glissement de talus.

Les méthodes d'études de stabilité des pentes permettent de déterminer cette hauteur limite pour un coefficient de sécurité donné, connaissant :

- Les caractéristiques géométriques du remblai et des couches du sol de fondation.
- Les caractéristiques mécaniques du remblai et du sol de fondation.
- Le régime hydraulique (le plus souvent définition du niveau de la nappe).

Les facteurs de sécurité globaux, à prendre en considération sont les suivants :

- **Fs≥1.5** Pour l'analyse en **conditions statiques**.
- **Fs≥1** Pour l'analyse en **conditions sismique**.

IX.1.3.2 Application au projet :

- On a pris en considération l'effet d'une surcharge additionnelle de 30 kPa appliquée sur la tête du remblai, correspondant aux charges transmises au sommet de la couche de ballast par l'intermédiaire d'une traverse bi-bloc, afin de simuler le trafic sur la voie ferrée.
- Pour les calculs des facteurs de sécurité on a utilisé le logiciel 'Slide 6.0', en utilisant la méthode de Bishop simplifiée.
- Les actions sismiques sont appliquées en étant des forces statiques équivalentes, constantes et proportionnelles au poids propre du terrain ; ces actions sont déterminées en faisant référence aux normes parasismiques algériennes « RPOA » :
  - Accélération sismique de la zone : A= 0.30g m/s2
  - Coefficient sismique horizontale : kh= 0.5×A= 0.15
  - Coefficient sismique verticale : kv= 0.3×kh= 0.045

Les propriétés mécaniques des matériaux adoptés pour les calculs de chaque remblai sont comme suite :

Tableau IX-VI Les caractéristiques mécaniques des remblais.

PK Début-fin	Profondeur (m)	Nature du terrain	Paramètres géotechniques		
			γ_h (KN/m^3)	C (KN/m^3)	**Φ** (degré)
23+550 à 24+700	0.00 - 20	Argile limoneuse	20.90	37	9
25+105 à 25+275	0.50 – 5.50	Argile noire	19	30	10
	5.50 - 8	Argile sableuse	20.9	37	9
	8 - 15	Grès dure	20	35	40
32+850 à 33+340	0.00 – 10.50	Argile limoneuse	20.90	37	10
	10.5 – 11.50	Grès dure	20	35	40
	11.50 - 20	Argile sableuse	20.9	38	9

Résultats : Le tableau suivant montre une synthèse des calculs de stabilité des remblais :

Tableau IX-VII Récapitulatif des résultats de vérification de stabilité des talus en remblais.

PK Début-fin	Géométrie des talus				Facteur sécurité		Observations
	Longueur (m)	Hauteur Max (m)	Pente proposé (m)	Berme/ Talus (m)	Condition statique	Condition sismique	
23+550 à 24+700	1150	5.53	3H/2V	2m/6m	1.59	1.55	Stable
25+105 à 25+275	170	1.87	3H/2V	2m/6m	1.62	1.57	Stable
32+850 à 33+340	490	1.60	3H/2V	2m/6m	1.61	1.56	Stable

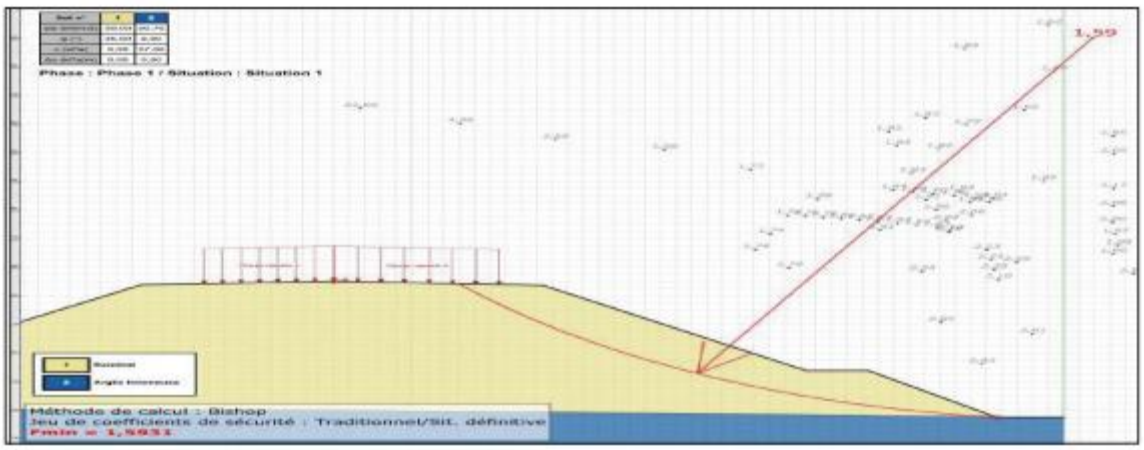


Figure IX-III Les cercles de rupture pour les remblais au PK 25+105 conditions sismiques. (Logiciel TALREN-V5)

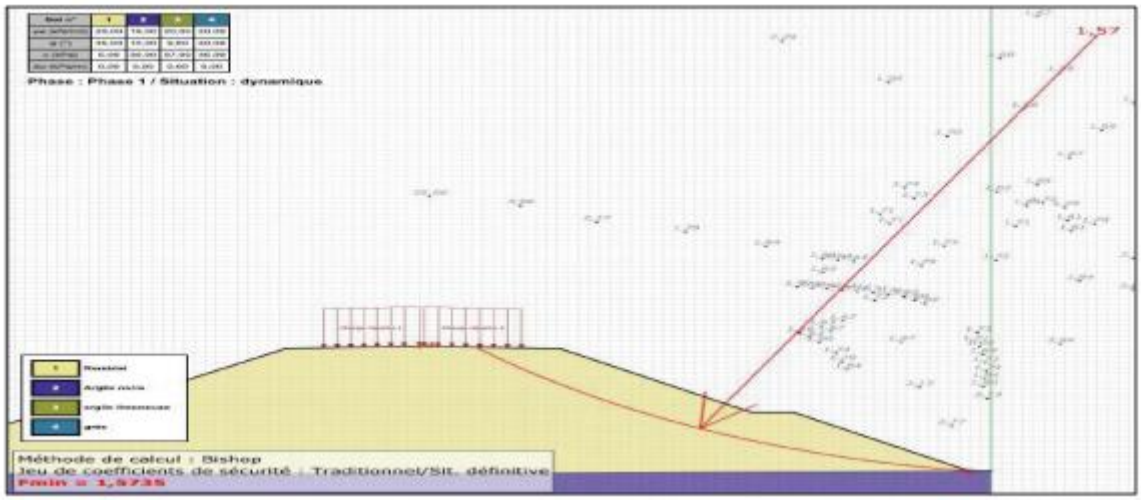


Figure IX-IV Les cercles de rupture pour les remblais au PK 32+850 conditions sismiques. (Logiciel TALREN-V5)

En comparant les résultats obtenus des facteurs de sécurités globaux par le logiciel 'TALREN V 5'avec les facteurs de sécurités exigés, on conclut que le talus est stable, que ce soit en condition statique ou en condition sismique. Après la vérification de la stabilité du remblai dans la zone inondable, on a conclu qu'on n'a pas un risque de glissement du massif global dans les conditions statiques, ainsi que dans les conditions sismiques.

NB : les autres figures de la vérification de stabilité (cercles de rupture) sans représenter dans annexe 3

IX.1.3.3 Structure des remblais :

La structure des remblais peut être composite (remblai avec noyau et enveloppe, remblai avec matériaux de zone inondable) :

- **Remblai en zone courante (non inondable) :**
  Dans la figure suivant se présente la structure de remblai en zone courante (non Inondable), elle est constituée par un noyau et une enveloppe :

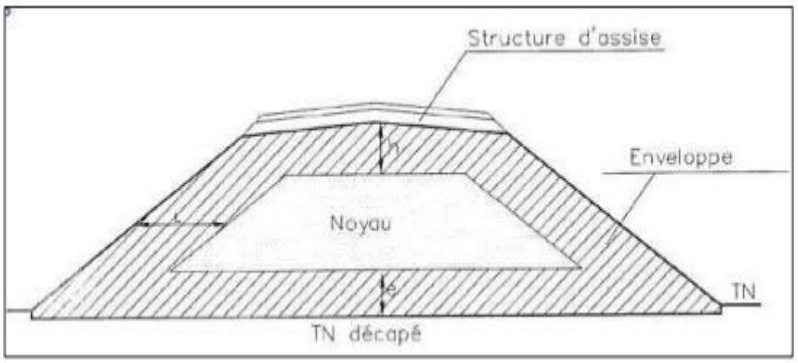


Figure IX-V Structure d'un remblai courant.

- **Remblais en zone inondable :**

Une partie du tracé est en risque d'inondations et de stagnation d'eau. L'observation sur terrain et l'analyse de la cartographie a permis la localisation d'une zone à risque d'inondation entre PK 25+100 et PK 26+670. Les remblais en zones inondables doivent être dimensionnés selon la conception donnée dans le référentiel technique (voir Figure N° X.5) de manière à assurer leur stabilité et leur durabilité.

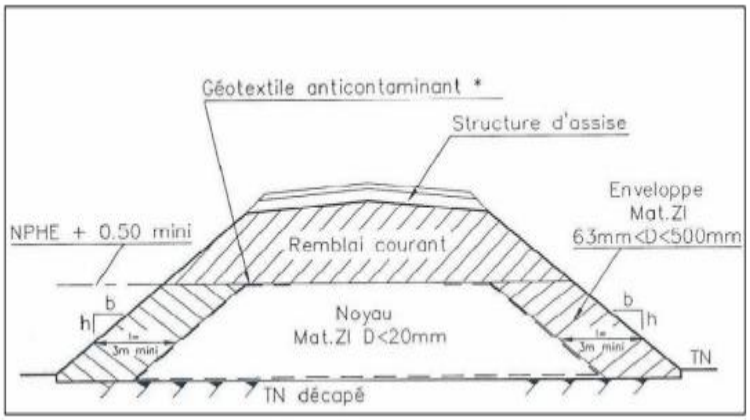


Figure IX-VI Structure d'un remblai en zone inondable.

IX.1.4 EPAISSEURS DE LA TERRE VEGETALE :

Pour le tronçon étudié les épaisseurs de terre végétale seront les suivantes :

Tableau IX-VIII Les épaisseurs et volume de la terre végétale

PK		Epaisseur (m)	Volume de la terre végétale (m^3)
Début	Fin		
22+275	23+050	0.3	642542.52
23+050	27+625	0.5	
27+625	28+525	1.0	
28+525	32+525	0.5	
32+525	34+850	2	

IX.1.5 CALCUL DES VOLUMES DE TERRASSEMENT :

Les cubatures des terrassements sont calculées après définition du terrain naturel, et du projet par : le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers. Le calcul des cubatures de terrassement a été fait à l'aide du logiciel « CIVIL 3D », les tableaux ci-après résument les résultats obtenus :(les résultats détaillés dans annexe…).

Tableau IX-IX Récapitulatif des volumes de terrassement

Terrassement	Volume (m3)
Remblais	499527
Déblais	35691

Tableau IX-X Récapitulatif des volumes de terrassement

Terrassement	Volume (m3)
Ballast	43803
Sous-ballast	43750
Couche de fondation	27864
Couche de forme (matériaux QS3)	101623

IX.2 OUVRAGES D'ART :

IX.2.1 INTRODUCTION :

La conception d'un bon tracé ferroviaire qui assure la perméabilité transversale de la ligne ferroviaire et le franchissement des différents obstacles et infrastructures déjà existantes en répondant aux exigences techniques et économiques, donc notre nouvelle ligne est besoin des ouvrages d'arts suivants :

- Ponts rail (ouvrages ferroviaires) :
  - Pont sur oued.
  - Passage inférieur.
- Ponts routiers :
  - Passage Supérieur.
- Les ouvrages hydrauliques :
  - Dalot (détaillé dans le chapitre de l'assainissement et hydrologie).

IX.2.2 LES OUVRAGES D'ART DU PROJET :

Nous avons projeté les ouvrages suivants :

Tableau IX-XI Les ouvrages d'arts projetés du projet.

Obstacle à franchir	PK de l'ouvrage	Ouvrage projeté
Un Oued	22+265	Ouvrage ferroviaire
la route nationale N° 42 « RN 42 »	22+860	Passage Supérieur
Un Oued	23+103	Ouvrage ferroviaire
la route nationale N° 42 « RN 42 »	29+255	Passage Supérieur
la route nationale N° 42 « RN 42 »	33+875	Ouvrage ferroviaire

IX.3 CONCLUSION :

L'étude de la nouvelle ligne ferroviaire concernant notre tronçon Comprend vingt (20) obstacles à franchir qui nécessite une implantation des ouvrages d'art, dont deux(02) passages supérieurs (PS), un (01) ponts sur oued, deux (02) viaducs et quainze (15) ouvrages hydrauliques (dalot).

DIMENSIONNEMENT D'ASSISE FERROVIAIRE

CHAPITRE X: DIMENSIONNEMENT D'ASSISE FERROVIAIRE

X.1 INTRODUCTION

L'infrastructure de la voie ferrée ou la structure d'assise est la partie inférieure sur laquelle la voie repose.

La structure d'assise permet d'assurer le bon comportement de la voie ferré du point de vue rigidité, tenue et drainage, on assurant les fonctions suivantes :

- Répartir sur la plate-forme les charges exercées par les traverses (charges reçu).
- Amortir les vibrations de la superstructure.
- Détournement des eaux de pluies.
- Protection contre la contamination du ballast.
- Stabilité longitudinale et transversale.

X.2 LA COUCHE D'ASSISE

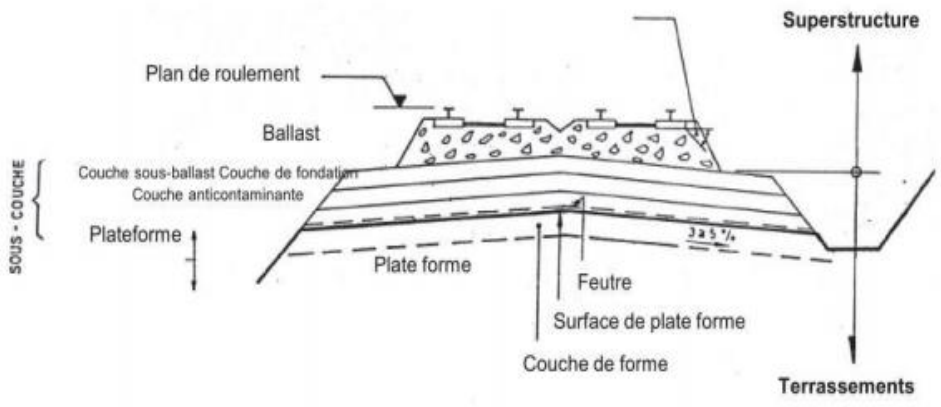


Figure X-I Couche d'assise

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 plate-forme qui dépendent non seulement des caractéristiques des sols, mais aussi des conditions hydrogéologiques du site ;
- des conditions climatiques du site ;
- du trafic (tonnages, charges, vitesses) ;
- de l'armement (profil des rails, nature et espacement des traverses,...).

- L'épaisseur de la couche de ballast doit être prise en compte lorsque l'on dimensionne la sous-couche.

  Pour le bute de :
- L'amortissement des vibrations importantes provenant de contacte Rails – Roue ;
- La répartition des charges provenant des traverses, d'une manière presque uniforme sur la plateforme ;
- La contribution à la stabilité longitudinale et transversale de la voie ferrée ;
- L'évacuation des eaux de ruissellement par le drainage.

X.2.1 Les différentes couches d'assise

X.2.1.1Ballast :

Le ballast c'est un lit de pierre ou de gravier sur lequel repose une voie de chemin de fer. La couche de ballaste est composé de pierres de granulométrie 25/50, de type plutonique (granit, diorite, rhyolite, quartzite, grès). Pour le nivellement on utilise du gravillon fin de 10 mm à 35 mm extrait des carrières appelées ballastières. Il constitue un élément support de la voie et fait partie de la superstructure. Les exigences suivantes devront être satisfaites (selon le référentiel technique SNTF et la norme NF P53-695) :

- Résistance à la fragmentation Los-Angeles : ≤ 19 % ;
- Résistance à l'usure Micro Deval : ≤ 6 % ;
- La granulométrie doit être comprise dans le fuseau suivant (25/50mm) et devra respecter les limites mentionnées dans la catégorie" A de la Norme Européenne CEN/TC/154 AD HOC Group Aggregates for Railway ballast ;
- Les éléments doivent avoir une forme polyédrique et à arêtes vives ;
- Propreté : les matériaux doivent être expurgés de toute matière impropre. La masse relative des éléments passant au tamis à maille carrées de 1.6mm ne doit pas excéder 0.5%
- Résistance à la compression : RC ≥ 1200 kg/cm² ;

Son choix est conditionné par :

- Les ressources locales.
- Le prix qu'il faut payer pour un bon ballast.

X.2.1.2La sous couche

La couche de ballast repose sur la sous-couche qu'est interposée entre la couche de ballast et la plateforme, la sous-couche peut être mono ou multicouche.

- **Constitution de la sous-couche :**

La couche sous-ballast : elle est en grave propre bien graduée (0/31.5mm) comportant au moins 30 % de grave concassé, compacté à 100 % OPN et ayant une DRG ≥ 12.

La couche de fondation : elle est en grave propre bien graduée d'une épaisseur d'au moins de 15 cm, compacté à 100% OPN et ayant une DRG ≥ 10

La couche anti-contaminants : elle est en sable propre d'une épaisseur minimal de 15 cmLe **géotextile :** il est de géo-synthétique perméable à l'eau et à l'air peut être utilisé comme séparateur et anti contaminant, filtre drainage et armature.

Rôle de sous-couche

- Protection de la plateforme contre l'érosion et le gel.
- L'amélioration de la portance et meilleure répartition des charges transmises.
- L'anticontamination entre la plateforme et la couche de ballast.
- La contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires.
- L'évacuation des eaux de pluies.

Remarque :

Le sous-ballast, la couche de fondation et la couche anti-contaminant doivent être posés en pente transversale afin de mener l'eau de pluie vers l'assainissement.

- 4% pente normale ;
- 3% pente posée dans les zones de désert ;
- 5% pente posée dans les zones littorales.

Profil de la sous-couche :

- La sous-couche a une pente transversale (en toit ou en pente unique) vers des dispositifs longitudinaux d'assainissement (déblais) ou vers l'extérieur de la plateforme (remblais).
- La pente transversale minimale est de l'ordre de 4%.

- Dans les zone de voie à forte dévers, on peut être amené à prévoir une pente transversale unique de la sous-couche pouvant aller jusqu'à 8%.

X.2.1.3La plateforme :

La plate-forme est la partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la sous-couche. Elle est constituée du sol rapporté 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 de 4%.

Le sol constituant la plate-forme doit remplir plusieurs fonctions :

- La répartition des charges reçues par la superstructure.
- L'évacuation des eaux de ruissellement et zénithales vers l'assainissement.
- La protection contre la pénétration du ballast par les limons et par les argiles provenant du sol.
- L'amortissement des vibrations résultant de la circulation des véhicules.
- Le rabattement des eaux souterraines.

La plate-forme est constituée de sol rapporté dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai :

- Dans le cas d'un remblai, cette couche de forme est d'un sol de qualité meilleure. Son taux de compactage est de 95% OPM.
- Dans le cas de déblais elle est obtenue par compactage à 95% OPM sur une épaisseur minimal de 30cm.

- **Classe de qualités des sols selon la fiche UIC 719R :**

La qualité d'un sol dépend des deux paramètres :

- La nature géotechnique du sol, à cet égard, on utilise l'identification géotechnique.
- Les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales, ces conditions sont réputées bonnes si :
    - La couche supérieure du sol considéré est hors de toute nappe naturelle (niveau de cette dernière mesuré avant toute opération de rabattement complémentaire et en période climatique défavorable) ;
    - La plateforme n'est pas le siège de percolations (pénétration par l'eau circulant dans le sol (éventuellement pollué) naturelles transversales, longitudinales ou verticales nocives ;

- Les eaux de pluie sont évacuées correctement de la plateforme et les dispositifs longitudinaux de drainage sont en bon état de fonctionnement.

Si l'une au moins de ces trois conditions n'est pas remplie, les conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont réputées mauvaises.

On distingue, selon que les conditions ci-dessus sont bonnes ou mauvaises et d'après la classification UIC, les quatre classes de qualité **QSi** de sols ci-dessous :

- QS0 : Sols "impropres" à la réalisation d'une plateforme correcte et à la suite nécessitent certaines mesures correctrices (substitution du matériau sur une certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation de géotextiles, renforcement par pieux, etc.)
- QS1 : Sols médiocres acceptables utilisés en conditions hydrogéologiques favorables. Ces sols peuvent, éventuellement, être transformés en sols de meilleure qualité par un traitement approprié, (traitement aux liants) ;
- QS2 : Sols moyens ;
- QS3 : Bons sols.

X.2.1.4Classe de portance des plateformes :

La portance d'une plateforme dépend de la qualité du sol constituant le corps de remblai ou du sol en place en fond de déblai, et de la qualité et de l'épaisseur de la couche de forme (lorsqu'elle existe). On peut distinguer les trois classes de portance de plateforme suivantes :

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

Le tableau suivant permet de déterminer la classe portance de la plateforme et l'épaisseur de la couche de forme qui convient :

Tableau X-I Classification de portance des plateformes selon UIC719.

Sol support		*Classe de portance envisagée pour la plateforme*	*Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance*		
Qualité	*CBR min*		*Qualité*	*CBR min*	*Epaisseur minimale : e_f(m)*
QS_1	2-3	P_1	QS_1	2-3	-
		P_2	QS_2	5	0,50
		P_2	QS_3	10-17	0,35
		P_3	QS_3	10-17	0,50
QS_2	5	P_2	QS_2	5	-
		P_3	QS_3	10-17	0,35
QS_3	10-17	P_3	QS_3	10-17	-

X.2.1.5 Épaisseur minimale « e » des couches d'assise

D'après la norme UIC 719 R l'épaisseur de la couche d'assise (e) est donnée par la formule

Suivante :

$$e = E + a + b + c + d + f + g$$

Tels que « E », « a », « b », « c », « d », « f » et « g » sont des paramètres de dimensionnement

e : L'épaisseur de la couche d'assise « e = épaisseur 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 groupe de l'UIC (groupe 1 à 6, UIC 714).
- **b** : facteur dépendant de type de traverse.
- **c** : facteur dépendant des conditions de travail.
- **d** : facteur dépendant de la charge maximale d'essieu des véhicules.
- **f** : facteur dépendant de la vitesse.
- **g** : facteur dépendant de l'installation de géotextiles.

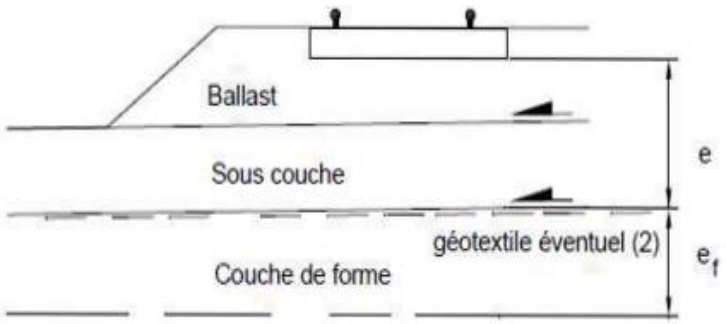


Figure X-II Les épaisseurs des différentes couches d'assise

Avec :

- E = (Classe de la plate-forme P1, P2 et P3)

  E=0.70m plates-formes de classe de portance P1.
  E=0.55m plates-formes de classe de portance P2.
  E=0.45m plates-formes de classe de portance P3.

- a = Classe de la voie.

  a=0 pour les groupes UIC (et - (ou lignes à V > 160 Km/h quel que soit le groupe UIC).
  a=-0.05m pour les groupes UIC 3 et 4.
  a=-0.15m pour les groupes UIC 5 et 6 et « 7,8,9 avec voyageurs ».
  a=-0.10m pour les groupes UIC 7,8 et 9 « sans voyageurs ».

- b = Type et longueur de la traverse.

  b=0m pour des traverses en bois de longueur 2.60m.
  b= $\frac{2.5-L}{2}$m pour les traverses en béton de longueur L « b en m et L en m b peut être négative si L>2.5m ».

- c= Ligne nouvelle.

c=0m pour un dimensionnement normal

c=-0.1m a titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que « 7, 8, 9 sans voyageur ».

c=-0.05m A titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC '7, 8, 9 sans voyageur'

- d= La charge maximale à l'axe.

d=0m Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 KN.

d=0.5m Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN.

d=0.12m Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 KN.

- f= Les lignes parcourues selon la vitesse.

f=0m Pour toutes les lignes parcourues à V > 160 Km/h et pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse.

f=0.5m Pour les plates-formes de classe de portance P2, des lignes de parcourues à grande vitesse.

f=0.1m Pour les plates-formes de classe de portance'24 des lignes parcourues à grande vitesse

- g= Géotextile.

g=+ géotextile. Lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2.

G=0 Lorsque la couche de forme est en sol QS3.

X.3 APPLICATION AU PROJET :

Avec une qualité moyenne de sol type QS1 et pour une voie rapide (V=160 Km/h), les recommandations du Maitre de l'Ouvrage est d'envisagé une plateforme 'P2', ce qui nécessite de mettre en place une couche de forme de classe QS3.

Les données de base :

- D'après la classification de sols selon UIC719 on a obtenu un sol QS1.
- Système de la voie : rail UIC sur des traverses en béton.
- Ballast avec une épaisseur minimum de 30 cm.

- **Remarque :**

  Les matériaux de classe QS0 ne peuvent être utilisés en aucun cas en raison de leur très faible portance, ces sols doivent être transformés en sols de meilleures qualités (QS1 au minimum) par un traitement approprié, et en assurant un bon drainage (Substitution du matériau sur une certaine épaisseur, traitement aux liant, utilisation de géotextile, etc.).

X.3.1 Calcul de la couche d'assise

- Pour les plates-formes de classe de portance P2, **E=0.55m**.
- Pour les groupes de lignes UIC 3, **a=-0.05m**.
- Pour les traverses béton de longueur L=2.245 b=$\frac{2.5-2.245}{2}$; **b=0.13m**.
- Pour un dimensionnement normal (nouvelle ligne), **c=0m**.
- Pour une charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN **d=0.05m.**
- Pour toutes les lignes parcourues à V≤160 Km/h **f=0m**.
- Lorsque la couche de forme est en sol QS2 on ajoute la geotextile.

Alors : e=0.55-0.05+0.13+0+0.05+0+geotextile

e=0.68 m + geptextile

En synthèse pour la structure d'assise proposée, ainsi, on peut répartir la structure sur différentes sections selon la classification des sols basés sur l'analyse des résultats de laboratoires pour une plateforme de type P2 nécessite la mise en place d'une couche de forme de type QS3 avec une épaisseur minimale de 35 cm. « d'après le tableau (VIII.1) ».

X.3.2 Epaisseur des différentes couches :

L'épaisseur des divers types de la structure d'assise proposée sont :

- 30 cm pour la couche de ballast avec : GC grave concassée 25/50mm.
- 38 cm pour la sous couche [Sous-ballast 0.20 cm. Grave bien gradué 0/31.5mm.
  Couche de fondation 0.18 cm. GC grave concassée 0/50mm.
- 35 cm pour la couche de forme. GNT.

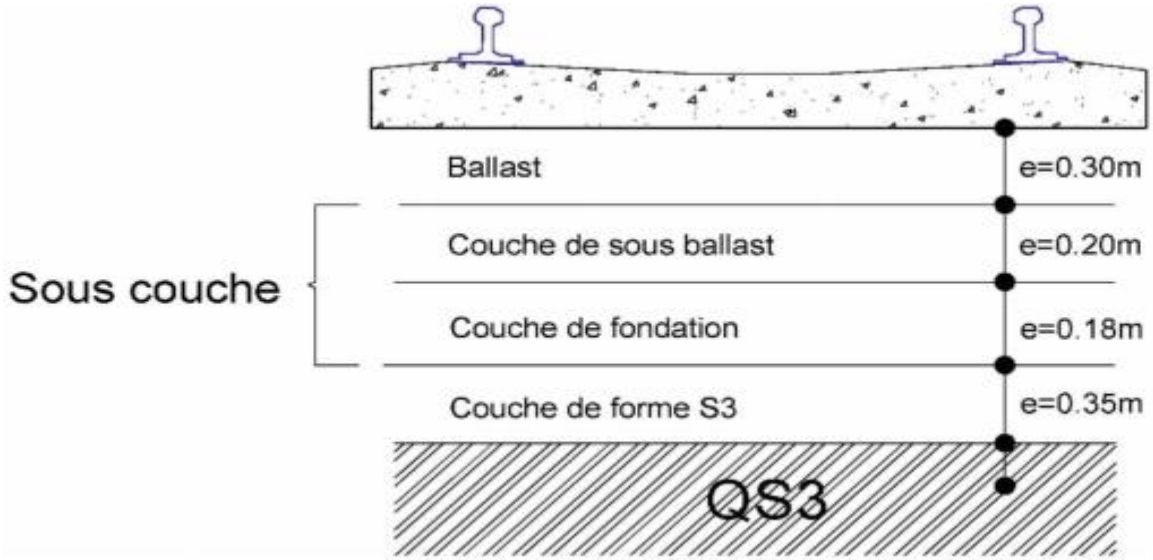


Figure X-III Schématisation de la structure adoptée

SUPERSTRUCTURE

CHAPITRE XI: SUPERSTRUCTURE

XI.1

Une voie ferrée est un ensemble d'éléments de caractéristiques physiques et mécaniques différents, qui sont assemblés entre eux afin de permettre une bonne transmission des charges, statiques ou dynamiques à la plate-forme 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 reposent sur une couche de ballast.

XI.2 CATEGORIE DE VOIES

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

- Les voies principales, affectées à la circulation des trains ;
- Les voies de circulation, affectées à desserte interne des grands complexes Ferroviaires ;
- 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 circulant à contre sens sur une voie unique de se croiser ;
- Les voies de garage, affectées au stationnement du matériel roulant.

XI.3 COMPOSITION DE LA VOIE FERREE

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

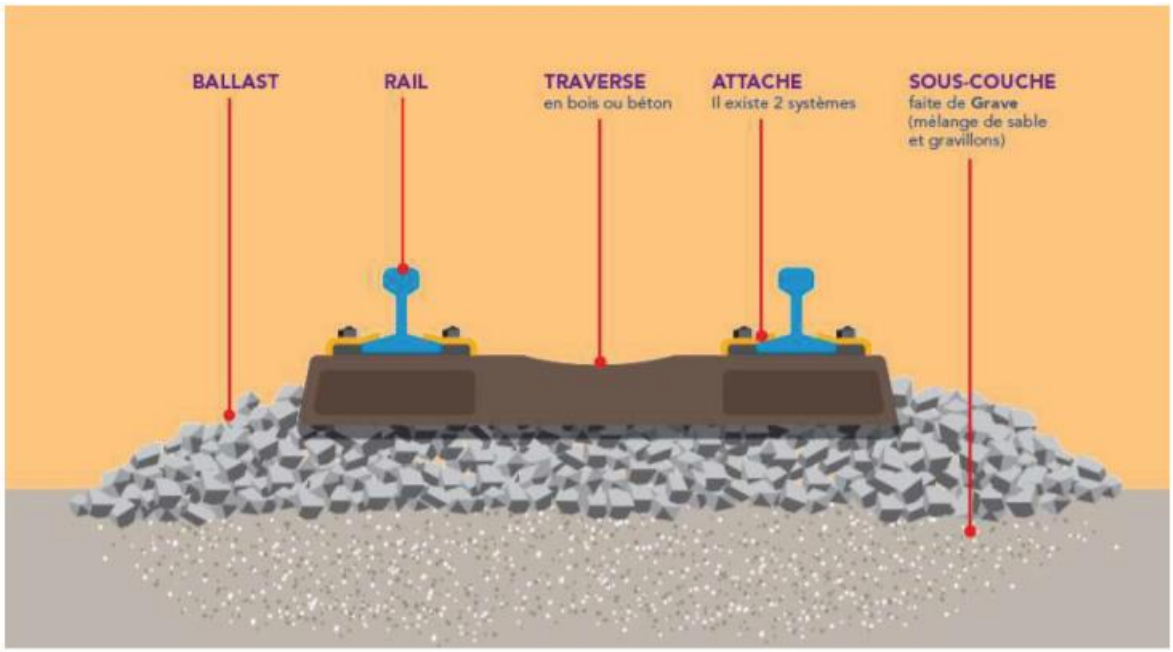


Figure XI-I Les constituants de la voie ferrée

Remarque : Le ballast, la sous couche et la plateforme sont détaillés dans le chapitre IX, dans ce chapitre on va voir les traverses, les rails et les attaches.

XI.3.1 Rail

Le rail est un profilé métallique posé sur les traverses en deux lignes parallèles, permet le contact avec les roues destiné à assurer le support vertical des roues des véhicules et guider les roues dans le sens transversal. Sa caractéristique essentielle d'un rail est son poids au mètre linéaire.

Le rail a souvent une fonction de sécurité : en tant que conducteur électrique, il sert de circuit aux courants de signalisation, ce qui permet de mettre au rouge automatiquement un signal lorsqu'un véhicule court-circuite les deux rails. La longueur des rails est de 18 m ou 36 m.

XI.3.1.1 Le profil

Le rail est constitué de plusieurs parties :

- La table de roulement qui est la face supérieure du champignon assurant le contact roue-rail et la répartition des contraintes.
- Le bourrelet ou Champignon : 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 faces latérales
- Portées d'éclissage : Ce sont les plans inclinés qui raccordent le bourrelet et le patin à l'âme du rail, leur fonction est de servir d'appui pour soutenir le champignon.
- L'Âme : garantit une épaisseur suffisante pour résister aux sollicitations.
- Le Patin : assure une largeur suffisante pour le transfert de charge à la traverse et la zone pour attaches.

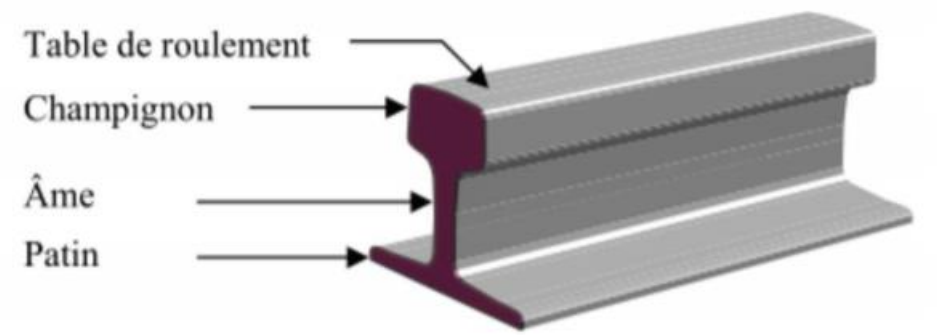


Figure XI-II Rail Vignole

XI.3.1.2 Les formes principales de rails

Il existe plusieurs profils de rails en voie :

- Le profil double champignon (DC), qui n'est plus fabriqué,
- Le profil Vignole,
- Le rail à gorge : utilisés pour les voies encastrées dans des chaussées routières, notamment pour les installations industrielles et les lignes de tramway. (Wikipédia, 2019) [19]

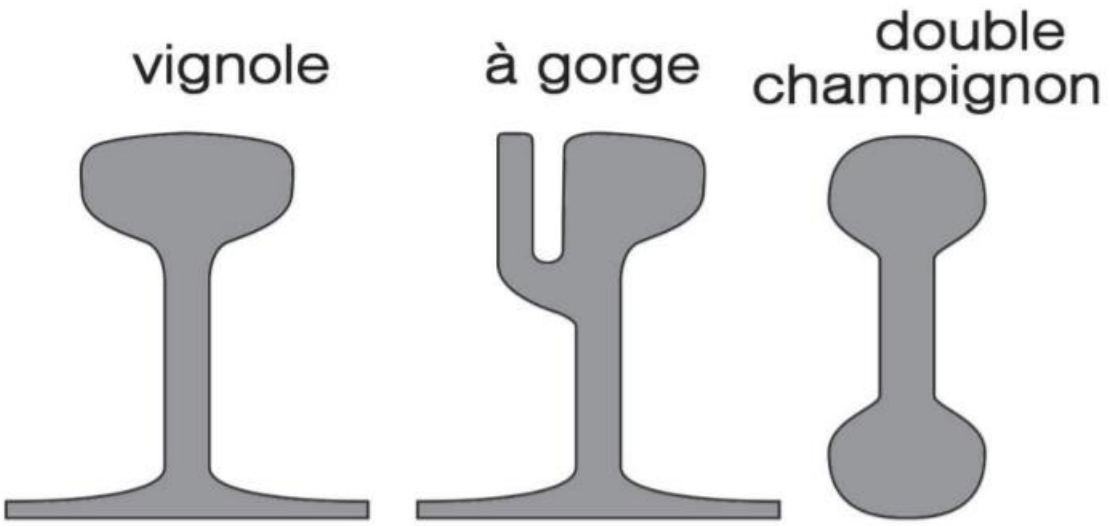


Figure XI-III Les trois profils type des rails

XI.3.1.3 Assemblage des rails

Il existe deux types d'assemblages :

- **L'éclissage** : C'est l'assemblage de deux rails consécutifs à l'aide de deux éclisses qui sont constituées par des plaques laminées entre le champignon et le patin.

L'éclissage doit répondre aux conditions suivantes :

- Relier les rails de façon à ce qu'ils se comportent comme une poutre continue.
- Les éclisses doivent avoir la même qualité d'acier que le rail.
- Empêcher les mouvements verticaux des extrémités des rails l'une par rapport à l'autre, tout en permettant la dilatation en fonction des variations de température. (jean alias, 1984) [1]

- **Soudures ou Les longs rails soudés (LRS)** : les rails sont mis bout à bout et soudés par procédé aluminothermique qui consiste en un apport de métal en fusion dans une lacune créée entre les extrémités de ceux-ci.

Les contraintes techniques qui s'imposent au soudage sont la métallurgie de la soudure (résistance mécanique) et la géométrie (qualité des circulations et tenue de la voie).

Les grands avantages qu'offre cette méthode sont :

- Une réduction des couts d'entretien de la voie.
- Une meilleure qualité de roulement et un plus grand confort pour les voyageurs.

Le rail est un assemblage de barres en acier laminé, soudées électriquement pour obtenir des Longs Rails Soudés (L.R.S.) de longueur quelconque. Ensuite les L.R.S. sont soudés par aluminothermie en voie et fixés sur les blochets des traverses par l'intermédiaire des attaches.



Figure XI-IV l'intermédiaire des attaches



Figure XI-V Soudure aluminothermique

XI.3.2 Les traverses

Les traverses sont des pièces posées à l'axe des voies, sur lesquels sont posés les rails, pour en maintenir l'écartement et l'inclinaison, et transmettre au ballast les charges des véhicules circulant sur les rails. On utilise essentiellement des traverses en bois ou en béton (et depuis peu il existe une fabrique de traverses en plastique dur recyclé). (Wikipédia, 2019) [19].

Les traverses sont soumises à des sollicitations complexes :

- Efforts verticaux et horizontaux exercés par le patin du rail sur la table d'appui ;
- Réaction du ballast ;
- Flexions dynamiques alternées dues au passage des circulations.

XI.3.2.1 Rôle des traverses

Les traverses permettent :

- La transmission des charges dynamiques et statiques du rail au ballast qui dépendent beaucoup des conditions d'appui,
- Le maintien de l'écartement des deux files de rail,
- Le maintien d'une certaine inclinaison du rail (1/20). (Gilles SAUSSINE, 2004) [14]

XI.3.2.2 Types des traverses

Il existe trois types de traverses :

Traverses en bois : généralement du chêne sont appréciées pour leur résistance, leur flexibilité et la facilité de leur mise en œuvre. De nos jours les traverses en bois ne sont pas utilisées fréquemment vu leur courte durée de vie, effets négatifs sur l'environnement et leur cout élevé.

Traverses métallique : Elles ont une forme d'un «U» renversé, leurs extrémités sont enfoncées dans le ballast pour empêcher tout déplacement transversal de la voie, vue leurs légèreté elles sont faciles à poser, cependant, elles sont bruyantes et conductrices d'électricité, donc nécessitent des dispositifs d'isolement couteux.

Traverses en béton : Elles ont une durée de vie plus importante (50ans), et ne sont pas onéreuses. Leur poids important assure un bon ancrage de la voie dans le ballast et une meilleure stabilité transversale de la voie ce qui autorise la pose en longs rails soudés (LRS) dans des courbes de faible rayon où la pratique de la grande vitesse, d'où leur forte utilisation à travers le monde. Leurs fixation avec les rails se fait par des attaches élastiques munies de dispositif élastique en caoutchouc.

Il en existe deux types des traverses en béton :

- **Traverses bi blocs** : elles sont formées de deux blocs de béton armé appelés « Blochets » reliés par une entretoise métallique, qui absorbe les efforts en milieu de traverse.
- **Traverses monoblocs** : Formées en un seul bloc de béton précontraint, amincies dans leur partie centrale, armées de fils à haute résistance.

Tableau XI-I Nombre et masse des traverses

Type de traverse	Bois	Béton
Nombre de traverses par kilomètre de voie	1732	1667
Masse (Kg)	70 à 80	200

XI.3.3 Systèmes de fixation

Une **attache** rail-traverse est un appareil constitué d'un crapaud qui est maintenu par un écrou accroché dans la traverse, assure la fixation du rail sur la traverse. Elle assure à la fois une élasticité dans le sens vertical et horizontal. Ces constituants permettent de régler la progression de l'effort en fonction du déplacement.

Son rôle principal est :

- D'assurer le positionnement du rail et de la traverse,

- Le serrage du rail sur la traverse, afin que la résistance au glissement entre le rail et la traverse soit supérieure à la résistance au glissement longitudinal entre la traverse et le ballast,
- Conserver un effort de serrage suffisant malgré les vibrations dues aux circulations,
- Absorber les efforts longitudinaux et dynamiques au passage des trains. (Gilles SAUSSINE, 2004) [14]

On distingue différents systèmes de fixation :

Les systèmes rigides : ce sont ceux qui ne comportent aucun élément élastique (attache ou semelle de rail) utilisés généralement sur les traverses en bois avec goujons à tirefond. Elle assure un bon maintien transversal du rail mais ne garantit pas le maintien longitudinal de la voie.

Les systèmes élastiques : ce sont ceux qui comportent un ou plusieurs composants élastiques.

Il existe de types de fixation élastique :

- Système de fixation directe : Le rail est fixé directement dans la traverse avec ou sans interposition de semelle ou de selle.
- Système de fixation indirecte : Le rail n'est pas fixé directement à la traverse ; interposition d'une selle.

NB : Pour notre projet l'attache utilisée est une attache élastique de type NABLA.

Pose Nabla : Le système Nabla est constitué d'une lame élastique trapézoïdale, d'une butée isolante (pose sur traverses béton), d'un dispositif d'ancrage et d'une semelle sous rail.

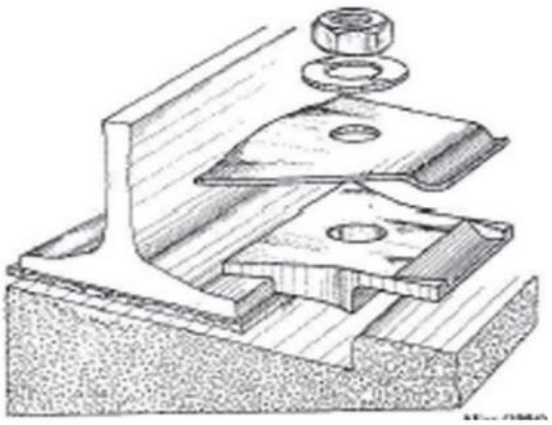


Figure XI-VI Schéma du système nabla.

On peut aussi rajouter d'autres types d'attaches montré dans les figures ci-après :



Figure XI-VII Types d'attaches

XI.3.4 Appareil de voie

L'exploitation des voies ferrées exige des dispositifs de liaison et d'intersection des itinéraires, que l'on désigne sous le terme générale d'appareils de voie. (Jean ALIAS, 1984)[1]

Les « appareils de voie » sont constitués de rails spéciaux (croisement de rails) et d'éléments mobiles (aiguille). Ils permettent le passage d'une voie à une ou plusieurs autres.

Le type de l'appareil est désigné par la valeur de tangente d'implantation exprimée sous la forme décimale.

XI.3.4.1 Catégories d'appareils de voie

Il existe deux catégories d'appareils de voie :

- Les branchements

Dans le langage simple le branchement est appelé aiguillage et il se compose de trois parties :

- Partie aiguillage : qui comprend essentiellement les aiguilles mobiles ;
- Partie intermédiaire : assimilable à la voie courante ;
- Partie cœur (croisement) : qui comprend essentiellement le cœur de croisement.

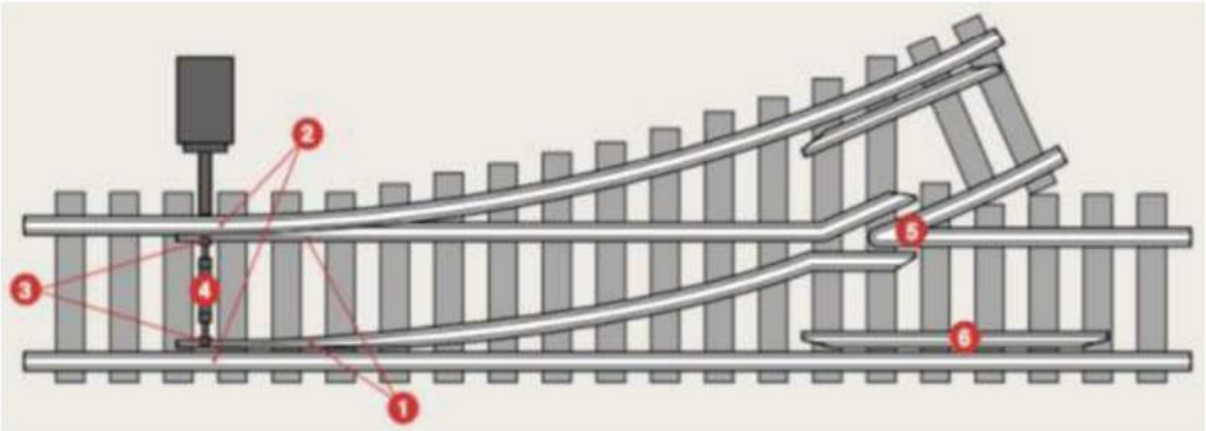


Figure XI-VIIIBranchement simple

L'aiguille ou lame (1) est l'élément le plus important d'un aiguillage : c'est la partie flexible qui vient se plaquer contre le rail de la voie directe pour dévier le train sur une autre voie.

La contre-aiguille (2) est la partie fixe du rail, sur laquelle l'aiguille vient buter.

Le verrou ou griffe d'aiguille (3) maintient l'aiguille en place dans la position ouverte ou fermée. La tringle est la tige qui actionne l'aiguillage et qui maintient le bon écartement entre les aiguilles.

La tringle (4) est la tige qui actionne l'aiguillage et qui maintient le bon écartement entre les aiguilles.

Le cœur de croisement (5) est la partie où les rails se croisent.

Le contre-rail (6) sert à guider et à assurer l'essieu durant le franchissement du croisement (changement de voie pour stabiliser le train).

Autre que le branchement simple il existe deux autres types de branchement illustrés sur la figure suivante :

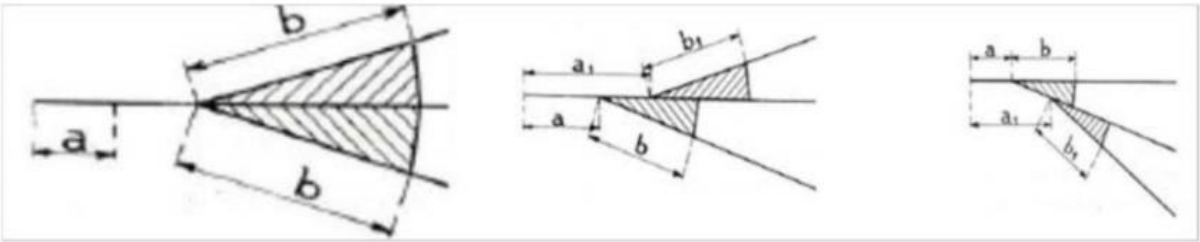


Figure XI-IX Branchement double symétrique et asymétrique

- Les traversées

On distingue :

Les traversées simples : permettent le croisement à niveau d'une voie par une autre en alignement ou en courbe de même rayon sans qu'il ne soit possible d'agir sur l'orientation des trains.

Les traversées jonction : permettent le croisement à niveau d'une voie par une autre et également la jonction des deux voies. On trouve :

Les traversées jonction simples (TJS) permettant la jonction des voies uniquement dans un sens de circulation.

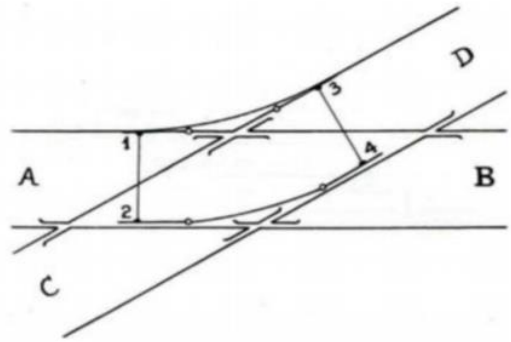


Figure XI-X Traversée-jonction simple.

Des traversées jonction doubles (TJD) permettant la jonction des voies dans les deux sens de circulation

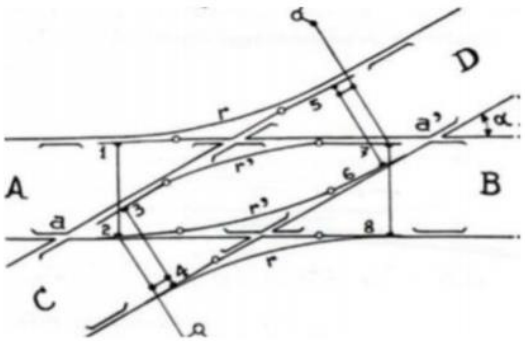


Figure XI-XI Traversée-jonction double.

XI.4 APPLICATION AU PROJET

Les spécifications applicables sont les suivantes :

- La largeur de la plate-forme en double voie est fixée à 13,6 m avec un entraxe de 4.20 m.
- Une bande 700 mm sera prévue pour l'implantation des équipements de signalisation, télécommunications et électrification ;
- L'axe des poteaux caténaires devra se situer à un minimum de 3 060 mm de l'axe de la voie ;
- Un cheminement de 1000 mm sera aussi implanté pour la circulation piétonnière du personnel de maintenance de la voie dans le cas des voies à l'air libre uniquement.

La superstructure de la voie

Rail modèle 60E1 (UIC60) fabriqué selon la norme européenne EN 13674-1, largement utilisé pour la construction de voies ferrées. Il traite d'un rail de section type T (rails plats) avec une masse de 60,21kg par mètre. Pour une jauge standard, il est courant d'utiliser la voie 60E1 / UIC60 pour le trafic de charges moyennes et lourdes.

Un schéma de profil de rail type 60 E1, et ses caractéristiques citées dans l'annexe ???

La valeur de l'écartement de la voie : 1435 mm

Le type de traverse utilisé : Les traverses du type bi-bloc en béton pour rail 60-E1 sont utilisées dans toutes les sections de voie courante, les traverses sont posées à raison de 1667 unités au kilomètre (soit au pas de 0,60 m entre axes des traverses).

Les voies de service, les voies d'évitements et les voies tiroirs seront équipées de rails 60- E1 posés sur des traverses bi-bloc de type VAX U31.

Système d'attache

Il sera employé des attaches doublement élastiques, de telle façon à former un intermédiaire élastique entre le rail et les traverse. Le système est une attache à lame de type Nabla.

AMENAGEMENT DE LA GARE

CHAPITRE XII: AMENAGEMENT DE LA GARE

XII.1 NTRODUCTION :

Une gare ferroviaire c'est un lieu d'escales considérés comme points d'échanges et liens de développement stratégique, se présente comme un lieu d'arrêt des trains pour assurer la montée et la descente des voyageurs et le chargement déchargement de la marchandise et se présente aussi comme un nœud de liaison entre la ville et son système de transport public et qui assure aussi des fonctions de sécurité dans la circulation des trains.

Notre tronçon comprend une gare au niveau de la sortie de Hadjout, la gare de Hadjout est située entre PK23+550 et PK24+350.

XII.2 TYPES DE GARES

On distingue 3 types des gares :

- **Gares de voyageurs :** qui permet l'embarquement et/ou le débarquement des voyageurs.
- **Gares de marchandises :** qui permet l'embarquement et/ou le débarquement des marchandises.
- **Gares de triage :** assurent la recomposition des trains dits du lotissement, c'est-à-dire des trains qui acheminent les wagons isolés.

XII.3 CONCEPTION GENERALE DES GARES

Dans une gare ferroviaire, on peut trouver plusieurs installations et constructions selon le type, la conception et la catégorie de la gare. Dans ce stade trois éléments sont nécessaires pour l'étude du plan de masse :

- **Catégorie de la gare :** C'est en fonction de cet élément que l'on peut déterminer son rôle et ses constituants.
- **Le trafic :** pour estimer et évaluer l'importance de la gare afin d'aménager cette dernière d'une façon convenable.
- **L'emplacement :** Généralement, c'est l'élément qui définit et détermine les deux éléments précédents.

XII.3.1 Conditions de conception d'une gare

Pour assurer une meilleure conception, les gares doivent répondre à un certain nombre de conditions :

- Insertion urbaine et conception architecturale du bâtiment des voyageurs ;

- Séparation les flux de voyageurs entrants et sortants ;
- Aménager aux abords des gares des parcs de stationnement des véhicules ;
- Adaptation au plan de transport · Analyser avec précision tous les mouvements et manœuvres qui comportent aussi l'exploitation de la gare aux heures de pointe.

XII.4 INSTALLATIONS D'UNE GARE VOYAGEURS :

Ce sont des ensembles fonctionnels conçus pour regrouper toutes les informations centrées sur l'accès au train (l'information sur le voyage, l'achat des titres de transport, ainsi que divers services commerciaux liés au voyage).

Les gares de voyageurs sont de tailles variables :

Les gares peu importantes, qui constituent un simple point d'arrêt, souvent sans personnel Permanent, sont appelées « Haltes » ou « Points d'arrêt ».

Les gares principales situées dans les grandes villes sont des lieux d'échange entre le mode Ferroviaire et les divers modes de transport urbains (bus, tramway, métro) ; on les appelle alors « Pôles d'échanges ».

XII.4.1 Types de gares de voyageurs

- **Les gares terminus :** Le bâtiment se situe tout au bout des quais et comprend un côté pour les départs et un autre pour les arrivées.
- **Les gares de passage :** Le bâtiment est situé le long de la voie orientée vers le centre de l'agglomération. On accède aux quais par une passerelle ou un passage souterrain.

XII.4.2 Les équipements de gares de voyageurs

- **Bâtiment à voyageurs (BV) :** C'est un lieu accessible aux voyageurs qui permet le passage de la voie publique vers les quais.
- **Bâtiment à usage divers (B.U.D) :** Il comprend des locaux de service exclusivement réservés aux agents du chemin de fer.
- **Quais** : C'est un espace parallèle à la voie ferrée où les passagers attendent le train, les gares possèdent généralement au moins un quai.
- **Réseau de voie :** son rôle est d'assurer une liaison entre les voies.
- **Auvent et abris :** Il Protège les usagers en cas d'intempéries lors de l'attente du train. On prévoit des auvents dans les gares importantes et des abris dans les gares intermédiaires.

- **Heurtoir :** ou parfois butoir, est un dispositif placé à l'extrémité d'une voie ferrée en cul de sac, pour arrêter d'éventuels véhicules en dérive et les empêcher de continuer leur chemin en dehors de la voie.
- **Passages sous terrain :** Permets de passer par-dessous de voies en toute sécurité, on les trouve dans les gares importantes (plusieurs quais) et dans les gares situées sur les lignes électrifiées.
- **Traversée de voies (Passerelle) :** Construite entre deux quais, elle Permet de passer par-dessus de voies en toute sécurité.

XII.5 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.

XII.6 CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA GARE :

XII.6.1 Déclivité dans les gares

Dans ce projet, la déclivité est 0,0% En gare, afin d'éviter tout déplacement possible des trains.la déclivité est à limiter en fonction des activités qui y sont prévues.

XII.6.2 Les quais

Les caractéristiques géométriques recommandées pour le dimensionnement des quais selon les normes de la SNTF sont comme la suit:

Tableau XII-I Valeurs géométriques des quais proposé par la SNTF

	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (cm)	Entre axe (m)
Caractéristiques	-Grande ligne : 450 -service régionale : 350 -Banlieue : 225	-Quai intermédiaire> 8 -Quai extérieur ≥ 6	- Quai bas : 35 -Quai mi- haut : 55 - Quai haut : 76-100	-Normal > 11,3 -Minimal > 9,3

XII.6.3 La distance à l'axe de la voie

La distance entre le bord du quai et l'axe de voie est fixée à 1,65m.

XII.6.4 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.

$$GF = 3.57 \times N + 1$$

Avec

N: variable dépend de l'ouverture de l'appareil de voie.

:

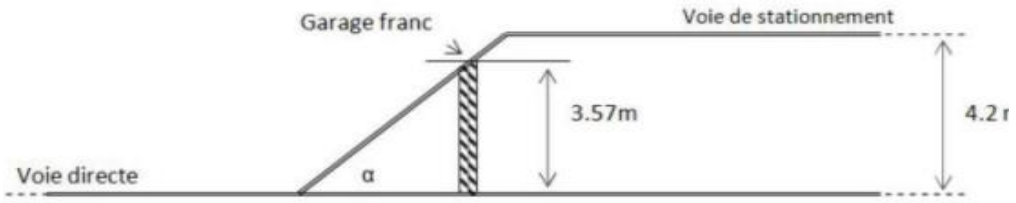


Figure XII-I Garage franc.

XII.6.5 La longueur utile d'une voie de stationnement :

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

- 426 m : pour les trains voyageurs.
- 870 m pour les trains de marchandise (pour la voie principale et la voie de service).

XII.6.6 Heurtoir :

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

XII.6.7. Appareils de la voie

C'est un dispositif de guidage permettant le passage d'une voie à une autre en assurant la continuité des voies par extension de passer d'une voie à l'autre, un itinéraire de se scinder en deux itinéraires différents et un itinéraire de traverser un autre itinéraire.

XII.6.7.1 Le choix de l'appareil de voie dépend :

- Du type de trafic (marchandises, voyageurs, TGV) ;
- De l'armement de la voie (type de rail, type de traverse, nature du sol) ;
- Des caractéristiques du matériel roulant (masse, profils des roues, nombre d'essieux, charge par essieu …) ;
- De la vitesse de franchissement en voie déviée.

XII.6.7.2 Composition de l'appareil de voie :

L'appareil de voie se compose de trois parties : aiguillage, la partie intermédiaire et partie cœur (croisement).

XII.6.7.3 Catégories d'appareils de voie :

- Les branchements.
- Les traversées.
- Les traversées jonctions.

XII.6.7.4 Implantation des appareils de voie :

- **Cas normal sans contraintes :**
  - Location en alignement droit, suivant la courbure de l'alignement horizontal.
  - Appareils 60-500-1 :12 avec une vitesse de branchement de 60 km/h.
  - Distance entre le garage franc et le quai ≥130m.

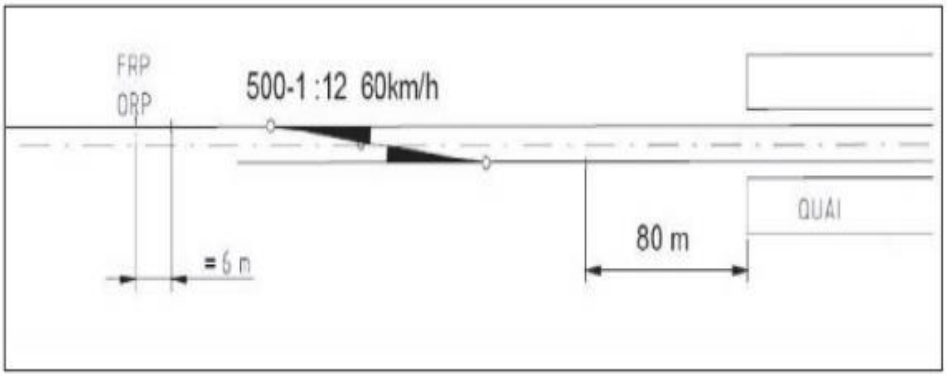


Figure XII-II Implantation d'un appareil de voie sans contraintes

- **Cas avec contraintes :**
- Disposition d'un appareil de protection avec une distance entre fin de quai et appareil est ≥80m.
- Distance appareil de voie et la courbe ≥ 6m. Avec un divers droit sans doucine.
- Appareils 60-500-1 :12 avec une vitesse de branchement de 60 km/h.



Figure XII-III Implantation d'un appareil de voie avec contraintes.

XII.7 APPLICATION AU PROJET :

XII.7.1 Aménagement de la gare Hadjout :

La gare de Hadjout est une gare mixte (voyageurs et marchandises) située entre le PK23+550 et PK24+350 du côté nord de la ville, elle est desservie par un chemin raccordé à la RN

Les spécifications applicables sont les suivantes :

- La largeur de la plate-forme en double voie est fixée à 13,6 m avec un entraxe de 4.20 m.
- Une bande 700 mm sera prévue pour l'implantation des équipements de signalisation, télécommunications et électrification ;
- L'axe des poteaux caténaires devra se situer à un minimum de 3 060 mm de l'axe de la voie ;
- Un cheminement de 1000 mm sera aussi implanté pour la circulation piétonnière du personnel de maintenance de la voie dans le cas des voies à l'air libre uniquement.

XII.7.2 Caractéristiques de la gare :

Selon les normes de la SNTF, les caractéristiques géométriques recommandées des gares sont comme suivies :

XII.7.2.1 La superstructure de la voie

Rail modèle 60E1 (UIC60) fabriqué selon la norme européenne EN 13674-1, largement utilisé pour la construction de voies ferrées. Il traite d'un rail de section type T (rails plats) avec une masse de 60,21kg par mètre. Pour une jauge standard, il est courant d'utiliser la voie 60E1 / UIC60 pour le trafic de charges moyennes et lourdes. Un schéma de profil de rail type 60 E1, et ses caractéristiques citées dans l'annexe 8. La valeur de l'écartement de la voie : 1435 mm
Le type de traverse utilisé : Les traverses du type bi-bloc en béton pour rail 60-E1 sont utilisées dans toutes les sections de voie courante, les traverses sont posées à raison de 1667 unités au kilomètre (soit au pas de 0,60 m entre axes des traverses). Les voies de service, les voies d'évitements et les voies tiroirs seront équipées de rails 60- E1 posés sur des traverses bi-bloc de type VAX U31.

XII.7.2.2 La marge de glissement à l'aval des signaux :

Pour notre projet LG = 200 m.

XII.7.2.3 La longueur des quais :

Pour notre gare on prend 300 m comme longueur des quais, en considérant 4 wagons de 75 m.

XII.7.2.4 Hauteur des quais :

Pour notre cas nous prenons un quai de hauteur : H = 550mm.

XII.7.2.5 Largeur des quais :

Pour notre projet L = 8m.

XII.7.2.6 Distance du quai par rapport à l'axe de la voie :

La gare de Hadjout est située dans un alignement droit alors R=∞.

XII.7.2.7 La passerelle

Elle permet le franchissement sans risque des voies pour accéder au quai .On a opté à utiliser une passerelle supérieure.

XII.7.2.8 Système d'attache

Il sera employé des attaches doublement élastiques, de telle façon à former un intermédiaire élastique entre le rail et les traverse. Le système est une attache à lame de type Nabla.

XII.7.3 Caractéristiques géométriques

Les caractéristiques géométriques de la gare de Hadjout sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau XII-II Caractéristiques géométriques de la gare

Voies	Vitesse (Km/h)	Longueur utile (m)	Rayon (m)
Voie 1	60	800	/
Voie 2	60	800	/
Voie 3	40	635	500
Voie 4	40	580	300

XII.7.4 Assainissement dans la gare

XII.7.4.1 Assainissement transversale

Pour faciliter le ruissellement des eaux pluviales dans les gares, les quais doivent avoir une pente de 2% en toit de telle sorte à évacuer ces eaux vers les voies ensuite ces eaux sont évacuées grâce aux pentes transversales des plates-formes.

XII.7.4.2 Assainissement longitudinale

Les drains disposés longitudinalement avec des pentes de 4% permettent de recueillir les eaux de ruissellement qui s'infiltrent dans le ballast la plate-forme et les évacuer vers le réseau d'assainissement via les regards de visite.

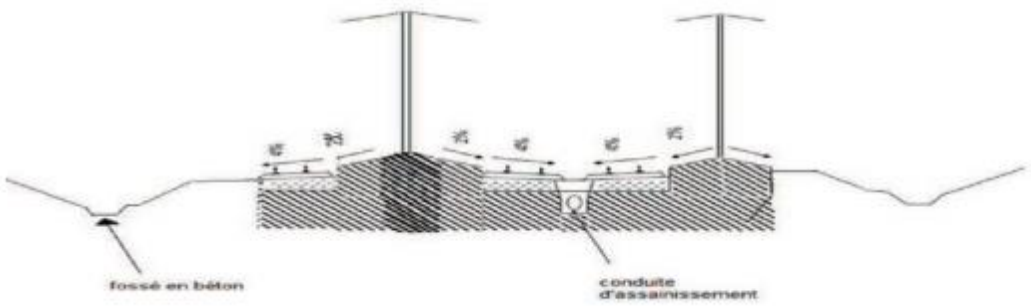


Figure XII-IV Assainissement dans la gare

XII.8 CONCLUSION

La gare de Hadjout est aménagée d'une manière de satisfaite aux besoins des usagers de cette région et aux besoins commerciaux et économiques de cette région et du pays en termes de déplacement et communication avec d'autre régions.

Note : Les coupes de la gare de Hadjout sont dans l'annexe 3.

Etude d’impact sur l’environnement

CHAPITRE XIII: ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XIII.1 INTRODUCTION

Toute réalisation d'infrastructure apporte au milieu qu'elle traverse urbain ou rural des effets négatifs environnementaux. Ainsi dans notre cas précis, la réalisation d'une ligne ferroviaire ainsi que l'exploitation d'un matériel roulant engendrent des effets négatifs sur l'ensemble de l'environnement des zones traversées.

Ainsi et afin de diminuer ces effets négatifs et permettre une intégration du projet dans le milieu naturel existant, des études d'impact environnementaux sont indispensables.

Dans ce présent chapitre ; nous récapitulons un ensemble de mesures qui doivent être envisagées afin de réduire et compenser les conséquences dommageables du projet.

XIII.2 DEFINITION D'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

C'est une étude détaillée qui permet d'apprécier, d'évaluer et de mesurer les effets directs et indirects, à court, moyen et long terme de la réalisation du projet sur l'environnement. Cette étude doit être réalisée avant le commencement du projet c'est-à-dire au stade de faisabilité de ce dernier. Elle doit être présentée à l'Agence Nationale de Protection de l'Environnement pour avis avant l'obtention de toutes autorisations administratives relatives à la réalisation de ce projet.

XIII.3 OBJECTIF ET UTILITE D'UNE ETUDE D'IMPACT

L'étude d'impact est destinée à :

- Concevoir un meilleur projet
- Éclairer l'autorité administrative sur la décision à prendre
- Informer le public et le faire participer à la prise de décisionDécret exécutif n° 07-144 du 19 mai 2007 Fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.

XIII.4 CADRE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE DES ETUDES D'IMPACT

Dans le cadre et afin d'assurer une prise en compte des considérations environnementales dans toutes les initiatives de développement, plusieurs lois et décrets ont été promulgués et doivent être appliqués sous le contrôle du ministère en charge de l'environnement.

Parmi les lois et les décrets qui s'appliquent sur notre projet on a :

- Décret exécutif n°87-91 du 21 Avril 1987 Faisant référence à l'évaluation de l'impact dans le plan d'utilisation des terrains
- Loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 Relative à la protection de l'environnement et à la prévention de la pollution industrielle dans le cadre du développement durable
- Loi n° 2004-09 du 27 Joumada Ethania 1425 correspondant au 14 août 2004 Relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable
- Décret exécutif n° 07-144 du 19 mai 2007 Fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.
- Décret exécutif n° 08-312 du 5 Chaoual 1429 correspondant au 5 octobre 2008 Fixant les conditions d'approbation des études d'impact sur l'environnement pour les activités relevant du domaine des hydrocarbures
- Loi n° 07-06 du 13 mai 2007 Relative à la gestion, à la protection et au développement des espaces verts.

XIII.5 CONTENU DE L'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

- **Délimitation de la zone d'étude**

L'étude d'impact doit définir et justifier les limites de la zone d'étude qui correspond à la zone de réalisation du projet et aux zones d'influences du projet, Elle doit aussi inclure toutes les portions du territoire qui peuvent être touchées par le projet et ses activités connexes.

- **Analyse de l'état initial**

L'analyse de l'état initial est une phase indispensable et déterminante pour la qualité et l'utilité de l'étude d'impact. En effet, avant la mise en place du projet, il est nécessaire d'étudier les différentes composantes du milieu pouvant être affectées par le projet.

L'analyse de l'état initial consiste à décrire les composantes de différents milieux :

- Description du milieu physique : Géomorphologie, climat, hydrologie
- Description du milieu biologique : la végétation, la faune…etc.
- Description du milieu humain : population, agriculture, Patrimoine archéologique et bâti.

- **Évaluation des impacts**

- **Les mesures prises pour minimiser les impacts**

Il est important de définir de manière détaillée les mesures qui seront prises pour minimiser les impacts. Ces mesures seront opérationnelles afin de prévenir, atténuer ou réparer les conséquences dommageables du projet sur l'environnement.

- **Suivi et bilan environnemental**

Permet d'assurer la mise en application des mesures prescrites et leur efficacité à moyen et long termes.

XIII.6 APPLICATION AU PROJET

Délimitation de la zone d'étude

Une zone d'étude locale (zone d'influence directe)

Une délimitation de la zone d'étude d'influence est nécessaire pour assurer la prise en compte de l'ensemble des impacts générés par les activités liées au projet. La zone d'étude est définie en fonction de la sensibilité des milieux physique, biologique et humain traversés par la ligne de chemin de fer.

C'est généralement la zone composée d'une bande d'environ 01 km (500m de l'axe du projet sur les deux rives de l'axe de la ligne ferroviaire), c'est la zone qui subit le plus des impacts positifs et/ou négatifs du projet.

Ainsi pour le cas de notre présent projet cette zone s'étale sur une superficie de 334,97 km² et compte une population estimée à 132 072 Habitants selon le dernier recensement de la population (RGPH 2018), avec une densité moyenne de 4 545 hab./km².



Figure 0-I Délimitation de la zone d'étude d'influence

Une zone d'étude régionale (zone d'influence indirecte)

Elle correspond à un secteur moins bien défini que celui de l'étude locale. Elle se réfère aux territoires des communes traversées par le tracé. Cette zone d'étude permettra d'établir le contexte régional sur la base des données générales disponibles dans les communes et au niveau des administrations des wilayas. Elle servira également de limite pour l'évaluation de certains impacts dont les effets peuvent se faire sentir au-delà de la zone d'étude locale (ex. : émission de poussière, bruit, gestion des déblai/remblai, etc.

La zone d'influence indirecte se situe dans la Wilaya de Tipaza, elle est composée des communes suivantes : Hadjout, Nador.

Analyse de l'état initial

Description du milieu physique (données météorologiques, relief, sismologie régionale) est déjà faite dans les chapitres précédents.

Description du milieu biologique

La faune : la région connaît une variété faunique entre mammifères (les Ovins, les Bovins, les caprins, le sanglier, le renard, le lapin de garenne, le hérisson d'Algérie), et reptiles (l'agame, le caméléon commun, le lézard), et des espèces d'oiseaux.

La flore : La région d'étude comme tout le littoral algérien est caractérisée par une végétation typiquement méditerranéenne.

Du fait qu'il est impossible de présenter de manière exhaustive toute la flore de la région, on a choisi de présenter principalement les espèces endémiques et menacées de disparition.

La forêt et le maquis du versant Nord de l'Atlas tellien sont composés de chênes, de chênes lièges, de chênes zens, un chêne souvent centenaire au tronc droit qui peut atteindre 6 m de circonférence, de cèdres odorants, de pins d'Alep, de caroubiers, de lentisques ou d'arbousiers qui ont beaucoup souffert de la déforestation sauvages . Les plaines irriguées de la Mitidja se composent principalement de vergers d'agrumes (orangers, citronniers, mandariniers, pommiers, poiriers...). Dans le Sahel Algérois, la végétation abonde et les cultures maraîchères (tomates) sont privilégiées.

Description du milieu humain

Découpage administratif :

Notre zone d'étude passe par les communes de la wilaya de Tipaza et la commune d'El Affroun dans la wilaya de Blida, notre zone s'étale sur une superficie de 334,97km² et compte une population estimée à 132072 habitants selon le RGPH 2017, comme détaillé dans le tableau suivant :

Tableau 0-I Découpage administratif

Daïras et communes	Superficie (km²)	Population (2015)	Densité (hab/km²)
TIPASA	66	28374	430
CHERCHELL	95.7	55874	584
HADJOUT	52,43	52923	1009
SIDI-AMAR	45.33	15870	350
NADOR	32	5481	345
MENACEUR	191.15	28508	149
AHMEUR-ELAIN	60,96	33355	547
BOURKIKA	67,71	25100	371
El AFFROUN (BLIDA)	55,87	42 465	760
Total zone d'étude	334,97	132072	4545

Évaluation des impacts et les mesures prises pour minimiser ces impacts

Impacts négatifs sur le milieu physique

Impacts sur la géomorphologie :

Les impacts probables attendus sur ce thème sont surtout liés aux terrassements, de stabilisation des matériaux des talus (déblais et remblais), etc.

Ces opérations risquent d'induire, à cause de la sensibilité de certaines formations géologiques traversées, des impacts négatifs pendant la phase de construction avec des effets pouvant se prolonger sur la phase d'exploitation. Cet impact est direct et permanent.

Impacts sur les sols :

Au niveau des sols, le projet induira une série d'impacts dont essentiellement :

- La perte des sols par décapage de l'emprise ;
- L'accentuation des phénomènes de l'érosion, et ;
- Le tassement des sols.

Mesures

- Les quantités importantes de déblais générées par le projet devront en priorité être réutilisées sur place.
- Effectuer le décapage immédiatement avant les travaux de construction afin de limiter la durée d'exposition des sols sensibles à l'érosion.
- Stockages des huiles usagés issus des vidanges des engins dans des récipients étanches.

Impacts sur la qualité de l'air

Le chantier peut avoir différents impacts sur la qualité de l'air, liés à :

- · Des émanations de gaz par les installations de combustion, gaz d'échappement des engins et des camions, dont les principaux gaz échappés sont les CO, HC, CH4, CO2, NOx, SO2.
- Des émissions de poussières dues au transport de matériaux par les camions ;
- Une dispersion accidentelle de produits chimiques gazeux.
- Sans omettre les COV, PM10 (particules à un diamètre inférieur à 10µm).

Mesures

- Le contrôle et la maintenance réguliers des moteurs d'engins et camions afin de limiter la production de fumées, gaz, ou odeurs désagréables etc.
- Utilisation des engins neufs de préférable.
- Épandage des pistes de circulation et de transport afin d'éviter l'envol des poussières.

Impacts sur les eaux superficielles

- Le nettoyage du matériel de chantier, le lavage des camions et engins de chantier aux bords d'Oued, ainsi que le rejet des déchets solides (déchets ménagers ou déchets de construction de projet…) ou de rejets liquides (sanitaires, ou bien de la base vie) sont à l'origine de la pollution des eaux lors de la phase de construction.

- Une pollution par les déversements des produits chimiques et des hydrocarbures (Fuel, Huiles, graisses…) peut être enregistrée par des effets accidentels, ou par malveillance.
- Une augmentation de la turbidité des eaux de surface par le rejet des eaux de chantiers (chargées en M.E.S) ;
- La modification du régime d'écoulement des eaux de surfaces à cause des mauvais travaux de terrassements, et de remblaiement.

Mesures

- La mise en place de sanitaires raccordés à une fosse étanche à vidange régulier.
- Le nettoyage du matériel de chantier doit être effectué loin des lits d'Oueds ou cours d'eaux.
- Un suivi régulier (analyses physico-chimiques et bactériologiques) des ressources en eau -oueds, puits, forages, nappe phréatique, à proximité du projet (avant, au cours et après réalisation du projet).
- Prévoir un dispositif de traitement des eaux collectées par des fossés revêtus avant leur restitution dans le milieu naturel.
- L'approvisionnement des camions et engins de chantier en carburants doit être effectué dans les stations de services dans la mesure du possible.

Impacts sur les eaux souterraines

- Le fonctionnement des engins lors des travaux nécessite des carburants, des huiles et des graisses, ce qui laisse présager un risque de contamination des eaux souterraines par infiltration lors d'un accident de déversement de ces derniers dans la nature.
- Le rabattement des nappes par pompage qui conduit à un abaissement du niveau des nappes phréatiques ainsi qu'une modification du régime d'écoulement des eaux souterraines.

Mesures

Afin de contrôler cet impact, des relevés du niveau d'eau dans les puits sont effectués avant les travaux, et pendant les terrassements pour suivre les éventuelles variations de hauteur de la nappe.

Impacts négatifs sur le milieu biologique

Impacts sur la flore

Les travaux de chantier peuvent entrainer l'abattage d'un nombre important des pieds d'Arbres, d'Arbustes, et d'autres formations herbacées (céréales, cultures maraichères...etc.) ce qui provoque une réduction du couvert végétal, et une diminution de productivité agricole (environ 14,19 ha de reboisements fruitiers).

Mesures

- Déboisement limité au strict nécessaire
- Le déboisement est strictement interdit dans les zones de forêts protégées
- Prévention des arbres âgés
- Interdiction des zones de dépôts, d'emprunts et des installations de chantier surtout prêt des zones sensibles (cours d'eaux, Oueds, zones humides...)
- Limitation des pistes sur les terres agricoles issues de la circulation des engins.

Impacts sur la faune

Les bruits et les vibrations occasionnés par les engins provoquent un dérangement des faunes sensibles (les mammifères en particulier), ainsi, les terrassements, qui provoquent la destruction et le changement d'habitat naturel de la faune locale.

Mesures

- Protection des habitats naturels de la faune par minimisation dans la mesure du possible de destruction des espaces verts et des reboisements, qui sont de nature, l'habitat de la faune sauvage (avec tous ces genres et espèces).
- Mettre en place une signalisation appropriée aux endroits stratégiques (territoires de colonisation faunistique, de nidification, lieux d'existence des espèces protégées ou menacées de disparition…), afin d'éviter les risques d'atteintes majeurs à la faune locale,

- Prendre les mesures adéquates pour limiter les risques de mortalité de la faune sauvage par collision et écrasement.

Impacts négatifs sur le milieu socio-économique

Ambiance sonore

Les nuisances sonores générées par les travaux sont :

- Les nuisances sonores liées à la présence d'engins de terrassements et au trafic des camions transportant les déblais, les remblais, matériaux et équipements de construction, ces bruits pouvant atteindre plus de 92 dB.
- Le trafic des engins à proximité des zones d'habitats provoque une gêne notable à la population proche de l'emprise du projet.

Mesures

- Pour les nuisances sonores en phase de travaux, la circulation des engins sera limitée, dans des horaires bien définis.
- Les travaux de nuit ne seront effectués qu'en cas d'urgence (rétablissement de routes ou de réseaux).
- Localisation des zones nécessitant installation d'un mur antibruit et mise en œuvre des merlons (buttés de terre végétalisées) Antibruit.
- Entretien régulier des organes silencieux des véhicules.
- Des équipements anti bruit pour les ouvriers si nécessaire.
- L'éloignement des sources sonores des habitations dans la mesure du possible.

Impacts sur les activités agricoles

Les impacts temporaires en phase travaux sont :

- Occupation temporaire et/ou permanente de terrain pour des éventuelles zones de passage, avec pertes de revenus, la destruction de passages et de clôtures, difficultés d'accès éventuels aux parcelles ;
- Envol de poussières suite aux travaux ;
- Allongement des trajets (agriculteurs et troupeaux) suite à des coupures des itinéraires agricoles.

L'impact permanent de cette phase est bien :

- La perte d'environ 120 hectares de terres Agricoles,
- La destruction des cultures céréalières, maraichères et fourragères.
- Morcellement des propriétés agricoles, ce qui provoque une perte et un dérangement pour les agriculteurs.

Mesures

- Les surfaces d'emprise doivent être limitées au strict minimum ;
- Indemnisation des exploitants agricoles ;
- Remise en culture des délaissés.

Sécurité et santé publiques

Le chantier peut présenter plusieurs types de risques pour la sécurité et la santé publiques :

- La fréquentation par des personnes non autorisées dans la zone d'enceinte des travaux peut présenter un danger.
- Le contact glissant pantographe/caténaire : les arcs électriques générés sont une source de pollution. Présence d'un rayonnement radiofréquence.

Mesures

- Les zones de travaux doivent être clôturées.
- Signalisation des sites sensibles et des déviations temporaires.
- L'utilisation d'une bonne signalisation dans les banlieues aide les utilisateurs à éviter les situations dangereuses qui peuvent être mortelles.

Signalisation et electrification

CHAPITRE XIV: SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION

XIV.1 SIGNALISATION

XIV.1.1 INTRODUCTION

La signalisation ferroviaire mise en œuvre aujourd'hui sur les lignes classiques est lumineuse, elle fait usage de panneaux portant un ou plusieurs feux de couleurs, en principe disposés sur un écran noir bordé d'un liseré blanc de forme oblongue ou circulaire. La signalisation lumineuse comporte également des tableaux lumineux ainsi que des tableaux ou pancartes réflectorisées.

XIV.1.2 OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION

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

- L'espacement des circulations pour éviter les rattrapages (cantonnement ou block).
- La protection des circulations dans les établissements (convergence, cisaillement...).
- La circulation, dans les deux sens, sur une même voie (nez à nez).
- Les risques de déraillement par excès de vitesse.
- Le franchissement des voies ferrées par des routes sur un même niveau (passages à niveau).

XIV.1.3 DIFFERENTES FONCTIONS DES SIGNAUX :

Les signaux sont essentiellement utilisés pour assurer les fonctions suivantes :

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

Chacune de ces fonctions comprend habituellement une signalisation d'annonce et une signalisation d'exécution ou de rappel.

XIV.1.4 GENRE ET ETALON DE SIGNALISATION :

Sur les lignes à double voie, la circulation des trains se fait normalement à gauche, les signaux implantés à demeure sont habituellement installés à gauche de la voie à laquelle ils s'adressent ou dans la partie gauche au-dessus de cette voie. Dans certains cas, notamment dans les entre –voies réduites, il peut être fait usage de signaux de type bas installés au ras du sol, La signalisation peut comporter :

- Des tableaux lumineux.
- Des tableaux mécaniques fixes ou effaçables.

- Des tableaux ou pancartes réflectrices
- Des guidons d'arrêt.

Exceptionnellement à certains signaux amovibles par nature (signaux à main), les signaux sont implantés à demeure soit à titre permanent, soit à titre temporaire (signaux de chantier…).

Les signaux implantés à demeure sont dit :

- Fixes, lorsqu'ils présentent un aspect invariable.
- Mobiles, lorsqu'ils présentent aux moins un aspect distincts.

XIV.1.5 IMPLANTATION DES SIGNAUX :

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

Ces distances sont appelées respectivement :

- Distance d'arrêt.
- Distance de ralentissement.

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

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

XIV.1.6 SIGNAUX LUMINEUX :

Tous les signaux seront des signaux de type LED, doivent être visibles à une distance minimum de 1000 mètres.

Les signaux localisés sont situés du côté de la voie du sens de circulation des trains, Ils sont fixés sur des mâts, les mats sont fixés sur une base en béton dont la taille doit être calculée de manière à assurer une très bonne fixation pour tenir compte des conditions climatiques particulières et de la force du vent. Les matériaux utilisés devront de préférence être du type inoxydable, sinon ils devront être traités pour être résistants à la corrosion. Les signaux seront équipés d'écrans de couleur noire entourant les unités lumineuses.

Dans les courbes, des lentilles appropriées doivent permettre d'élargir le rayon lumineux horizontalement.

XIV.1.7 VISIBILITE DES SIGNAUX :

Deux principales conditions concernant la visibilité à partir des cabines de conduite :

- **Visibilité des signaux hauts :**

Les signaux hauts, supposés implantés à droite ou à gauche à 2,42 m de l'axe de la voie, et dont la hauteur est comprise entre 2,800 m et 6,3 m au-dessus du plan de roulement doivent être visibles à une distance supérieure ou égale à 10 m du plan de front des tampons.

- **Visibilité des signaux bas :**

Les signaux bas, supposés implantés à droite ou à gauche, à 1,75 m de l'axe de la voie et à 0,240 m au- dessus du plan de roulement, doivent rester continus –éléments visibles jusqu'à une du front des tampons.

Devis quantitatif et estimatif

CHAPITRE XV: DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

N°des	Désignation des travaux	unité	Quantité	PU(D)	Montant (DA)
1	**INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDES D'EXECUTION**				
1-a	Amenée du matériel et installation générale du chantier	F	1	305 000 000	305 000 000,00
1-b	Repli du matériel et des installations du chantier	F	1	50 000 000	50 000 000,00
1-c	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1	27 500 000	27 500 000,00
Coût total installation de chantier et études d'exécution (DA)					**382 500 000,00**
2	**TERRASSEMENT**				
2	**TERRASSEMENT**				
2-a	Décapage de terre végétale	M3	642542.52	500,00	642 542.52
2-b	Déblai mis en remblai	M3	35691	800,00	28 552 800
2-c	Déblai mis en dépôt	M3	499527	550,00	274 739 850
2-e	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme de 0,35 m ep	M3	53 797.09	1 700,00	91 455 060,00
2-f	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation de 0,18 m ep	M3	26 144.8	3 200,00	83 663 360,00
2-g	Fourniture et mise en œuvre de la couche de s/ballast de 0,20 m ep	M3	27 837.07	3 200,00	89 078 625,00
Coût total des terrassements (DA)					**651 795 598**
3	**TRAVAUX DE LA VOIE**				
3-a	Fourniture et pose ballast (30 cm)	M3	56 243.64	6 800,00	382 456 755,00
3-b	Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60,34 kg/m)	T	2413,6	121 000,00	292 045 600,00
3-c	Pose de voie UIC 60	ML	200 00	6 300,00	126 000 000
3-e	Fourniture d'un branchement d'appareil de voie UIC- 60- 1/12- 500	U	15	14 200 000.00	213 000 000,00
3-f	Pose d'un appareil de voie UIC 60 1/12 500	U	15	620 000,00	9 300 000,00

3-g	Fourniture d'un branchement d'appareil de voie UIC 60- 1/9- 190	U	4	13 800 000.00	55 200 000,00
3-h	Pose d'un appareil de voie UIC 60 1/9 190	U	4	540 000.00	2 160 000,00
3-I	Fourniture des traverses en béton armé (VAX U31).	U	333 40	5 700,00	190 038 000.00
3-J	Fourniture des attachés (Type Nabla) pour rails UIC 60	U	133 360	850 ,00	113 356 000.00
Coût total de Travaux de la voie (DA)				1 383 556 355,00	

4	**ASSAINISSEMENT TRANSVERSAL ET LONGITUDINAL**				
4-a	Fossé trapézoïdaux en béton armé	ML	19372,00	6 200,00	120 106 400,00
4-b	Dalot en béton armé 1(1.5 x 1.5)	M3	54	47 078,00	2 542 212,00
4-c	Dalot en béton armé 3(1.5 x 2)	M3	216	47 080,00	10 169 280,00
4-d	Dalot en béton armé 2(2 x 2)	M3	96	47 082,00	4 519 680,00
4-e	Dalot en béton armé 1(2 x 3)	M3	144	47 084.00	6 780 096,00
4-g	Dalot en béton armé 3(2.5 x 3)	M3	180	47 086,00	8 475 480,00
4-h	Dalot en béton armé 1(3 x 3)	M3	108	47 088,00	5 085 504,00
4-i	Dalot en béton armé 1(3 x 3.5)	M3	252	47 089,00	11 866 428,00
4-j	Dalot en béton armé 1(3x4)	M3	288	47 090.00	13 561 920,00
Coût Total De l'Assainissement Transversal et Longitudinal (DA)				**165 485 080,00**	
5	**OUVRAGES D'ARTS ET GARE**				
5-a	Pont Hydraulique	U	2	20000000	40 000 000,00
5-b	Les Passages Supérieur	U	2	15000000	30 000 000,00
5-d	aménagement des gares				116 100 000.00
	coût total des ouvrages d'art et gare (DA)			**186 100 000,00**	
6	SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION 25 KV/50 HZ				
6-a	SIGNALISATION				90 920 218,00
6-b	ELECTRIFICATION 25 KV/50 HZ	Km	10	42 605 840	426 058 400,00
coût total signalisation et électrification				**516 978 618,00**	

CONCLUSION GENERALE

CHAPITRE XVI: CONCLUSION GENERALE

Ce projet de fin d'étude a été une grande opportunité pour nous afin de mettre en application les connaissances acquises durant tout notre cursus, afin de résoudre des problèmes concrets dans le monde professionnel des infrastructures. Nous avons fait une étude détaillée d'un tronçon d'une nouvelle ligne qui s'intègrera dans le réseau ferroviaire. Cette étude a été guidé par les normes et les spécifications techniques adéquates au domaine ferroviaire, en prenant en considération la sécurité et le confort des usagers en premier point et en second point l'aspect économique, tout en essayant de contourner les différentes contraintes et problèmes rencontrés.

Dans le cadre de ce projet, nous avons eu l'occasion de mieux maîtriser les outils informatiques de calcul et de conception tels que les logiciels : CIVIL 3D, AUTOCAD, GLOBAL MAPPER, TALREN V5 grâce à l'exploitation de ces derniers, nous avons pu arriver à concevoir un meilleur tracé, vu leur traitement rapide et la précision de leur résultats. Il était pour nous d'une part l'occasion de profiter de l'expérience des personnes du domaine qu'on a rencontré lors de notre stage chez l'entreprise de réalisation SARL ARABA et qui ont donné énormément de soutien avec les remarques précises sur le domaine, et d'autre part notre encadreur qui nous a permis d'apprendre une méthodologie rationnelle à suivre pour élaborer un projet complexe des travaux publics.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Jean ALIAS, la voie ferrée technique de construction et d'entretien, Éditions EYROLLES et S N.C.F, 1984.

[2] Philippe Vanden EYNDE, caractéristiques géologique et mécaniques des granulats, classe des sciences techniques Bruxelles, 1983.

[3] E.T. Selig and J.M. Waters, Track Geotechnology and Substructure Management, T.Telford, 1991.

[4] UIC 703R, caractéristiques de tracé des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides, 2éme édition, 1989.

[5] UIC 719R, ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2éme édition, 1994

[6] UIC 714 classification des voies des lignes au point de vue de la maintenance de la voie, 4éme édition, 2009.

[7] Norme Algérienne 17000, 2008.

[8] REFERENTIEL TECHNIQUE SNTF, Chapitre 6 Géométrie de la voie, Version 2, 2005

[9] Référentiel Infrastructure SNCF, Conception du tracé de la voie courante V ≤ 220 km/h, Édition du 12-09-2006, 2006.

[10] XP ENV 13803-1, 2003.

[11] Fascicule II SETRA guide de terrassement routier.

[12] Rapport géotechniques et géologiques de l'étude APD d'El Affroun – Tipaza

[13] Rapport de l'étude hydraulique de l'étude APD d'El Affroun – Tipaza

[14] Gilles SAUSSINE, contribution à la modélisation de granulats tridimensionnels : Application au ballast, thèse de doctorat, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 2004.

[15] Juan Carlos QUEZADA, mécanisme de tassement de ballast et sa variabilité, thèse de doctorat, université de Montpellier, 2012.

[16] Société nationale des transports ferroviaires à l'adresse URL : [http://www.sntf.dz].

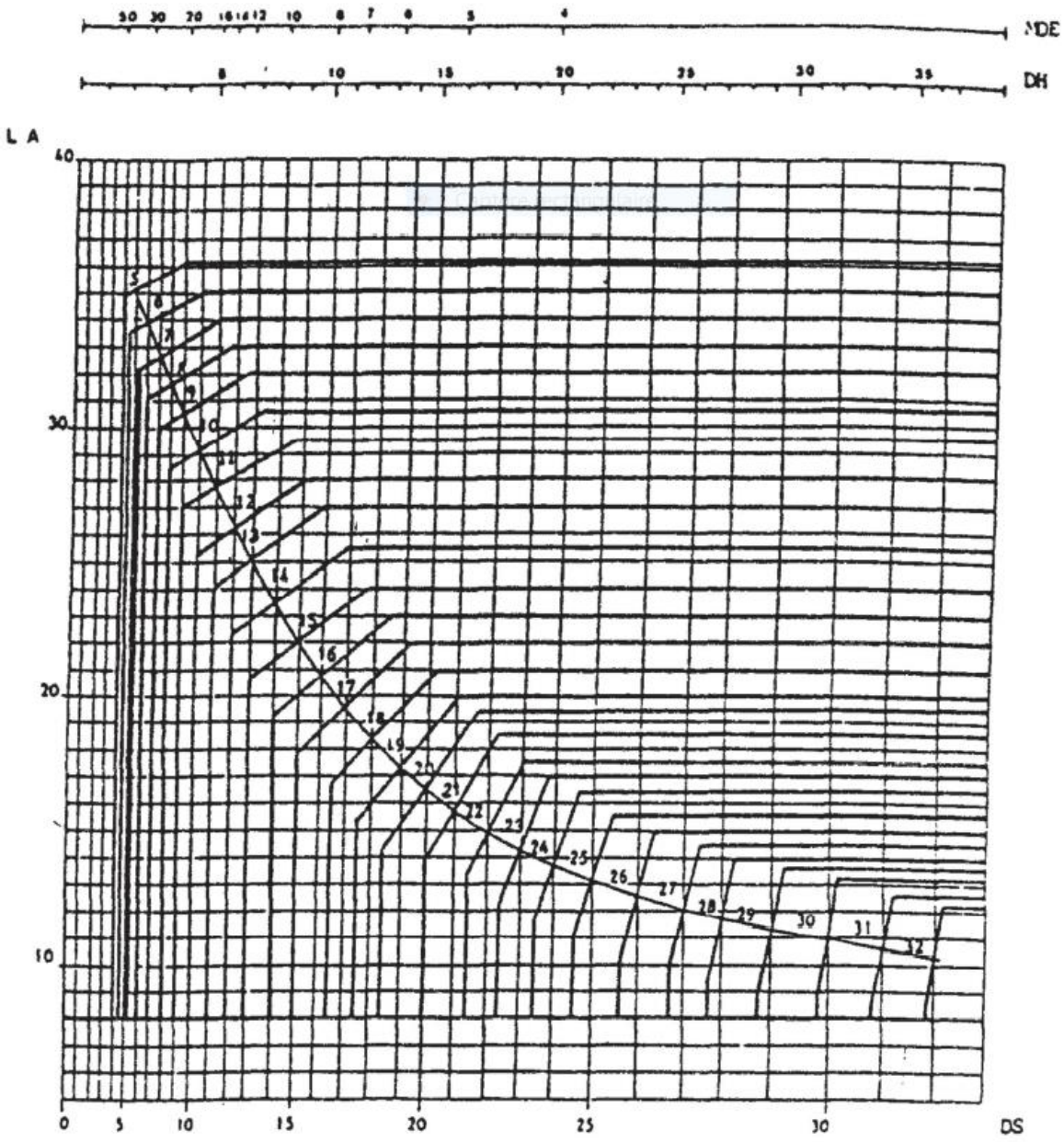
[17] ANESRIF à l'adresse URL : [www.anesrif.dz].

[18] Site officiel de la wilaya de Tipaza à l'adresse URL : [http://www.wilaya-tipaza.dz].

[19] Wikipédia à l'adresse URL : [www.wikipédia.org]

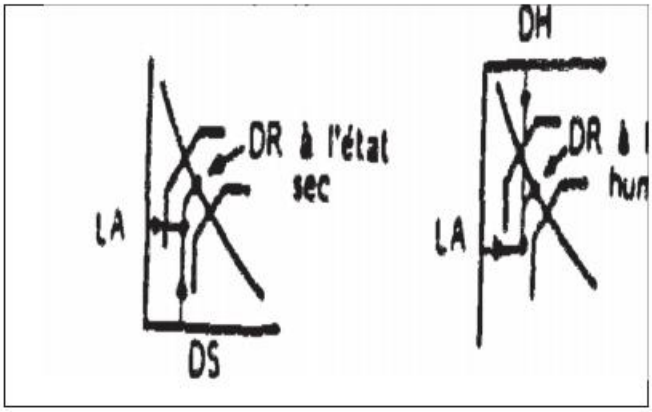
Anexe 1

Le coefficient de dureté générale DR est déterminé à l'aide de l'abaque suivant, qui permet de préciser, une valeur DR à l'état sec DRs, une valeur DR à l'état humide DRh :

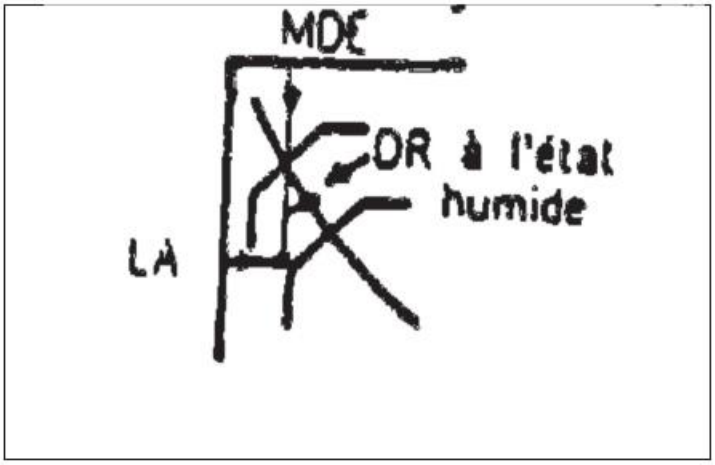

NDE
DH
L A
40
30
20
10
0
5
10
15
20
25
30
DS

Utilisation de l'abaque :

1- cas de ballast :



2- cas se grave de sous-couche :



La dureté d'un granulat s'exprime sous l'appellation " Dureté globale ". L'abaque ci - dessus permet la détermination, pour chaque échantillon prélevé d'un coefficient de dureté DR en fonction :

- De résistance à l'usure (essai DEVAL)

- De fragilité (essai LOS ANGELES) Le coefficient de « dureté globale » DRG est évalué statistiquement

BALLAST (chapitre 9 de SNTF)

Le ballast sera constitué par de la roche concassée d'origine siliceuse, sans contenir de matières organiques expansives, métaux ou plastiques, de dimensions comprises entre 2 et 6 cm, de forme plus ou moins cubique, aux arêtes vives, et provenant de carrières agrées par la SNTF.

Il sera mis en place une épaisseur de ballast de 25 cm pour la voie courante parcourue à grande vitesse, et de 35 cm en tunnels et sur viaducs (au-dessus de la protection du complexe d'étanchéité) La qualité de fabrication sera contrôlée en effectuant les essais sur un échantillon d'au moins 40 kg obtenu, pour qu'il soit le plus représentatif, et après homogénéisation, par 4 prélèvements du quart de 4 échantillons de poids supérieur ou égal à 40 kg.

Les essais seront réalisés avec une fréquence minimum qui dépend de la production annuelle prévue. On pourra effectuer les prélèvements d'échantillons sur les camions chargés et sur les wagons-trémies.

Les essais comprennent les contrôles de granularité, propreté, forme et longueur des matériaux, contrôle de dureté, résistance à la compression simple et résistance à la météorisation.

La granulométrie du ballast devra respecter les limites mentionnées dans la catégorie" An de la Norme Européenne CEN/TC/154 AD HOC Group Aggregates for Railway ballast, conformément au tableau suivant :

CEN/TC-154/SC-4	
MAILLE (mm)	**% de la masse passante**
63	100
50	70-100
40	30-65
31,5	0-25
22,4	0-3
31,5-50	50

La propreté du ballast sera déterminée au moyen des essais d'éléments fins et fines prévus dans la norme Européenne.

La Norme Européenne sur le Ballast prévoit deux essais alternatifs pour déterminer la forme des particules, le coefficient d'aplatissement (Flakiness Index) et l'indice de forme (Shape Index). La longueur des éléments s'évaluera en mesurant à l'aide de calibres et de jauges. La valeur maximum, en pourcentage de poids d'éléments de longueur ≥100 mm dans un échantillon de 40 kg (±100gr), sera inférieure à 4 %.

La résistance à l'érosion s'évaluera avec le coefficient Los Angeles, qui en conformité avec la catégorie « A » de la Norme Européenne sur le Ballast, ne dépassera pas quinze (15) pour cent. Pareillement, la limite inférieure du coefficient Los Angeles sera de neuf (9) pour cent. La roche dont provient le ballast, aura au minimum, une résistance à la compression simple de mille deux cent kilogrammes par centimètre carré (1200 kg/cm2). On réalisera des essais pour déterminer la résistance des agrégats aux conditions météorologiques, selon les méthodes imposées sur les lignes de la SNTF. Le ballast pour voie ferrée ne devra pas contenir de fragments de bois, charbons ou autres matières organiques expansives. Le ballast ne devra pas contenir de métaux ou plastiques.

ANNXE 1

Axe en plan: Axe VF
Description:
Plage d'abscisse : Début: 22+275.00, Fin: 34+648.33

Elem	**Caractéristiques**	**Longueur**	**Abscisse**	**X**	**Y**
			22+275.00	10050.9566	1687.6153
DR1	ANG=397.2939 (g)	1660.790			
			23+935.79	9980.3827	3346.9048
CLO2	A=411.096				
	R=1300.000	130.000			
			24+065.79	9972.6955	3476.6628
ARC3	XC=8678.2540				
	YC=3356.5752				
	R=1300.000	1626.957			
			25+692.75	8970.5526	4623.2881
CLO4	A=411.096				

	R=1300.000	130.000			
			25+822.75	8842.9917	4648.2773
DR5	ANG=311.2544 (g)	344.740			
			26+167.49	8503.6250	4708.9048
CLO6	A=409.878				
	R=1200.000	140.000			
			26+307.49	8365.3753	4730.8383
ARC7	XC=8223.5665				
	YC=3539.2469				
	R=1200.000	226.330			
			26+533.82	8139.4467	4736.2948
CLO8	A=409.878				
	R=1200.000	140.000			
			26+673.82	8000.2993	4721.0608
DR9	ANG=291.8200 (g)	1564.186			
			28+238.00	6449.0079	4520.6300
CLO10	A=411.096				
	R=1300.000	130.000			
			28+368.00	6319.8342	4506.1247
ARC11	XC=6217.9010				
	YC=5802.1222				
	R=1300.000	696.083			
			29+064.08	5644.3153	4635.5035

CLO12	A=411.096				
	R=1300.000	130.000			
			29+194.08	5529.6426	4696.7114
DR13	ANG=332.2739 (g)	601.782			
			29+795.87	5003.5496	4988.8882
CLO14	A=409.878				
	R=1600.000	105.000			
			29+900.87	4911.2083	5038.8583
ARC15	XC=4180.6836				
	YC=3615.3648				
	R=1600.000	710.621			
			30+611.49	4228.6877	5214.6446
CLO16	A=409.878				
	R=1600.000	105.000			
			30+716.49	4123.6962	5215.4984
DR17	ANG=299.8214 (g)	736.017			
			31+452.50	3387.6820	5213.4335
CLO18	A=409.878				
	R=1200.000	140.000			
			31+592.50	3247.7226	5215.7624
ARC19	XC=3314.3218				
	YC=6413.9129				
	R=1200.000	707.085			

			32+299.59	2593.1088	5454.8239
CLO20	A=409.878				
	R=1200.000	140.000			
			32+439.59	2484.5875	5543.2388
DR21	ANG=344.7606 (g)	938.740			
			33+378.33	1768.4772	6150.2132
CLO22	A=409.878				
	R=1600.000	105.000			
			33+483.33	1687.6449	6217.2213
ARC23	XC=693.7086				
	YC=4963.3909				
	R=1600.000	701.045			
			34+184.37	1061.7947	6520.4756
CLO24	A=409.878				
	R=1600.000	105.000			
			34+289.37	959.1120	6542.3893
DR25	ANG=312.6891 (g)	358.956			
			34+648.33	607.2630	6613.4638

Profil en long : Profil en long
Description:
Plage d'abscisse : Début: 22+275.00, Fin: 34+648.33
LONGUEUR DE L'AXE : 12373.330m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			22+275.00	48.804
D1	PENTE= -1.05%	1152.754		
			23+427.75	36.700
ARC1	S= 23+475.00 Z=36.204			
	R= -9000.000	94.495		
			23+522.25	36.204
D2	PENTE= 0.00%	2057.482		
			25+579.73	36.204
ARC2	S= 25+641.90 Z=36.204			
	R= -9000.000	124.341		
			25+704.07	37.063
D3	PENTE= 1.38%	1670.929		
			27+375.00	60.150
D4	PENTE= 1.59%	1746.101		
			29+121.10	87.874
ARC4	S= 29+203.33 Z=89.179			
	R= -9000.000	164.473		

			29+285.57	88.982
D5	PENTE= -0.24%	1764.344		
			31+049.92	84.749
D6	PENTE= -0.90%	2234.630		
			33+284.55	64.637
ARC6	S= 33+325.00 Z=64.273			
	R= -9000.000	80.905		
			33+365.45	64.272
D7	PENTE= -0.00%	1282.876		
			34+648.33	64.259

ANNXE 3

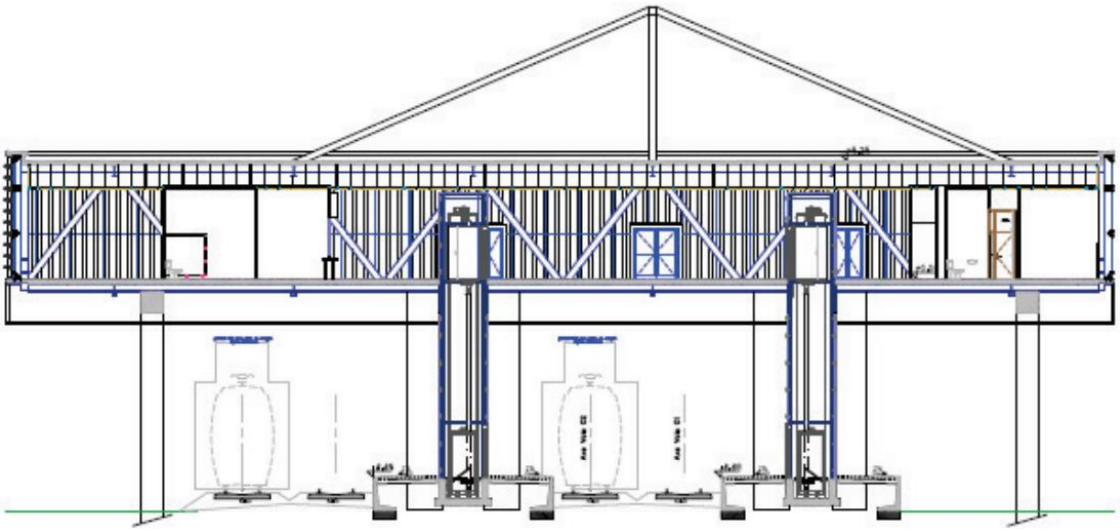


Figure 2. Coupe transversale de la gare

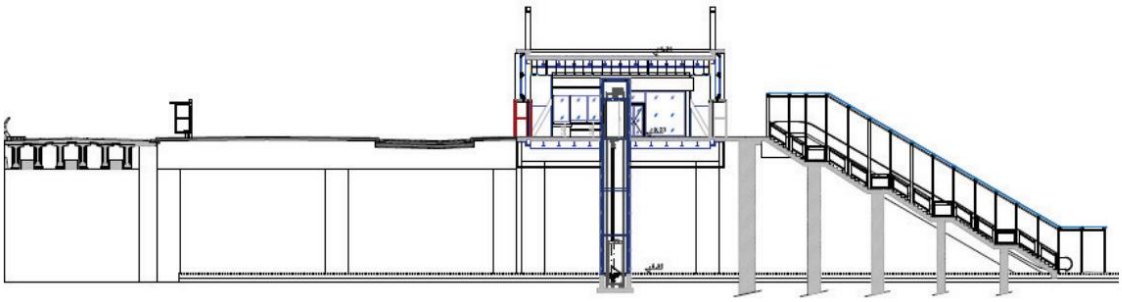


Figure 3 Coupe Longitudinale de la gare

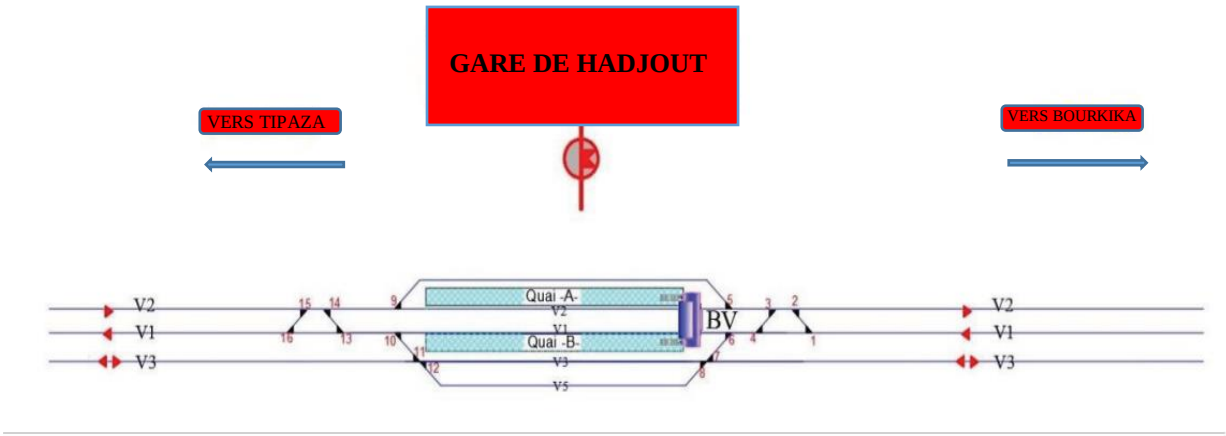


Figure 4 Schéma de Principe de la gare