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 et de Master

Thème

Etude en APD de la nouvelle ligne Ferroviaire à double voie électrifiée à trafic mixte THENIA-BBA « 162 km » du PK 55+000 au PK 70+000 avec la conception de la nouvelle gare de BOUIRA

Présenté par :

LAGAGNA Akram Zineddine

DOUGHECHE Ridha

Encadré par :

HAMADI Kamel

Promotion 2018/2019

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

REMERCIMENT

Ce travail n'aurait jamais vu le jour sans la volonté de Dieu qui nous a offert santé, force, courage, et volonté jusqu'au dernier moment. Nous vous remercient Dieu pour ça et pour tout le reste.

On tient à témoigner nos remercîments à tous ceux qui nous ont aidées et encourager particulièrement à :

Monsieur Hamadi Kamel, Maitre de conférences a ENSTP-Kouba et notre encadreur qui nous a guidés pour obtenir ce travail.

Monsieur Djaafer Khodja Moloud, ingénieur TP. Pour son intérêt, qu'il a apporté à ce travail, ses précieuses remarques et ses con conseils bien prodigués qui nous ont permis de mener à bien ce travail qu'il soit assuré de notre reconnaissance et notre respect indéfectible.

Madame Khaouas, enseignante à ENSTP-Kouba. Pour avoir bien voulu accepter et nous lui sommes très reconnaissants de nous avoir aidé, pour aboutir à ce travail.

Nous remercions tous les enseignants de l'ENSTP et EPST-TLEMCEN qui nous ont formés durant notre cursus.

Nous remercions aussi tous nos amis formidables que nous avons eu la chance de rencontrer et nous leur souhaitons tous le bonheur du monde.

A tous ceux qui ont contribués de près et de loin à l'élaboration de ce mémoire

AKRAM et RIDHA

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A ma très chère mère

Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager. Puisse dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longueur vie et bonheur.

A mon cher père

Je prie le dieu de te bénir, de veiller sur toi, en espérant que tu sois toujours fier de moi

A tous mes chères frères : Mouhamed et Mourad

A mes sœurs : Sihem et Jouhaina

A toute ma famille : Dougheche, Chaaa

Je remercie également tous les enseignants l'ENSTP sans exceptions, qui ont contribué notre formation et à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin dans l'achèvement de ce travail.

A tous mes amis et mes collègues : Spécialement mon binôme Akram Yakoub, Zinou, Bey, Ishak, Djamel, Oussama, Lotfi, Shaq'eeb, Rafik, Yasser, Houssem, Ouabed, Nafaa

Enfin, un grand merci à tous mes amis de l'ENSTP pour les bons moments passés. Et tous ceux qui m'ont apporté l'aide et soutien durant ces année de formation.

Dougheche Ridha

DEDICACE

Je dédie ce travail à mes très chers parents, à qui je dois tout et qui ont fait de moi celle que je suis, ce travail est le fruit des sacrifices qu'ils ont consentis pour mon éducation et ma formation. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

A mes chers frères, Hakim et sa femme et ses fils, Abd errahmen, Hamza et chefa et ses fille, a Sofiane

A mes très chers sœurs, Samira, Moucha ; et ses fils, Rayan, Abd el jalil, Maria, Tasnim, Mohamed, Anes et Wassim .A ma deuxième cher mère Daloula

A mon binôme et ami ridha, a mes amis, Rami, Ridha lalioui, Fares , Yasser, Ridha abiza, Houssem chelghoum et Liani, didine ,Yahia, et a tous mes amis

A toute la famille LAGAGNA et BENZADI.

Je dédie ce mémoire

AKRAM

ملخص

هذا المشروع يتمثل أساسا في دراسة التصميم التفصيلي لمقطع من خط السكة الحديدية الجديد المكهرب ثنائي الممر بين الثنية وبرج بوعريريج وهذا بين النقطة الكيلومترية 55+000 والنقطة الكيلومترية 70+000 بطول 15 كم بالإضافة إلى تصميم محطة البويرة.

صمم هذا المشروع بناءا على معايير وتوصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكة الحديدية (SNTF) والاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC)وقد تم تنفيذ النمذجة الهندسية للمشروع باستخدام برنامج CIVIL 3.

Résumé

Le présent projet consiste essentiellement à l'étude d'avant-projet détaillé (A.P.D) d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire électrifiée à double voies Thénia- Bordj Bou Arreridj, et ce Du pk 55+000 au pk 70+000, pour un linéaire de 15 Km, notre projet s'étale aussi à la conception de la gare de Bouira.

L'identification des caractéristiques techniques les plus appropriées de la ligne ferroviaire projetée sera basée sur les normes ainsi que les recommandations ainsi qui sont suivies par la société nationale des transports des chemins de fer (SNTF) et l'union internationale des chemins de fer (UIC). La modélisation géométrique du projet a été exécutée à l'aide du logiciel CIVIL 3D.

Abstract

The present project consists essentially of the detailed design study of a section of the new electrified railway line connecting Thénia-Bordj Bou Arreridj, this section which is from pk 55 + 000 to the pk 70 + 000, for a linear of 15 km, our project also extends to the design of Bouira station.

The identification of the most appropriate technical characteristics of the proposed railway line will be based on the standards and the recommendations that are followed by the National Railway Transports System (SNTF) and the International Union of Railways (UIC). The geometric modeling of the project was executed using CIVIL 3D software.

LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS

Symbole	Désignation	Unité
R	Rayon de raccordement circulaire	m
Rmin	Rayon minimal	m
Lmin	Longueur minimale de l'alignement droit	m
dmax	Dévers maximum	mm
I	Insuffisance de dévers	mm
Imax	Insuffisance de dévers maximal	mm
E	Excès de dévers	mm
Emax	Excès de dévers maximal	mm
dv	Dévers théorique	mm
L	Longueur de la courbe de transition	m
dp	Dévers pratique	mm
C	Coefficient de dévers	-
L_{RP}	Longueur du clotoïde	m
A	Paramètre de clotoïde	m
R_{vmin}	Rayon verticale minimal	m
dd/dl	Variation de dévers en fonction de la longueur	-
dI/dt	Variation d'insuffisance de dévers	-
dd/dt	Variation de dévers en fonction du temps	-
Rp	Résistance de pointe	-
WP	Limite de plasticité	-
WL	Limite de liquidité	-
IP	Indice de plasticité	-
Ic	Indice de consistance	-
γ h	Poids volumique humide	t/m³
γ d	Poids volumique sec	t/m
Sr	Degré de saturation	-
ω	Teneur en eau naturel	-
Rc	Résistance à la compression	Mpa
C'	Cohésion fictive du sol	Kpa
ϕ'	Angle de frottement fictif	°
ES	Equivalent de sable	cm
A	Superficie du bassin versant	ha
Qa	Débit d'apport	m³/s
Qs	Débit de saturation	m³/s
DN	Diamètre nominale	m³/s
Cr	Coefficient de ruissèlement	-
I	Intensité de la pluie	mm/h
T	Période de retour de l'averse	ans
Tc	Temps de concentration	h
Sm	Section mouillée	m²
Kst	Coefficient de rugosité	-
Rh	Rayon hydraulique	m
P	Pente moyenne du bassin versant	-

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

Abréviation Désignation

APD Avant-Projet Détaillé.
LRS Long Rail Soudé.
BV Bassin versant.
PU puits de reconnaissance.
S sondage carotté.
PD Essai de pénétration dynamique type B.
QSi Classe du sol (UIC).
Pi Classe de la plateforme.

SOMMAIRE

Introduction générale……..1

CHAPITRE I : Recherche bibliographique sur la stabilité des longs rails soudés

I.1 Introduction..... 2
I.2 Les longs rails soudés LRS..... 2
I.3 Stabilite des lrs..... 3
I.3.1 Stabilité dans le plan vertical..... 3
I.3.2 Stabilité dans le Plan horizontal..... 3
I.3.2.1 Stabilité thermique..... 3
I.3.2.2 équilibre statique..... 4
I.3.2.3 Opposition à l'effort de dilatation..... 5
I.4 Comportement de la voie en longs rails soudés (LRS) sous la variation de la température. 7
I.4.1 Une première variation de température..... 8
I.4.2 Deuxième variation de température..... 8
I.4.2.1 Zone neutre..... 9
I.4.2.2 Zone de respiration..... 9
I.4.2.1 Calcul du déplacement de l'extrémité de la barre..... 10
I.4.3 Conclusion..... 11
I.5 Solution pour limitér les risques d'instabilité dand les L.R.S..... 12
I.5.1 A la pose des L.R.S..... 12
I.5.1 A l'exploitation..... 12
I.6 Conclusion generale..... 13

CHAPITRE II : Présentation du projet

II.1.Introduction..... 14
II.2.Description globale du projet..... 14
II.3.Localisation du projet..... 15
II.5.Objectifs du projet..... 17
II.6.Presentation de la wilaya de bouira..... 17
II.6.1.Démographie..... 18
II.6.2.Relief..... 18

II.6.3.Histoire 18
II.6.4.Climat 18
II.6.5.Sismicité 19
II.7.Donnees du projet 19
II.8.Conclusion 20

CHAPITRE III : Etude géométrique

III.1 Introduction 21
III.2 Critere de limitation des paramètres géomètrique 21
III.3 Categorie du trafic 21
III.4 Tracé en plan 21
III.4.1 Conditions et règles du tracé en plan 21
III.4.2 Eléments de tracé en plan 22
III.4.3 Les conditions de raccordement 23
III.4.4 Paramètres de conception de la voie 24
III.4.4.1 Le rayon minimal d'alignement circulaire 24
III.4.4.2 Dévers 24
III.4.4.3 Insuffisance de dévers (I) 26
III.4.4.4 Excès de dévers (E) 26
III.4.4.5 Variation des dévers dans les courbes de transition Dd/Dl 27
III.4.4.6 Variation des dévers dans le temps Dd/Dt 27
III.4.4.7 Variation de l'insuffisance de devers dans le temps DI/Dt 28
III.4.4.8 Les doucines 28
III.4.4.9 Longueur de la courbe de raccordement 28
III.4.4.10 Longueur des éléments du tracé 29
III.4.5 Application au projet 29
III.4.6 Calcul du paramètre de clothoïde 30
III.5 Calcul d'axe 30
III.6 Profil en long 34
III.6.1 Définition 34
III.6.2 Eléments géométriques du profil en long 34
III.6.3 Règles à respecter dans le tracé du profil en long 34
III.6.4 Déclivité maximale 35
III.6.5 Déclivité fictive 36

III.6.6 Rayon admissible en raccordements de profil en long 36
III.6.7 Longueur des éléments en long 37
III.6.8 Coordination du tracé en plan et du profil en long 37
Remarque : 38
III.7 Calcul des éléments de profil en long 38
IV.7.1 Exemple de calcul 38
III.8.Profil en travers 40
III.8.1.Definition 40
III.8.2.Les éléments du profil en travers 40

CHAPITRE IV : Etude géotechnique

IV-1-Introduction 41
IV-2-Campagne geotechnique 41
IV-2-1-Puits de reconnaissances 41
IV-2-2-Sondages carottés 41
IV-2-3-Essais au laboratoire 41
IV-2-3-1-Les essais d'identification : 41
IV-2-3-2-Les essais mécaniques : 42
IV-3-Unités Géotechnique 42
IV-3-1-Argile limoneuse quaternaire « ARQ » : 42
IV-3-2-Miocène inférieur marneux argileux « MI » 44
IV-3-3-Alluvions et conglomérats du plateau miocène « AC » 45
IV-4-Classification du sol support 47
IV-5-Gites d'emprunt : 48
IV-6-Conclusion :.....49

CHAPITRE V : constituants de la voie

V-1-Introduction 50
V-2- La voie 50
V-3-Les éléments constitutifs de la superstructure DE LA VOIE 50
V-3-1-Le rail 51
V-3-1-1-Rail Vignole 52

V-3-1-2-Assemblage des rails..... 52
V-3-2-Les traverses 54
V-3-3-Les Accessoires De Pose 56
V-3-3-1-La semelle..... 57
V-3-3-2-Les attaches..... 57
V-3-4-Le ballast..... 58
V-4-Les appareils de voie 58
V-5-conclusion..... 62

CHAPITRE VI : Terrassements et assise de voie

VI-1-Introduction 63
VI-2-Terassements 63
VI-2-1-Pentes de talus 63
VI.2.2.Déblais..... 63
VI.2.3.Remblais..... 63
VI.2.4-Réutilisation des sols en remblais 66
VI.3.Couche d'assise..... 67
VI-3-1-Ballast..... 67
VI-3-2-Sous couche..... 67
VI-4-Plate-forme 67
VI.5.Epaisseurs de couche d'assise « ballast + sous-couche » 68
VI.6.Cubatures 71
VI.7.Conclusion 71

CHAPITRE VII : Calcul hydraulique et assainissement

VII.1 INTRODUCTION..... 72
VII.2 PRESENTATION HYDROLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE..... 72
VII.2.1 Présentation générale du réseau hydrographique..... 72
VII.2.2 Le climat 72
VII.2.3 Précipitations..... 73
VII.2.4 Pluies annuelles..... 74
VII.2.5 Pluies journalières..... 74

VII.2.6 Caractéristique des bassins versants 74
VII.3 ETUDE HYDRAULIQUE DE LA ZONE 76
VII.3.1 Temps de concentration 76
VII.3.2 Intensité maximale des précipitations 76
VIII.3.3 calcule des débits d'apport 77
VIII.3.3.1 Méthode rationnelle 77
VII.4 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES 78
VII.4.1 Critères de dimensionnement 78
VII.4.2 Débit de saturation (Qs) 79
VII.4.3 Dimensionnement des dalots 79
VII.4.4 Dimensionnement des buses 80
VII.4.5 Vérification conditions d'auto curage 80
VII.4.6 Dimensionnement des fossés 81
VIII.5 Conclusion 83

CHAPITRE VIII : Conception des ouvrages d'arts

VIII.1 Introduction 84
VIII.2 Ponts ferroviaires 84
VIII.2.1 Introduction 84
VIII.2.2 Etude de cas 84
VIII.3 Croisement avec une route 86
VIII.4 Tunnel 87
VIII.5 Tranchée couverte 87
VIII.6 Conclusion 88

CHAPITRE IX : Conception de la gare

IX.1 Introduction 89
IX.2 Installations d'une gare voyageurs 89
IX.3 Réseau de voie 89
IX.3.1 Garage franc 89
IX.3.2 Le heurtoir 90

IX.3.3 La longueur utile d'une voie de stationnement 90
IX.3.4 La marge de glissement à l'aval des signaux 91
IX.3.5 Les évitements 91
IX.4 La gare de Bouira 91
IX.4.1 Localisation de la gare 91
IX.4.2 Caractéristique géométrique de la gare 92
IX.4.2.1 Les quais 92
IX.4.2.2 l'entraxe entre les voies 93
IX.4.2.3 Distance minimum entre l'axe de la voie et l'obstacle 93
IX.4.2.4 La longueur utile de stationnement 93
IX.4.2.5 Longueur de garage de franc 93
IX.4.2.6 Implantation des appareils de voie 93
IX.4.2.7 Les appareils de voie 94
IX.4.2.8 La passerelle 95
IX.4.3 Description du plan des voies et d'installation 95
IX.4.4 Assainissement de la gare 96
IX.4.5 profil en travers de la gare 98
IX.5Conclusion :……..…….98

CHAPITRE X : Devis estimatif et quantitatif

X.1 Devis estimatif et quantitatif…….99

Liste des figures

Figure I.1 Déformée verticale d'une poutre infinie sur sol élastique 3
Figure I.2 L'équilibre thermique d'un rail [3] 4
Figure I.3 Opposition des efforts (résistance du ballast et dilatation) [3] 5
Figure I.4 Contraintes du aux ballaste [8] 5
Figure I.5 Répartition des contraintes dans le rail 6
Figure I.6 Variation de force dans la barre [3] 6
Figure I.7 l'évolution des contraintes dans un long [4] 6
Figure I.8 La première variation de température [6] 8
Figure I.9 Représentation graphique de déplacement de l'extrémité d'une barre libre [6] 8
Figure I.10 Diagramme d'effort (deuxième variation de température) [6] 9
Figure I.11 Diagramme d'effort (deuxième variation de température) point B C et D [6] 9
Figure I.12 Diagramme d'effort (deuxième variation de température) point 0 et D [6] 10
Figure I.13 Déplacement de la barre pour la deuxième variation de température [6] 11
Figure I.14 L'utilisation des rouleaux pour libérer les contraintes 12
Figure II. 1. Les grands axes du plan de modernisation du rail en Algérie 13
Figure II. 2. Vue globale sur la position du projet 14
Figure II. 3. Vue satellitaire du tracé 15
Figure II. 4. Vue satellitaire du secteur du tracé concerné par l'étude 15
Figure II. 5. Carte de la Wilaya de Bouira et ses frontières 16
Figure II. 6. Diagramme de précipitation de Bouira «meteovista.be » 17
Figure II. 7. Zones sismiques en Algérie 18
Figure IV.1 les éléments de trace en plan 23
Figure III.4 Elément de clothoïde 31
Figure III.5 Rampe maximale admissible [2] 35
Figure III.6 éléments de raccordement 38
Figure III. 7. Constituants du profil en travers 40
Figure IV.1. Argile limoneuse quaternair 43
Figure IV.2. Miocène inférieur marneux argileux MI 44
Figure IV. 3. Alluvions et conglomérats du plateau miocène AC 46
Figure IV. 4. Gite d'emprunt n° 1 48
Figure IV. 5. Gite d'emprunt n° 2 48
Figure V. 1. Constituants de la superstructure de voie ferrée 50
Figure V. 2. Rail à gorge et rail Vignole 51
Figure V. 3. Rail à double bourrelet 51
Figure V. 4. Nomenclature d'un rail Vignole 52
Figure V. 5. Assemblage du rail par une éclisse 53
Figure V. 6. Constituant de l'éclisse 53
Figure V. 7. Assemblage du rail par soudure des LRS 54
Figure V. 8. Traverse en bois 55
Figure V. 9. Traverse métallique 55
Figure V. 10. Traverse monobloc en béton précontraint 56
Figure V. 11. Traverse bi-bloc 56
Figure V. 12. Attache élastique Nabla 57
Figure V. 13. Attache élastique E-Clip 57
Figure V. 14. Liaison rail-traverse 58
Figure V. 15. Appareil de voie type branchement simple 59
Figure V. 16. Appareil de voie type traversée simple 59
Figure V. 17. Formes des appareils de voie 60
Figure V. 18. Profil de rail 60 E1 61
Figure V. 19. Traverse bi-bloc VAX U31 62
Figure V. 20. Traverses monobloc 62
FigureVII.1 Communes affectes pour les alternatives de couloirs 72

Figure VII.2 graphe des températures moyennes mensuelles et annuelles (C°) de la station de Bouira 73
Figure VII.3 oued Edhous 75
Figure VII.5 Schéma de buse 80
Figure VI.4 fosse trapézoïdale. 82
FigureVIII.1 Une coupe transversale du pont rail [19] 85
Figure VIII.2 pont rail vue 3D 86
Figure VIII.3 Section type d'un tunnel monotube 87
Figure VIII.4 Section type parois moulées ou pieux [18] 88
Figure VIII.5 Section type faux tunnel..... 88
Figure IX.1 garage franc 89
Figure IX.2 Heurtoir..... 90
Figure IX.3 longueur utile d'une voie 90
Figure IV.4 schéma d'évitement 91
Figure IX.5 Emplacement de la nouvelle gare voyageurs de Bouira 92
Figure IX.6 appareil de voie 1/12 [22]..... 94
Figure IX.7 Schémas d'implantation d'appareil de voie 1/12..... 94
Figure IX.8 les dimensions du passage sous-terraine dans la gare [13]..... 95
Figure IX.9 Gare de Bouira vue en plan 96
Figure IX.10 Drain collecteur [14]..... 97
Figure IX.11 Un drain [14] 97
Figure IX.12 coupe de profil en travers type de la gare de Bouira 98

Liste des tableaux

Tableau III.1 valeurs maximales des dévers..... 25
Tableau III.2 valeurs maximales admissible des insuffisances de dévers [2] 26
Tableau III.3 valeurs maximales admissible des excès de dévers [2] 26
Tableau III.4 valeurs admissibles de la variation de dévers [2] 27
Tableau III.5 taux de variation de dévers en fonction du temps [2]..... 27
Tableau III.6 taux de variation de l'insuffisance de dévers [2]..... 28
Tableau III.7 longueur minimal des éléments en plan [17]..... 29
Tableau III.7 Valeurs normales des caractéristiques des différentes courbes 30
Tableau III.8 Valeurs de rayon de raccordement en profil en long (courbe circulaire) [2]..... 36
Tableau III.9 longueur minimales des élément du profil en long [2]..... 37
Tableau IV.1. Tableau récapitulatif des résultats d'essais Unité Argile limoneuse quaternaire (ARQ)..... 43
Tableau IV. 2. Tableau récapitulatif des résultats d'essais Unité Miocène inférieur marneux argileux MI. 45
Tableau IV.3. Tableau récapitulatif des résultats d'essais Alluvions et conglomérats du plateau…..
miocène AC..... 46
Tableau IV.4. Tableau récapitulatif des résultats de classification des unités géotechniques..... 47
Tableau IV. 5. Récapitulatif sur l'étude géotechnique et les classements UIC obtenus 49
Tableau V. 1. Caractéristiques du Rail 60 E1 61
Tableau V. 2. Caractéristiques des composantes adoptées 62
Tableau VI. 1. Facteurs de sécurité cas d'un déblai..... 64
Tableau VI. 2. Paramètres des couches du remblai..... 65
Tableau VI. 3. Facteurs de sécurité cas d'un remblai 66
Tableau VI. 4. Les épaisseurs des couches de formes selon les classes des sols et portances envisagés [6] 68
Tableau VI. 5. Paramètres de classification de couche d'assise..... 70
Tableau VI. 6. Volume de terrassements et des couches de la voie..... 71
Tableau VII.1 les températures moyennes mensuelles et annuelles (C°) de la station de Bouira [14]..... 73
Tableau VII.2 les caractéristiques statistiques de la pluviométrie [14]..... 74
Tableau VII.3. Précipitations annuelles [14]..... 74
Tableau VII.3 Précipitations journalière [14]..... 74
Tableau VII.4 Les débits des différentes périodes d'oued Edhous [14]..... 75

Tableau VII.5 les caractéristiques des bassins versants de la zone d'étude 75
Tableau VII.6 formules des temps de concentrations 76
Tableau VII.7 les valeurs des paramètres de Montana [14] 77
Tableau VII.8 coefficient C [10] 77
Tableau VII.9 calcule débit d'apport 78
Tableau VII.10 valeur du coefficient Ks [10] 79
Tableau VII.11 calcule débits de saturation 80
Tableau VII.12 vérification conditions d'auto curage 81
Tableau VII.13 Critères de dimensionnement 82
Tableau VII.14 débit des fossés à choisir 82
Tableau VII.15 Calcul des débits rapportés 83
Tableau VIII.1 des ouvrages conçu pour le traçant 85
Tableau VIII.2 dimensions et localisation des passages supérieur 86
Tableau IX.1 Les caractéristiques géométriques du quai 92
Tableau IX.2 critère de conception des collecteurs [4] 98
Tableau X.1 Devis quantitatif et estimatif 99

INTRODUCTION GENERALE

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

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

En Algérie, les secteurs des transports connaissent une véritable mutation. Un grand nombre de projets ont été réalisés où sont en phase de réalisation, afin de rendre ces secteurs plus performant et plus efficace dans ses contributions dans le développement économique du pays. Parmi ces secteurs on trouve le secteur du transport ferroviaire qui a connu un développement remarquable dans les dernières années.

Le réseau des chemins de fer algérien est aujourd'hui parmi les plus modernes d'Afrique. Il fait son apparition à la fin du XIXe siècle, il sert au transport de personnes et de marchandises ; aussi pour un but de désenclaver les régions éloignées du pays et d'assurer une croissance économique et sociale équilibrée.

Parmi ces projets on compte la nouvelle ligne ferroviaire à double voie à trafic mixte « Voyageurs, Marchandises » électrifiée reliant la wilaya de Boumerdes à partir de la ville Thénia PK 0 et la wilaya de Bordj Bou Arreridj « BBA » sur un linéaire de 162 km.

Notre présent projet de fin étude consiste à faire une étude avant-projet détaillé « APD » d'un tronçon de cette nouvelle ligne situé dans la wilaya de Bouira sur linéaire de 15km allant de PK 55+000 jusqu'à PK 70+000 vers BBA ; avec la conception de la nouvelle gare de voyageurs à Bouira implantée du PK 56+475 jusqu'à PK 58+150.

Ce travail est structuré on dix chapitres comme suit.

Dans le premier chapitre qui concerne le sujet de master nous avons élaboré une recherche bibliographique sur les longs rails soudés et leurs stabilités.

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

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

Et pour finir une conclusion générale sur le travail effectué.

CHAPITRE I

Recherche bibliographique sur la Stabilité des L.R.S

Bibliographie Chapitre I

La stabilité des longs rails soudés

[1] Infrabel, *Paramètres géométriques et tolérances de la voie courante et des appareils de voie*, Bruxelles, Division I-AM.32, 2017.

[2] Jean Alias, *La voie ferrée, Techniques de construction et d'entretien*, 1984 2ème édition.

[3] Si Hai Mai, *Etude de dégradation des voies ferrées urbaines*.

[4] Matthieu LEZAACK, *Incorporation des appareils de voie dans les longs rails* soudés, Université Catholique de Louvain, 2017.

[5]Modélisation dynamique de la voie – Logiciel Vocolin, IFSTTAR, Décembre 2010

[6] I. Mouallif a, A. Chouaf, a. A. El amri and A. Benali, (2011) "*Effects of alumino-thermic welding defects on the rails mechanical behavior*", Mécanique & Industries / Volume 12 / Issue 05 / January, pp 343-351.

[7] IN2915 *Conditions d'armement et de trace pour la création de LRS* , SNCF.

[8] Documentaire SNCF.

I.1 INTRODUCTION

Les exigences de confort et de sécurité pour la voie ont également évolué. Ainsi que les exigences sur la qualité du roulement. Cependant, l'augmentation des sollicitations de la voie, dues à des vitesses et à des charges plus élevées sous la variation de température, engendrent une dégradation plus rapide de l'état géométrique et une usure accélérée des composants de la voie.

Un défaut de rectitude des rails hors tolérance peut directement influencer la sécurité et le confort des usagers, c'est pourquoi il faut bien positionner les rails, respecter l'intervalle de température et aussi le serrage des traverse d'une façon correcte pour permettre aux rails de fonctionner librement sans déformations.

Ce présent chapitre est une synthèse sur la stabilité des longs rails soudés, dans laquelle on va s'intéresser plus spécifiquement aux stabilités des rails vis à vis la variation de température.

I.2 LES LONGS RAILS SOUDES LRS

Les longs rails soudés (L.R.S) appelés aussi « barres longues », constituent une méthode moderne de pose des voies ferrées qui présente l'intérêt de supprimer la plupart des joints de rails sur des longueurs importantes.

➢ Avantage des L.R.S

Les LRS présentent deux principaux avantages, qui sont la conséquence de la suppression des joints éclissés :

- une réduction des coûts d'entretien de la voie ;
- une meilleure qualité de roulement et plus grand confort pour les voyageurs.

➢ Inconvénients

Les inconvénients, largement compensés par les avantages, sont :

- Une technicité complexe dans la mise en œuvre et dans leur l'entretien, nécessite un personnel qualifié et bien formé.
- Un risque de déformation par flambement de la voie, sous les contraintes de compression excessives de la Soudure aluminothermique entre deux barres de rails soudés lors de périodes de très fortes chaleurs (mais ce risque existe aussi en barres normales).
- Cette compression sous températures élevées entraîne également des risques de déformations lors de travaux effectués sur les rails, le ballast ou les attaches durant les saisons chaudes. Pour cette raison, sauf à prendre des précautions particulières comme par exemple une limitation de la vitesse, on n'entreprend pas de travaux en été sur des voies en LRS.
- Un risque accru par rapport aux barres normales de rupture de rail lors des périodes de grand froid du fait de la tension régnant dans les barres.
- Une utilisation de quantités de ballast plus importantes afin de mieux ancrer les traverses.

La pose des L.R.S nécessite une connaissance précise des phénomènes de stabilité qui se produisent dans des barres dont la compression peut atteindre et dépasser une centaine de tonnes. Les multiples expériences effectuées ont permis d'avoir une connaissance complète des phénomènes de dilatation et de stabilité des LRS.

I.3 STABILITE DES LRS

I.3.1 Stabilité dans le plan vertical

A titre d'exemple dans cette section on analyse la réponse d'un rail infini soumis à un chargement concentré d'amplitude Q. Les développements qui suivent sont inspirés de l'ouvrage réalisé par Infrabel et intitulé stabilité de la voie. Ce travail réalisé par Infrabel est repris dans les références à la fin de ce chapitre[1].

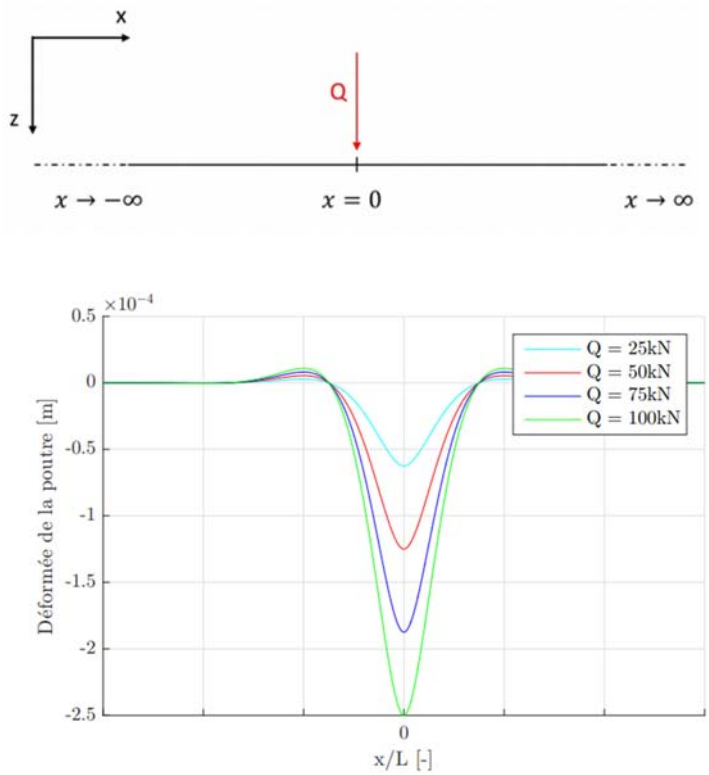


Figure I.1 Déformée verticale d'une poutre infinie sur sol élastique

La figure I.1 représente la déformation z(x) de la poutre lorsque différentes charges ponctuelles sont appliquées. On remarque que théoriquement la voie se soulève et atteint un sommet d'un ordre de 10^{-5}m valeur petite. Ce phénomène est évidemment purement théorique, car en pratique le poids propre de la voie empêche le soulèvement de celle-ci[1].

La géométrie en I du rail offre une inertie beaucoup plus importante dans le sens vertical que dans le sens latéral, en empêchant le flambement vertical [2].

I.3.2 Stabilité dans le Plan horizontal

- **Stabilité thermique**

Lorsqu'une barre est posée sur rouleaux, libre de toute attache, elle peut se dilater ou se contracter librement. La barre est dite : "en dilatation libre" et ses variations de longueur sont

proportionnelles aux variations de température qu'elle subit. La loi générale de dilatation qui s'applique à cet état de libre dilatation est [3] :

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

- ΔL : variation de longueur
- L : longueur de la barre
- α : coefficient de dilatation linéaire $10{,}5.10^{-6}$ m/m°C pour l'acier à rail (de l'ordre de 10.10^{-7} pour l'invar, alliage de cuivre et de nickel)
- Δt : Variation de la température du rail
- t° : Température mesurée dans le rail et non température ambiante

Exemple : pour une barre de 400 m : $\Delta t = 20°$ $\Delta L = 84$ mm, $\Delta t = 40°$ ΔL

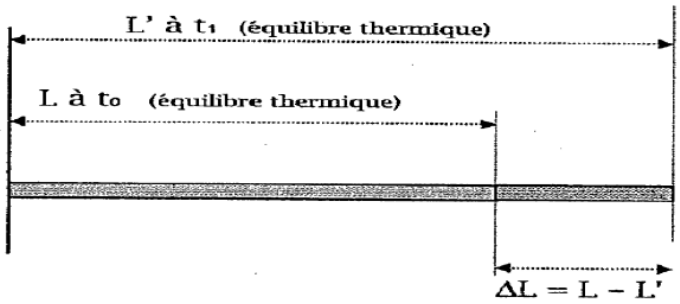


Figure I.2 L'équilibre thermique d'un rail [3]

On dit aussi que dans cet état la barre est en **"équilibre thermique"** quelle que soit la température ; seule sa longueur varie, (voir figure I.2), les contraintes internes restent nulles

- **équilibre statique**

S'opposer à l'allongement de la barre revient à exercer sur elle une force de sens opposé donnant une déformation égale à celle produite par l'allongement en appelle la situation un équilibre statique. La déformation est donnée par la loi de Hooke ($F/S = E \times \varepsilon = \Delta L/L \times E$ résistance des matériaux) [3]

$$\Delta L = \frac{Fr.L}{ES}$$

Pour une force donnée, la variation de longueur est proportionnelle à la longueur de la barre et inversement proportionnelle à sa section.

Ainsi, pour obtenir l'opposition complète à la dilatation, telle que souhaitée pour la constitution d'un L.R.S., il faut que les deux formules précédentes soient égales [3]:

$$\frac{Fr.L}{ES} = L\alpha\Delta t$$

L'effort dans la barre dû à la dilatation sera donc : $Fr = ES\alpha\Delta t$

On notera avec intérêt que la force est indépendante de la longueur de la barre, elle ne dépend que de la section et de la variation de température.

- Lors de la libre dilatation, la barre est en **"état d'équilibre thermique"** et la contrainte est nulle.
- Lorsque l'on s'oppose à la dilatation de la barre, une force F apparaît dans celle-ci, la barre passe de l'état d'équilibre thermique, à un état d'équilibre statique. Cet équilibre s'établit entre les forces apparues sous l'effet de l'élévation de température et les forces qui empêchent la dilatation.

➢ Opposition à l'effort de dilatation

Si l'on considère un L.R.S., ballasté et fixé sans contrainte à la température initiale t_0 ; la barre est à l'état neutre, en état d'équilibre thermique. La température varie ensuite de t_0 à t_1 .L'effort, dû à la dilatation, va alors être transmis intégralement au ballast par l'intermédiaire des traverses qui sont solidaires du rail par les attaches élastiques.

Le poids de la voie, les frottements, et la butée longitudinale des traverses sur le ballast exercent une résistance R qui s'oppose à la variation de longueur produite par la variation de température Δt. Cette résistance est proportionnelle à la longueur de voie. Nulle à l'extrémité de la barre, cette résistance croît jusqu'à un point M, où elle se trouve égale à la force de dilatation [3].

Connaissant la résistance de frottement dû au ballast, on peut calculer la longueur de voie nécessaire pour bloquer l'allongement du rail, en tout point la résistance R du ballast : R = r.L
r : résistance au frottement du au ballast, elle est comprise entre 0,5 et 1 t/m de voie stabilisée.

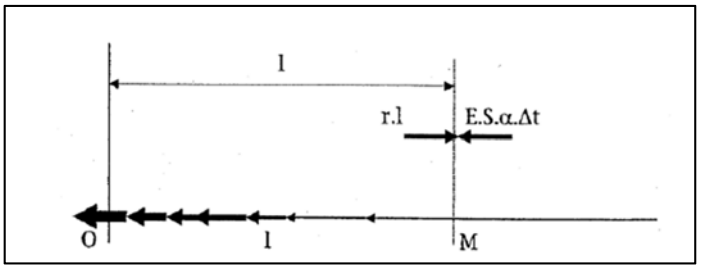


Figure I.3 Opposition des efforts (résistance du ballast et dilatation) [3]

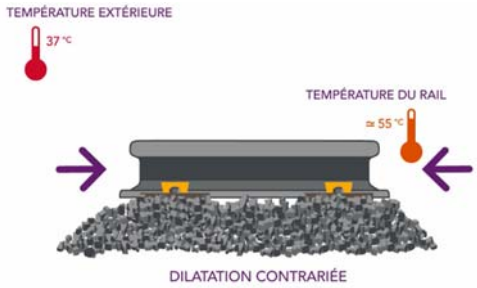


Figure I.4 Contraintes du aux ballaste [8]

Sur cette longueur l, la résistance du ballast s'oppose partiellement et progressivement à la poussée exercée par la dilatation.

✓ Sur cette longueur l, le mouvement de la barre est maximal à l'extrémité 0, car R = 0, mais il décroît progressivement pour être nul en M. A ce point la résistance est égale à la poussée. Où 1 est la longueur de la zone de respiration : $L=\frac{ES\alpha\Delta t}{r}$

Entre les les points M et M' (M'est l'homologue de M vers l'autre extrémité de la barre), le rail ne subit aucun mouvement ; la dilatation est dans cette zone totalement contrariée, car la résistance du ballaste est supérieure à la force F=E,S.α.Δt, engendrée par la variation de température. Cette zone est appelée zone centrale [2].

A l'extrémité O de la barre, la force : F = E.S.α.Δt, produite par l'élévation de température, se dissipe en totalité sous forme de mouvement, la résistance du ballast étant nulle en ce point. Le point O se déplace.

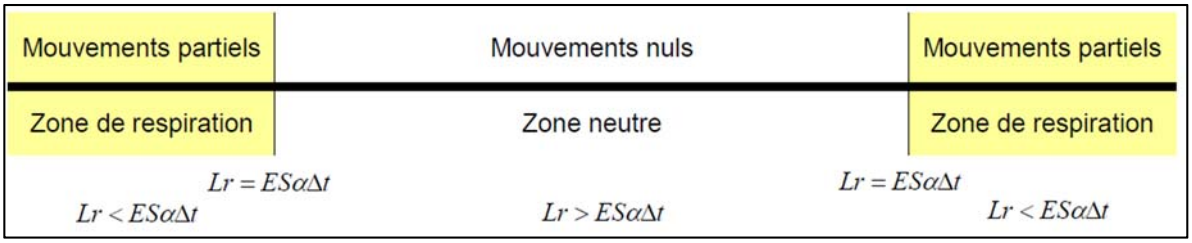


Figure I.5 Répartition des contraintes dans le rail

La résistance du ballast est représentée à partir de chaque extrémité de la barre, par une droite de pente r. Plus le taux de résistance du ballast est important, plus l'angle de cette droite est grand

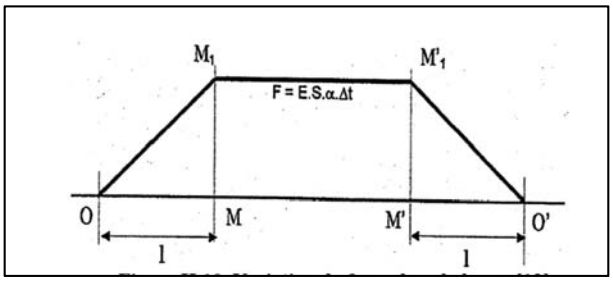


Figure I.6 Variation de force dans la barre [3]

A partir de M et vers le centre de la barre jusqu'à M' la résistance du ballast est supérieure à F = E.S.α.Δt, force égale en tout point x de cette zone.

C'est une droite horizontale parallèle à OO', entre les points M_1 et M_1'.

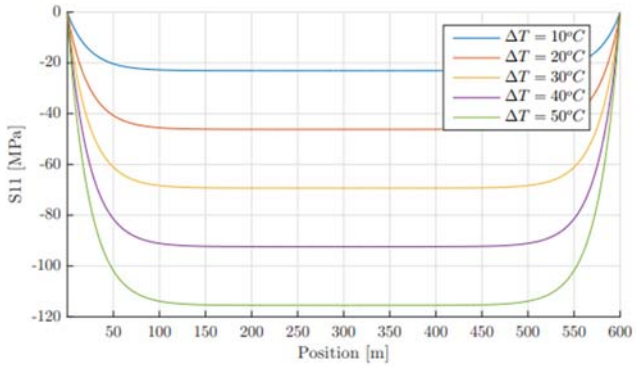


Figure I.7 l'évolution des contraintes dans un long [4]

La figure représente l'évolution des contraintes dans un long rail de 600m. On observe le plateau central de contraintes où le déplacement est empêché. Les contraintes aux extrémités s'annulent car elles sont laissées libres. C'est dans cette zone dite de respiration qu'ont lieu les déplacements. On peut aussi noter que la compression maximale lorsque le rail est chauffé de 50°C atteint 116 MPa, valeur que l'on comparera lorsque des aiguillages seront ajoutés au système [4].

Il est important de prévoir l'amplitude du déplacement résiduel en bout de barre pour concevoir les dispositifs à mettre en œuvre pour assurer la continuité du rail, les règles de pose de la voie, les appareils de dilatation (AD) et d'entretien.

I.4 COMPORTEMENT DE LA VOIE EN LONGS RAILS SOUDES (LRS) SOUS LA VARIATION DE LA TEMPERATURE*

Pour bien étudier le phénomène de dilatation thermique dans le rail et ses conséquences sur la bonne fonctionnalité de ce dernier, on doit d'abord mesurer le développement des contraints dans les rails sous la variation de température, enfin on fait un calcul de la variation de la longueur des barres de rails.

Notion de température

La température dont il est question d'influence n'est pas la température ambiante, mais celle du métal constituant le rail proprement dit. Celle-ci peut être très différente de la température ambiante. Elle peut par exemple être très élevée lorsque le soleil chauffe la voie alors que l'air ambiant lui-même reste doux. De même, par temps froid, la température propre du métal est généralement inférieure à la température ambiante [5]. On mesure cette température soit :

- En plaquant un thermomètre sur le patin du rail à l'ombre.
- En utilisant un thermomètre introduit dans un trou percé dans un coupon de rail de mêmes caractéristiques que le rail constituant le LRS et soumis aux mêmes conditions extérieures.

Toutes les températures mesurées sont celles du rail prises à l'intérieur d'un coupon de même profil, exposé à la même condition climatique que la voie. Certaines températures peuvent aussi être calculées à partir des allongements constatés [3].

- **La température neutre (T_n)**

C'est la température à laquelle les contraintes sont nulles, Cette notion ne concerne que la zone centrale des L.R.S [3].

- **La température de fixation (T_f)**

C'est la moyenne des températures observées pendant le serrage des attaches sur la longueur considérée. La fixation est considérée : comme acquise après boutonnage de la voie, opération qui fixe un minimum de 1 traverse sur 6 [3].

- **La température de libération (T_l)**

C'est la température calculée pour chacune des files de rails après libération, à partir de la température du rail après mise à contraintes nulles et des déplacements constatés [3].

- **La température de référence (Tr)**

C'est la température de libération des deux files de rails. Si la température de libération de chaque file est différente, la température de référence est la plus basse des deux. Elle concerne chaque zone de libération.

Les températures t_f , t_l et tr ne peuvent être considérées comme définies que si les trois conditions suivantes sont réunies [3] :

- La voie n'a pas subi de nouvelle opération de libération.
- La voie n'a pas subi de modification de tracé.

- Les opérations impliquant un desserrage des attaches dans les zones de respiration ont été réalisées en conformité avec les règles de la maintenance, (pas plus de 2 traverses consécutives à la fois, et pas plus de 20% sur 20 m).

Le non-respect de l'une de ces conditions rend nécessaire une nouvelle libération.

I.4.1 Une première variation de température

Une première variation de température $\Delta t = t_1 - t_0$, fait passer la barre de l'état d'équilibre thermique à t_0 à l'état d'équilibre statique à t_1.

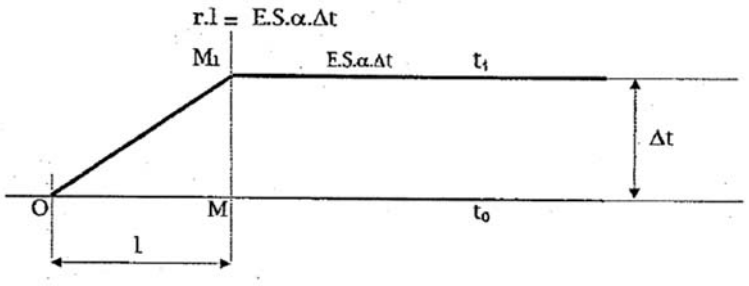


Figure I.8 La première variation de température [6]

- Le déplacement en bout de barre est égal au déplacement total non contrarié(L.α.Δt) moins le déplacement contrarié par la résistance du ballast (loi de Hooke F/ES).
- La force R de résistance au ballast nulle en bout de barre est égale à L.r en M La force de résistance s'écrit R=r.x+k où k = 0 car R = 0 en bout de barre sur la longueur l [6]:

$$R = \int_0^L r\,dx = r\frac{L^2}{2}$$

La traduction du paragraphe précédent en équation donne :

$$\Delta L = L\alpha\Delta t - \frac{rL^2}{ES} \quad \text{or} \quad L = Es\alpha\Delta tr$$

En remplaçant L par sa valeur et après simplification :

$$\Delta L = \frac{ES\alpha^2\Delta t^2}{4r}$$

C'est une parabole de la forme :

$\Delta L = P\Delta t^2$ tel que : $P = \frac{ES\alpha^2}{2r}$

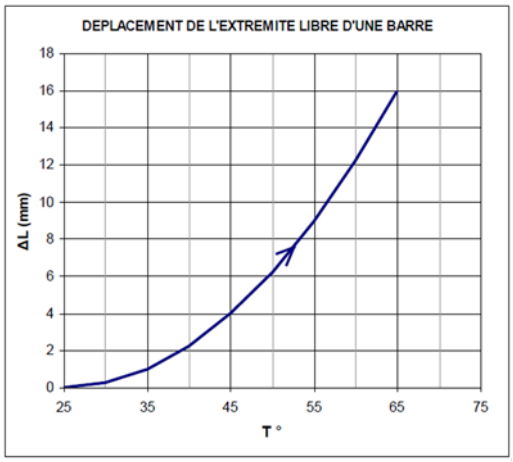


Figure I.9 Représentation graphique de déplacement de l'extrémité d'une barre libre [6]

I.4.2 Deuxième variation

Variation de la température de la barre entre t1 et t2 sachant que t2<t1

La température diminue de t1 à t2

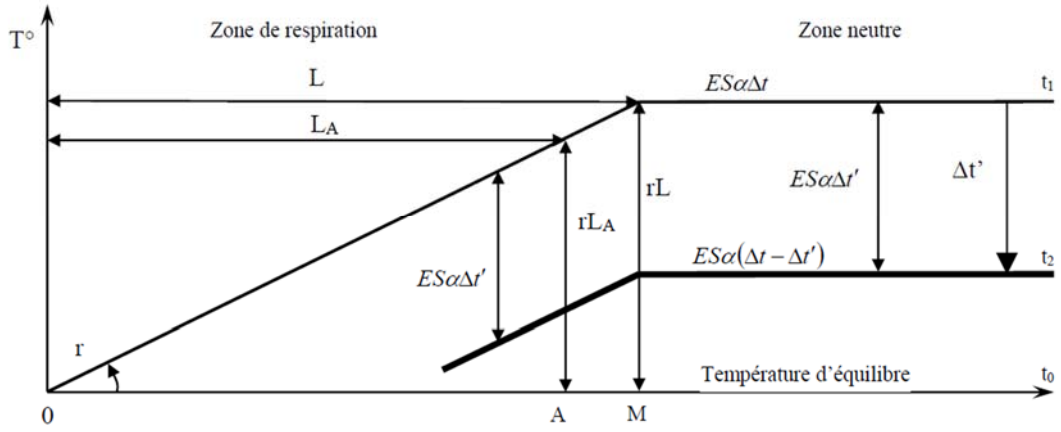


Figure I.10 Diagramme d'effort (deuxième variation de température) [6]

I.4.2.1 Zone neutre

Après la montée en température de t_0 à t_1, la barre se trouve en état d'équilibre statique entre les forces existantes dans la barre (ESαΔt) et la résistance du ballast. La diminution de température provoque l'apparition d'un nouveau diagramme des efforts (figure si dessus) et Δt' étant inférieur à Δt, il va subsister des forces. Cette simple diminution des contraintes, qui reste positive, ne provoque pas de mouvement et le nouveau diagramme des efforts est parallèle au précédent (Δt) avec F= Esα (Δt- Δt') [6]

I.4.2.2 Zone de respiration

- **Au point A :**

Le point A a subit un déplacement lors de la montée en température de t_0 à t_1. La baisse de température de t_1 à t_2 se produit à partir de la nouvelle position du point A, en l'équilibre statique dans cette position, entre les forces existantes dans la barre et la résistance du ballast.

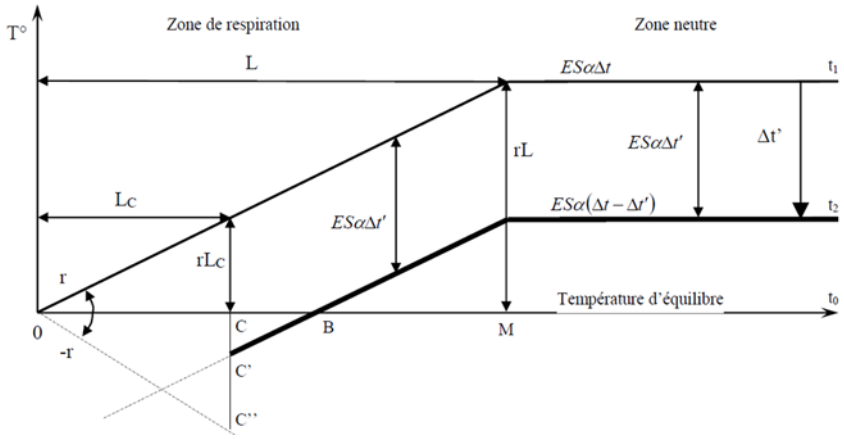


Figure I.11 Diagramme d'effort (deuxième variation de température) point B C et D [6]

- **Au point B :**

Le phénomène est identique à celui du point A (figure), mais nous obtenons un point de contraintes nulles : ESαΔt' est égale à la force existante dans la barre. Il n'y a donc pas déplacement du point B

- **Au point C :**

À partir de B en allant vers 0 vont apparaitraient des forces négatives. En effet à partir de B et jusqu'à 0, la valeur des forces acquises dans la barre est inférieure à la valeur de diminution des

contraintes sous Δt' : ESαΔt'. En C, la diminution des contraintes, d'une valeur ESαΔt', produit d'abords l'annulation de celles-ci puis l'apparition de contraintes négatives CC' mais les forces négatives mises en jeu reste toutefois inférieures à la résistance du ballast en C (égale à rLc ou CC'', C'' étant situé sur la droite de pente -r) il n'y a donc pas déplacement du point C.

- **Au point D :**

D est le milieu de 0 B. En ce point, les forces négatives mises en jeu deviennent égales à la résistance du ballast rL_D et elle vaut $E\alpha s\Delta t'/2$. Le point D ne subit, comme le point C, aucun mouvement mais supporte des efforts négatifs, alors que la température est encore *"chaude"* (t2 > t0).

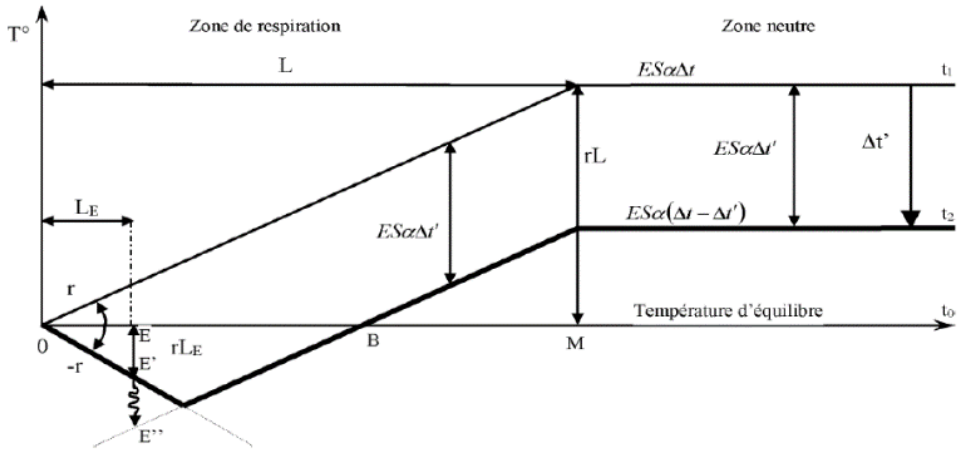


Figure I.12 Diagramme d'effort (deuxième variation de température) point 0 et D [6]

- **Entre D et 0:**

En E la diminution d'une valeur E.S.α.Δt' des forces provoque d'abords la disparition des contraintes positives existantes, le passage par un état de contraintes nulles puis l'apparition de contraintes négatives. Les forces négatives qui prennent ainsi naissance dans la barre deviennent égales, puis supérieures à la résistance du ballast égale à rL_E (EE') en ce point Le point E se déplace avec dissipation des forces E'E'' sous forme de mouvement. Donc à partir du point D sur l'ensemble de la zone D 0 il y a déplacement de chacun des points de la barre de D vers 0. Le diagramme des forces existantes s'inscrit suivant la droite de pente (-r).

I.4.2.1 Calcul du déplacement de l'extrémité de la barre

Nous avons vu que les forces qui provoquent le déplacement apparaissent en D pour devenir maximales en 0 et égales à la valeur rLB = ESα.Δt'.[6]

La loi de Hooke $\Delta \boldsymbol{l}$=RL/ES permet de calculer le déplacement du point 0

Pour L=L_D et la force R=rL_D en remplaçant dans la formule, on obtient

$$\Delta \boldsymbol{l} = RL_D \times RL_D / ES$$

Ainsi :

$$LD = \frac{E\alpha S\Delta t' r}{2r}$$

Donc : $$\Delta L=\frac{E^2\alpha^2S^2\Delta t'^2r}{4rES}=\frac{ES\alpha^2S^2\Delta t'^2}{4r}$$

Le déplacement résultant depuis la pose est :

$$\Delta L=\frac{E\alpha^2S\Delta t^2}{2r}-\frac{E\alpha^2S\Delta t'^2}{4r}$$

$$\Delta L=\frac{ES\alpha^2}{2r}\left(\Delta t^2-\frac{\Delta t'^2}{2}\right)\ [6]$$

Ce deuxième déplacement du point 0 est donc de la forme $y=Px_2$, repérée par 2 flèches sur la figure ci-dessous:4

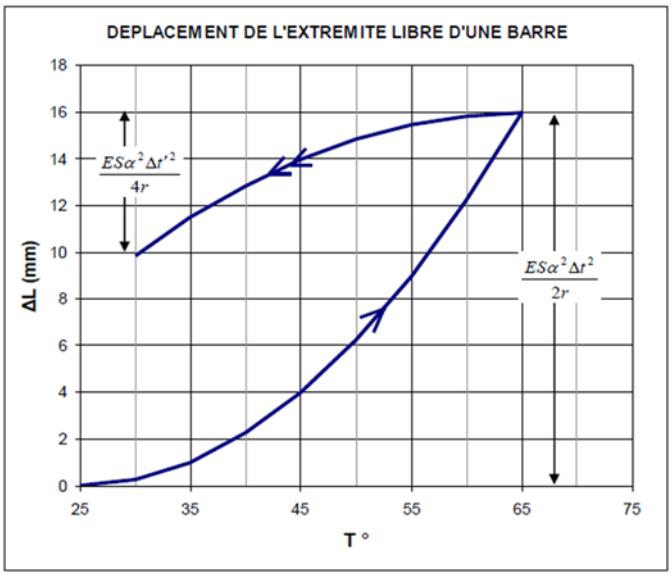


Figure I.13 Déplacement de la barre pour la deuxième variation de température [6]

Conséquences pratique

Si après avoir subi une élévation de température Δt, la barre subit une diminution Δt, c'est-à-dire si elle revient à sa température neutre, le diagramme des efforts est le suivant :

- Seule la zone centrale ou zone neutre retrouve l'état d'équilibre thermique ESαΔt
  Il subsiste des contraintes de valeur maximale $\frac{ES\alpha\Delta t'}{2}$ dans la zone de respiration qui se trouve à l'état d'équilibre statique
- Le point O, extrémité du L.R.S., a subit les mouvements suivants:

  $\Delta L=\frac{ES\alpha^2\Delta t^2}{2r}$ *Allongement* $\Delta L'=\frac{ES\alpha^2\Delta t^2}{4r}$ *rétraction*

- l'ouverture de l'appareil de dilatation est différente de celle qu'il avait à la pose.

I.4.3 Conclusion

Les longs rails soudés ont plusieurs problèmes liés à la conception ou à l'usure, pour bien maitriser ces derniers il faut comprendre la répartition soit des contraintes et/ou températures dans les rails. Donc la libération des contraintes est nécessaire pour la stabilité et la respiration de la voie et la pérennité de leurs composants.

I.5 SOLUTION POUR LIMITER LES RISQUES D'INSTABILITE DAND LES L.R.S

L'ensemble de ces études ont confirmé que la connaissance précise des phénomènes de stabilité et d'instabilité des LRS est une étape primordiale dans le bon fonctionnement des voies et le confort des trains :

- **A la pose des L.R.S**

A la pose, on choisit une température située à approximativement à égale distance entre les températures maximale et minimale, cette température peut être obtenue en utilisant des groupes de réchauffage au propane lors de l'opération systématique de libération qui accompagne la pose de la voie. On peut également utiliser des dispositifs de traction par vérins hydrauliques, [2]

La libération des contraintes est effectuée lorsque la voie est stabilisée, c'est-à-dire lorsque les résistances longitudinales et transversales de ballast ont atteint une valeur suffisante. A cet effet, une telle libération n'est effectuée que lorsque la stabilisation est acquise.

Apres libération des LRS, le serrage des attaches est réalisé de manière optimale, en fonction du type d'attache élastique utilise, au moyen de tirefonneuses de modèle agrée pour le serrage de ces attaches [7].

Une autre opération qui consiste à desserrer les attaches, mettre les rails sur rouleaux, éventuellement les chauffer à 25° puis remettre les rails en place et resserrer les attaches. Il est également possible d'utiliser des vérins hydrauliques : dans ce cas, on allonge les rails par traction d'une longueur égale à la dilatation libre q qu'aurait le rail entre 25 °C et la température du moment relevé au rail [2].

On fait appel à des dispositifs de dilatation autorisant ponctuellement un libre mouvement du rail suffisant sans pour autant induire coupure trop importante dans la continuité vis-à-vis du roulement [2].



Figure I.14 L'utilisation des rouleaux pour libérer les contraintes

- **A l'exploitation**

Pour anticiper les risques de dégradation des rails due à la déformation des rails sous la variation de la température il faut suivre des précautions particulières et des règles précises d'entretien comme suite :

- Une surveillance particulière de la température du rail.
- Prévisions : un logiciel calcul la température du rail en modélisant les météos de la région et permet ainsi de déterminer précisément la température d'une voie sur 13 jours pour prendre des mesures de sécurité et d'entretien [8].
- Sondes : un coupant de rail équipé d'une sonde transmet des données aux agents de la surveillance de voie et si les seuils d'alerte sont atteints des mesures de sécurité sont prises [8].

- Avant l'été il faut s'assurer que les rails ne comportent pas des points de fragilités, en cas d'anomalie la réparation doit être effectuée dans les meilleurs délais avant la saison chaude [8].
- Lorsque un risque de déformation de la voie est détecter, la décision est prise de limiter la vitesse des trains ralentissant de ce fait l'ensemble du trafic [8].
- Dans la période chaude, et en particulier lorsque la température du rail est supérieure à la température de libération des contraintes on entreprenne des opérations qui risquent de déconsolider le ballast, en particulier les opérations de nivellement par bourrage ou par soufflage [8].

I.6 CONCLUSION GENERALE

Ce travail a eu pour but de mettre en évidence le bagage théorique et méthodologique acquis durant tout le cursus, dans l'étude de comportement des longs rails soudés vis-à-vis à la stabilité et les conséquences de la variation de la température.

La voie ferrée est constituée de plusieurs éléments parmi ces derniers on trouve les rails qui jouent un rôle très important surtout après la naissance des longs rails soudés.

Les LRS c'est une bonne technique qu'a plusieurs avantages dont la possibilité de circuler à une grande vitesse.

La pose des L.R.S nécessite une connaissance précise des phénomènes de stabilité qui se produisent dans des barres dont la compression peut atteindre et dépasser une centaine de tonnes. Les multiples expériences effectuées, ont permis d'avoir une connaissance complète des phénomènes de dilatation et de stabilité des LRS.

Les Contraintes et les déplacements dans un rail sans défauts grâce aux fixations rail-traverse qui assurent le serrage entre ces éléments et un ballastage bien entretenu, les rails peuvent accepter des contraintes thermiques importantes

Enfin, cette recherche bibliographique nous a permis non seulement d'exprimer et d'appliquer nous connaissances acquises durant les cinq années de formation, mais aussi d'apprendre une méthodologie rationnelle pour mener une recherche scientifique dans le domaine ferroviaire.

CHAPITRE II

Présentation du projet

II.1.INTRODUCTION

Dans le cadre de son programme pour le développement des transports ferroviaires en Algérie, L'Agence Nationale d'Étude et de Suivi des Réalisations des Investissements Ferroviaires (ANESRIF) a adopté un programme de restructuration du réseau ferroviaire national par la modernisation des lignes existantes. Cette modernisation comprend l'augmentation des vitesses de circulation par la rectification du tracé des lignes, la remise en état des plateformes ferroviaire, l'électrification, le renouvellement de la voie et du ballast et la construction de nouvelles lignes moderne.



Figure II. 1. Les grands axes du plan de modernisation du rail en Algérie

L'état Algérien a lancé un vaste programme de développement des transports ferroviaires, ce dernier est inscrit au plan quinquennal du secteur. L'une des missions principales de l'Agence Nationale d'Études et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (ANESRIF) est de restructurer le réseau ferroviaire national en modernisant la rocade ferroviaire Est-Ouest (Oran-Alger-Annaba) et la rocade ferroviaire des Hauts Plateaux (Ain Touta-M'Sila – Aïn Oussera - Tiaret - Saida -Moulay Slissen), ainsi que leurs interconnexions. Ce plan de développement intègre la construction d'une nouvelle ligne mixte à double voie électrifiée entre la ville de Thénia et la ville de Bordj Bou Arreridj (BBA).

II.2.DESCRIPTION GLOBALE DU PROJET

Le projet a pour objet l'élaboration de l'étude d'avant-projet détaillée (APD) pour la réalisation d'une nouvelle ligne ferroviaire mixte électrifiée à deux voies à une vitesse d'exploitation de 160km/h.

Additivement à cette ligne principale, des travaux de raccordement sont prévus à des lignes existantes, sur les tronçons connexes de la rocade ferroviaire Est-Ouest. Ces travaux consistent à la réalisation des nouvelles lignes, le dédoublement de la ligne existante, l'électrification et la rectification du tracé qui engendra l'augmentation de la vitesse des tronçons Alger-Bouira-BBA-Sétif-Constantine.

L'ensemble de ces raccordements doit permettre de réduire de façon substantielle les temps de parcours entre ces villes, ce qui aura des incidences positives sur l'économie locale, régionale et même nationale. La prévision du temps de parcours pour les trains de voyageurs les plus rapides souhaités de ces raccordements est :

- Alger - Constantine : 3 h 20.

Le tracé de la nouvelle ligne Thénia / BBA sur une longueur d'environ 162 kilomètres, il suit une direction Sud-Est traversant quatre wilayas commençant par Boumerdes, Bouira, Bejaia et Bordj Bou Arreridj.

La répartition du linéaire est comme suit :

Il débutera dans la wilaya de Boumerdes précisément à la ville de Thénia sur 15km (9%), 88km (54%) dans la wilaya de Bouira ,11km (6%) dans la Wilaya de Bejaia et environ 48km (29%) dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj.

Le tracé relie six « 06 » agglomérations importantes sont :

- La ville de Thénia (Boumerdes)
- La ville de Lakhdaria (Bouira)
- La ville de Bouira
- La ville de Béni-Mansour (Bouira)
- La ville de Mansoura (BBA)
- La ville de Bordj Bou Arreridj

Il compte sept raccordements au réseau ferré existant, 55 ponts rails, 16 tunnels, une nouvelle gare à Bouira 3 PCVE « Point de changement de voie avec voie d'évitement ».

II.3.LOCALISATION DU PROJET

La nouvelle ligne ferroviaire est située entre le nord et le nord-est de l'Algérie comme le montre la figure ci-après.



Figure II. 2. Vue globale sur la position du projet

Le PK 0+000 origine de la nouvelle ligne ferroviaire se trouve à la sortie de tunnel existant de la ville de Thénia, elle traverse la wilaya de Boumerdes par quatre (4) communes, ensuite la wilaya de Bouira où se situe le tronçon le plus le long du projet, 11 communes sont traversées dans cette wilaya, à la sortie de Bouira le tracé traverse la wilaya de Bejaia par un petit tronçon de voie. Le reste du tracé se situe à la willaya de Bordj Bou Arreridj (BBA), il traverse 4 communes et se termine à la gare existante de la ville de BBA.



Figure II. 3. Vue satellitaire du tracé

Notre projet concerné par étude est le tronçon situé dans la ville de Bouira, il débutera juste à la sortie d'un tunnel au PK 55+000 et s'étendra sur 15 km contenant une nouvelle gare voyageurs à Bouira et se terminera au PK 70+000 comme le montre la figure ci-dessous.



Figure II. 4. Vue satellitaire du secteur du tracé concerné par l'étude

L'intérêt de cette étude de définir l'ensemble des critères de conception géométrique d'un tracé économique et optimisé selon les exigences des normes en vigueur.

II.5.OBJECTIFS DU PROJET

- Une nouvelle ligne ferroviaire électrifiée.
- Amélioration des conditions d'exploitation « confort et vitesse ».
- Intégration dans le réseau existant « la Rocade de Nord ».
- Créer un lien entre les deux lignes existantes « la Rocade de Nord et celle des Hauts-Plateaux ».
- Réduction de temps de parcours.

II.6.PRESENTATION DE LA WILAYA DE BOUIRA

Le Chef-lieu de la Wilaya de Bouira se situe à 119 Km au Sud-est d'Alger, et au sud de la chaîne du Djurdjura dans l'Atlas tellien.Elle occupe une superficie de 1 152 km^2, la Wilaya de Bouira est divisée en 12 daïras qui se décompose en 45 ville dont les plus grandes de ses villes est Bouira, Lakhdaria et Sour El Ghezlane.

BOUIRA à des frontières communes avec d'importantes Wilayas d'Algérie. Elle est délimitée :

- au nord par les deux wilayas de Boumerdes et de Tizi-Ouzou.
- à l'est par les deux wilayas de Bejaia et de Bordj Bou Arreridj.
- au sud par la wilaya de M'Sila.
- à l'ouest par les deux wilayas de Blida et de Médéa.



Figure II. 5. Carte de la Wilaya de Bouira et ses frontières

II.6.1.Démographie

La population de Bouira compte une population de 695 583 habitants (2008 selon Office National des statistiques), avec une densité : 603.9 hab/km^2.

II.6.2.Relief

Le relief est montagneux à une altitude moyenne de 525 mètres et comporte cinq grands ensembles physiques :

- La dépression centrale (plaines des Aribes, plateau d'El Asnam, la vallée de Ouadhous et Oued Sahel).
- La terminaison orientale de l'Atlas blidéen.
- Le versant sud du Djurdjura (Nord de la wilaya).
- La chaîne des Bibans et les hauts reliefs du sud.
- La dépression sud des Bibans.

La zone boisée représente 25 % du territoire avec 111 490 ha de massif forestier. On trouve le pin d'Alep, le chêne vert ainsi que le chêne-liège et le cèdre de l'Atlas (sud Djurdjura).

II.6.3.Histoire

La région de Bouira a affronté l'invasion romaine et a vécu sous la domination ottomane dont la présence est attestée par plusieurs sites tels le Bordj turc, appelé actuellement Draâ El-Bordj et Aïn El Turc.

La pénétration coloniale française a fait l'objet d'une très forte résistance de la part des habitants placés sous l'autorité de l'Émir Abd el-Kader. La région a été le théâtre d'une défaite du duc d'Aumale et a également connue l'insurrection de Cherif Boubaghla (1851-1855) qui s'est propagée à partir de Sour El-Ghozlane et la révolte d'El Mokrani.

II.6.4.Climat

Le climat est méditerranéen chaud et sec en été, froid et pluvieux en hiver, Bouira affiche une température annuelle moyenne de 16.2 °C. Chaque année, les précipitations sont en moyenne de 659 mm, au mois d'Aout, la température moyenne est de 26.1 °C. Aout est de ce fait le mois le plus chaud de l'année. Le mois le plus froid de l'année est celui de Janvier avec une température moyenne de 7.6 °C (plus de détails dans le chapitre VII).

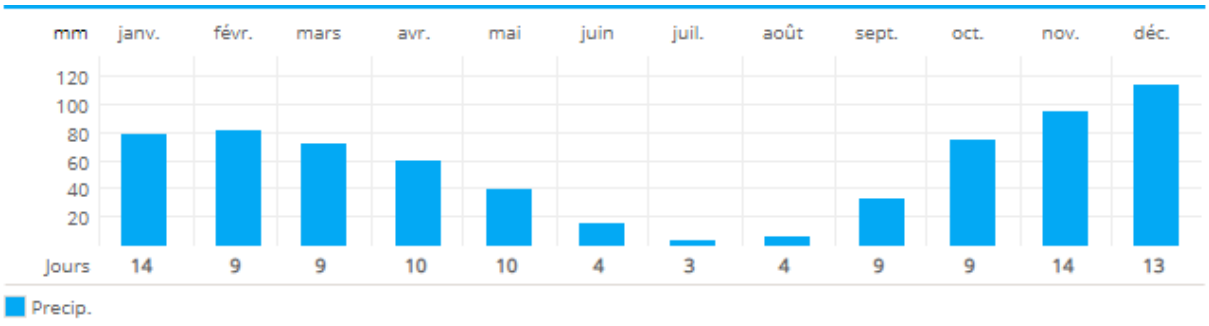


Figure II. 6. Diagramme de précipitation de Bouira «meteovista.be »

II.6.5.Sismicité

Les cartes sismiques et les analyses tectoniques qui ont été faits montrent une échelle qui allant de sismicité négligeable jusqu'à sismicité très élevée selon des zones sismiques tel que :

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

D'après le Règlement Parasismique Algérien « RPA 99 / version 2003 », la wilaya de Bouira appartient à une zone sismique « **II a** » caractérisé par une sismicité moyenne correspondant à des accélérations **0.15/0.20/0.25** choisies selon la nature et l'importance de l'ouvrage souhaitons à réaliser.

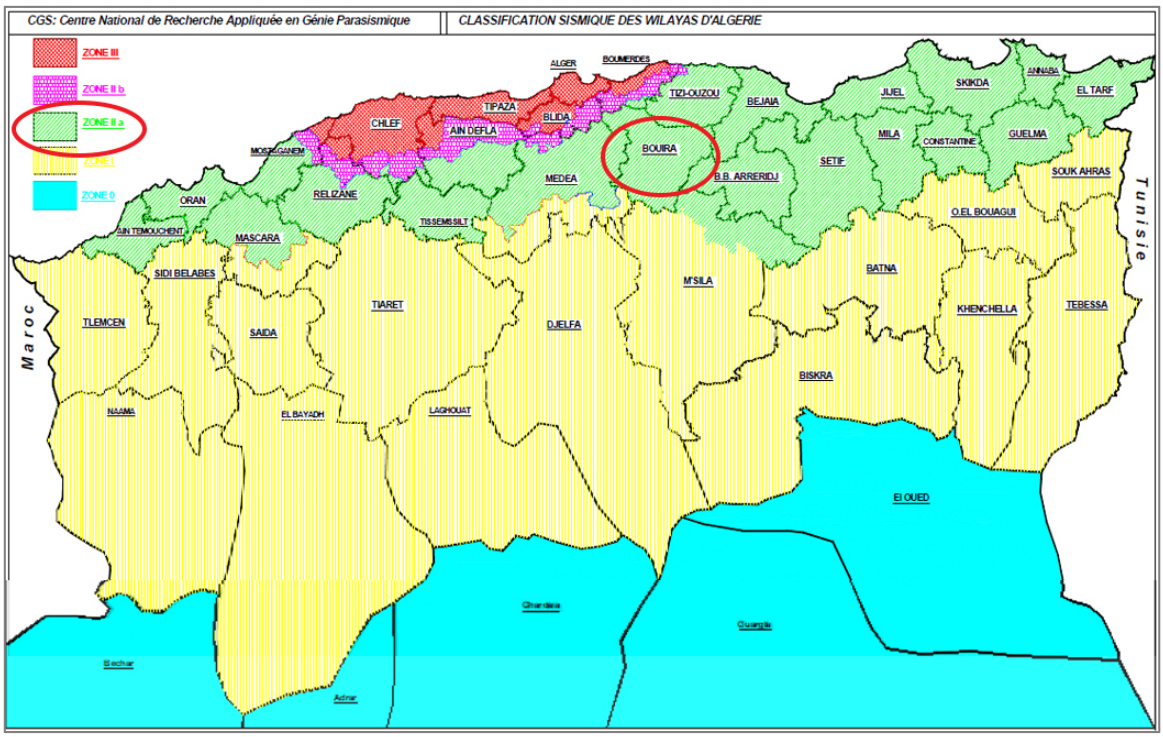


Figure II. 7. Zones sismiques en Algérie [24]

II.7.DONNEES DU PROJET

- Ligne à double voie électrifiée de linéaire de 162 km.
- Vitesse train Voyageur : 160 km/h.
- Vitesse train marchandise : 100 km/h.

- Vitesse de la voie de raccordement à la voie existante : 80 km/h.
- Ecartement de la voie 1 435 mm.
- Entraxe des voies principales 4.20 m.
- Charge à l'essieu : 22.5 Tonnes en pleine voie ; 25 Tonnes sur OA.
- Rail UIC 60 E1 posé sur traverse en béton.
- Rayon minimale : 1 000 m.

II.8.CONCLUSION

Notre projet consiste à faire une étude APD de la nouvelle ligne a double voie électrifiée reliant Thénia/BBA allant de section PK 55+000 jusqu'à PK 70+000 avec la conception de la nouvelle gare de Bouira tous en respectant les normes.

CHAPITRE III

Etude géométrique

III.1 INTRODUCTION

L'étude géométrique du tracé de la voie a pour but d'obtenir un bon roulement des trains, 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, et au même temps qui répond aux conditions et recommandations exigées par les normes ferroviaires.

III.2 CRITERE DE LIMITATION DES PARAMETRES GEOMETRIQUE

Parmi les paramètres définissant la géométrie du tracé, certains ont été limités afin de respecter les exigences de sécurité, de confort pour les voyageurs et de tenue de la voie.

Les valeurs limites suivantes ont été définies pour chaque paramètre géométrique:

- ❖ Valeur limite normale: valeur à ne pas dépasser pour les circulations roulant aux vitesses maximales ou minimales admissibles.
- ❖ Valeur limite exceptionnelle: c'est une valeur plus défavorable que la valeur limite normale, qui peut être utilisée dans des circonstances exceptionnelles.

Si la valeur d'un quelconque paramètre dépasse la valeur limite normale, il faudra tenir compte des considérations suivantes [2]:

- ✓ Si un seul paramètre dépasse la valeur limite normale, sa valeur pourra atteindre la valeur limite exceptionnelle.
- ✓ Si plusieurs paramètres dépassent la valeur limite normale, il sera admis un dépassement maximum de 80 % de la marge exceptionnelle pour le paramètre le plus défavorable alors que les autres paramètres ne devront dépasser cette marge que de 20 %.

Il est recommandé qu'un paramètre ne dépasse pas plus d'une fois la valeur limite normale sur un tronçon de 20 km de long.

III.3 CATEGORIE DU TRAFIC

Dans ce projet la ligne est une ligne à trafic mixte, avec une vitesse des trains de voyageurs maximale égale à 160km/h, donc la catégorie du trafic est : **catégorie IIa** [5].

III.4 TRACE EN PLAN

Le tracé en plan de la voie ferrée est une projection orthogonale de tous les points sur un plan horizontal, se composera de la succession judicieuse des éléments suivants : alignement droit, pleine courbe et courbe de transition. Les caractéristiques des éléments constituant le tracé en plan doivent assurer les conditions de confort et de stabilité. Sans omettre que dans les chemins de fer on trouve deux vitesses caractéristiques.

- V_R : vitesse des trains rapides (voyageurs), V_R=160km/h
- V_L : vitesse des trains lents (marchandises), V_L=100km/h

III.4.1 conditions et règles du tracé en plan

Les normes exigées et utilisées dans l'étude du projet sont résumées dans les fiches UIC, 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 [5]:

- L'adaptation du tracé en plan au terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants ;
- Eviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières ;
- Optimiser le franchissement des oueds afin d'éviter le maximum d'ouvrages ;
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques et géotechniques (glissement, terrains de mauvaise portance, sols compressible) ;
- Essayer d'utiliser le maximum d'alignement ;
- Eviter le maximum les propriétés privées (expropriation) ;
- Suivre les courbes de niveau afin de réduire les terrassements ;
- Eviter les problèmes de talus (stabilité) ;

III.4.2 éléments de trace en plan

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

a) L'alignement (R=∞) :

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

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

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

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

c) La courbe de raccordement :

La géométrie des voies ferrées doit permettre une transition progressive (sans chocs) entre des éléments de tracé présentant des accélérations transversales différentes et éviter un accroissement subit de celles-ci à l'entrée d'une courbe. C'est la raison pour laquelle le passage d'un rayon de courbe, de dimension finie ou infinie, à un autre doit être progressif. Ceci est obtenu par l'introduction d'une courbe de raccordement. Ces éléments liés aux rampes de dévers sont des contraintes importantes dans l'élaboration d'un tracé.

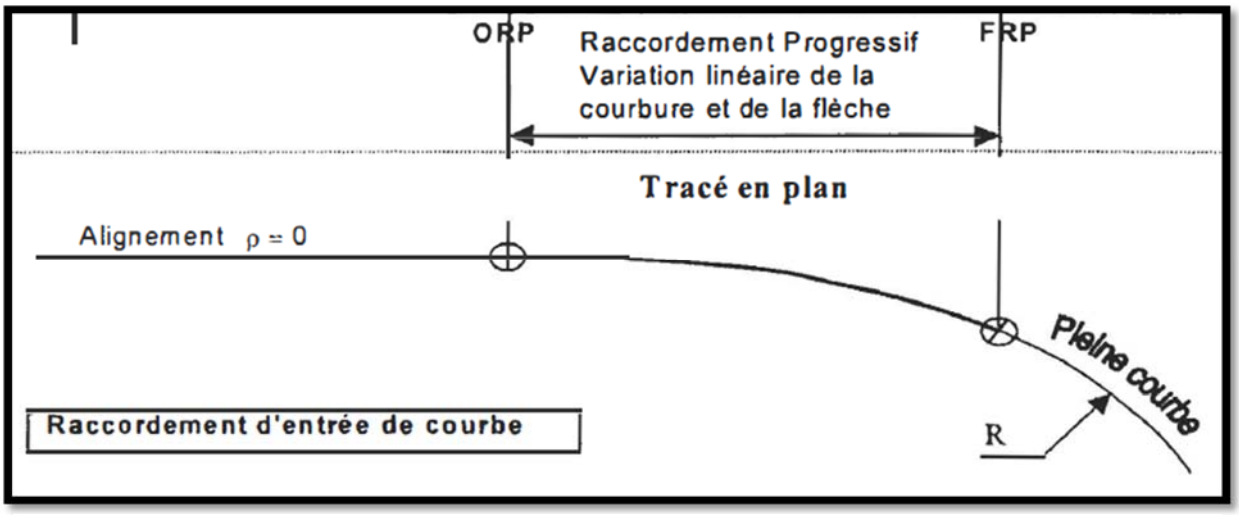


Figure IV.1 les éléments de trace en plan

L'origine du raccordement progressif (ORP) est l'extrémité du RP côté alignement. La fin du raccordement progressif (FRP) est l'extrémité du RP côté pleine courbe.

Dans le cas d'un RP entre deux courbes, I'ORP est l'extrémité du RP du côté du plus grand rayon et la FRP, l'extrémité du RP du côté du plus petit rayon.

Entre 2 courbes de sens contraires relativement proches, il sera possible d'éviter l'implantation d'un alignement en plaçant un RP d'inflexion qui aura une variation constante des flèches et des dévers de part et d'autre du point d'inflexion.

Enfin, lorsque la vitesse est supérieure à 60 km/h et la variation de dévers supérieure à 60/V, des doucines seront insérées aux extrémités des RP. (Norme RFF IC 00272) [17].

On utilise ce type de raccordement afin de :

- Introduire progressivement le devers.
- Concevoir un tracé esthétiquement satisfaisant.
- Respecter les conditions du confort et de sécurité.

III.4.3 Les conditions de raccordement

Il existe des conditions pour le raccordement qui sont :

❖ Condition de gauchissement :

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

❖ Condition du confort dynamique :

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

III.4.4 Paramètres de conception de la voie

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

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

III.4.4.1 Le rayon minimal d'alignement circulaire

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

Un niveau de confort sur toute une section de la ligne par une harmonisation des dévers et des insuffisances de dévers. Les rayons minimums recommandés et exceptionnels sont définis à partir de l'insuffisance de dévers admissible pour les vitesses maximales des trains voyageurs et à partir de l'excès de dévers admissible pour les vitesses minimales des trains de marchandise. Le rayon minimum est calculé par la formule selon la formule suivante (UIC 719) [6] :

$$\frac{11.8 \times V_L^2}{\mathrm{Dmax} - \mathrm{Emax}} \geq \mathrm{Rmin} \geq \frac{11.8 \times V_R^2}{\mathrm{Dmax} + \mathrm{Imax}}$$

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

III.4.4.2 Devers

Le véhicule subit en courbe une instabilité sous l'effet de la force centrifuge qui a tendance à la renverser vers l'extérieur du virage cette force peut conduire au déraillement du train donc il est nécessaire de surélever la file du rail de grand rayon par rapport au niveau de l'autre, d'une valeur appropriée. Cette valeur est appelée dévers, Il est exprimé en mm, de façon à obtenir l'épaisseur de ballast nominale sous la file de rail la plus contraignante.

- **Dévers maximum :**

Les valeurs limite du dévers en voie autorisées par le référentiel SNTF [2] et les normes européennes sont données dans le tableau suivant :

Tableau 1 Tableau III.1 valeurs maximales des dévers

	Dévers maximum en (mm)	Source de référence
Limite normale	160	Référentiel SNTF chapitre 6. Géométrie de la voie
Limite exceptionnelle	180	Référentiel IC00272
Zone de quai	110	EN 13803-1

- **Dévers théorique**

Le dévers théorique qui annule totalement l'effet de la force centrifuge lors d'un passage du train à une vitesse V sur une courbe de rayon R est donné par la formule suivante [2]:

$$d_v = \frac{11.8 \times V_R{}^2}{R}$$

- dv : Dévers théorique (mm)
- R : Rayon de courbe (m)
- V_R : Vitesse des trains rapide (voyageurs) (km/h)

Si l'on prenait pour valeur de V la vitesse maximale des trains de voyageurs, leur confort serait parfaitement assuré. Par contre, les boudins des roues des trains de marchandises, plus lents, porteraient sur le flan du champignon des rails de la file basse, ce qui rendrait le démarrage des trains, qui auraient dû s'arrêter dans les courbes de rayon inférieur à 1 000m, difficile, sinon impossible. La surcharge de ces rails entraînerait, en outre, l'écrasement du champignon et la formation de bavures transversales. Si on se basait sur la vitesse normale des trains de marchandises, le dévers serait nettement insuffisant pour les trains de voyageurs, ce qui se traduirait par un inconfort marqué, un chanfreinage de la file haute et une fatigue anormale des attaches de celles-ci [1].

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

- **Dévers Pratique où dévers prescrit :**

Le dévers pratique (dp) de la voie est inférieur au dévers théorique pour les trains les plus rapides (voyageurs) et supérieur à ce dévers pour les trains les plus lents (marchandise).

Afin de conserver l'homogénéité du confort sur l'ensemble de la ligne, le dévers pratique où dévers prescrit appliqué à la voie est donné par la formule :

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

telque :

- dp: devers pratique
- R: Rayon de courbe (m)

- K: est le coefficient de la ligne. K=1000×C
- C : Coefficient de dévers C=0.006×V² (Norme RFF IC 00272) (V étant la vitesse du train le plus rapide exprimée en km/h).

III.4.4.3 Insuffisance de dévers (I)

En pratique, on limite l'accélération transversale non compensée, afin d'assurer la sécurité des circulations, le confort des voyageurs et assurer un coût raisonnable de l'entretien de la voie.

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

$$I = \frac{11.8 \times V_R^2}{\mathrm{R}} - D < I\ lim$$

Tableau III.2 valeurs maximales admissible des insuffisances de dévers [2]

	Insuffisance de devers (I) maximale admissible en (mm)	Source de référence
limite normale	150	Référentiel SNTF chapitre 6. Géométrie de la voie
Limite exceptionnelle	160	Référentiel SNTF chapitre 6. Géométrie de la voie

III.4.4.4 Excès de dévers (E)

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

$$E = \mathrm{D} - \frac{11.8 \times V_L^2}{\mathrm{R}} < E\ lim$$

Tableau III.3 valeurs maximales admissible des excès de dévers [2]

	Excès de devers (E) maximale admissible en (mm)	Source de référence
limite normale	110	Référentiel SNTF chapitre 6. Géométrie de la voie
Limite exceptionnelle	130	Référentiel SNTF chapitre 6. Géométrie de la voie

III.4.4.5 Variation des dévers dans les courbes de transition Dd/Dl

Afin d'éviter que les surcharges et les délestages puissent déstabiliser les circulations et les faire dérailler La longueur des courbes de transition sera fonction du dévers adopté et du taux de variation de dévers admissible, selon la relation suivante :

$$\frac{D}{L} \leq Rp$$

Rp étant le taux de variation dévers maximal admissible en mm/m, dérivé des valeurs retenues au point.

Le tableau suivant reprend les valeurs admissibles de la variation de dévers en fonction de la longueur des courbes de transition Dd/DL exprimées en mm/m,

Tableau III.4 valeurs admissibles de la variation de dévers [2]

	Variation de dévers en (mm/m)	Source de référence
limite normale	180/V = 1.125(1)	Référentiel SNTF chapitre 6. Géométrie de la voie
Limite exceptionnelle	216/V = 1.35(1)	Référentiel SNTF chapitre 6. Géométrie de la voie

(1)Voie principale circulée V=160km/h.

III.4.4.6 Variation des dévers dans le temps Dd/Dt

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

$$\frac{dd}{dt} = \frac{\mathrm{D} \times \mathrm{Vmax}}{3.6 \times \mathrm{Lrp}}$$

Où Lrp est la longueur de la courbe de transition exprimé en m

Tableau III.5 taux de variation de dévers en fonction du temps [2]

	Taux de variation de dévers dd/dt en (mm/s)	Source de référence
limite normale	50	Référentiel SNTF chapitre 6. Géométrie de la voie
limite exceptionnelle	60	Référentiel SNTF chapitre 6. Géométrie de la voie

III.4.4.7 Variation de l'insuffisance de devers dans le temps DI/Dt

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

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\mathrm{I} \times V_R}{3.6 \times \mathrm{Lrp}}$$

Où Lrp est la longueur de la courbe de transition exprimé en m.

Tableau III.6 taux de variation de l'insuffisance de dévers [2]

	Taux de variation de l'insuffisance de dévers dI/dt en (mm/s)	Source de référence
Limite normale	75	Référentiel SNTF chapitre 6. Géométrie de la voie
Limite exceptionnelle	90	Référentiel SNTF chapitre 6. Géométrie de la voie

III.4.4.8 Les doucines

Au changement de pente du rail haut entre un raccordement progressif et un élément de tracé constant (alignement ou pleine courbe), le véhicule subit une accélération du mouvement de roulis.

Pour limiter cette accélération, il est nécessaire d'introduire un raccordement circulaire entre les pentes du rail haut centré sur le point de rupture de pente (ORP ou FRP).

Du fait de la proportionnalité dévers / courbure, ce raccord se traduit dans le diagramme des flèches par des arrondis appelés doucines [2].

III.4.4.9 Longueur de la courbe de raccordement

La longueur d'une courbe de transition ou d'un raccordement progressif est définie par les caractéristiques suivantes :

- Taux de variation de dévers en fonction de la longueur.
- Taux de variation de dévers en fonction du temps.
- Taux de variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps.

$$Ldd = \frac{\mathrm{D} \times V_R}{3.6 \times \left(\frac{dd}{dt}\right)} \qquad et \qquad LdI = \frac{\mathrm{I} \times V_R}{3.6 \times \left(\frac{dI}{dt}\right)}$$

On prend les valeurs comme suit :$\frac{dI}{dt}$ =75, $\frac{dd}{dt}$=50

La longueur de la courbe de transition à appliquer est la valeur maximale entre Ldd et LdI

Le choix de la longueur de la clothoïde doit être calculé de telle sort que les conditions précédentes soient vérifiées, sur cette base, la longueur minimal de la clothoïde n'abaisse pas au-dessous de certaine valeurs minimale et sera calculé comme suit :

$$Lrp \geq \{(dp*V_R/180)\left|(dp*V_R)/(3.6*(\frac{dd}{dt})_{max})\right|(I*V)/(3.6*(\frac{dI}{dt})_{max})\}$$

III.4.4.10 Longueur des éléments du tracé

Les éléments qui constituent le tracé doivent respecter les valeurs ci-après :

Tableau III.7 longueur minimal des éléments en plan [17]

			Source de référence
Alignement, courbe et RP	**Limite normale**	V/3 =53.33m(1)	IC 00272
	Limite exceptionnelle	V/5 = 32m(1)	IC 00272
	Minimum	30m	IC 00272

(1) Voie principale circulée à V =160 km/h.

III.4.5 Application au projet

- Calcul du rayon minimal

$$Rmin = \frac{11.8\times V^2max - 11.8\times V^2min}{Imax+Emax} \longrightarrow Rmin = \frac{11.8*160^2-11.8*100^2}{150+110} = 708\ m$$

Pour une circulation à 160km/h, le rayon minimum calculé par la formule donnée ci-dessus est de Rmin=708m correspondant à un dévers max de 160mm et une insuffisance de dévers max de 150mm.

Le calcul des paramètres géométriques est fait pour un rayon de : R = 1200m.

Le dévers théorique :dth $= \frac{11.8*Vmax^2}{R} \longrightarrow dth = \frac{11.8*160^2}{1200} = 251.73$ m

Le coefficient de dévers : C= 0.006 V^2 $\longrightarrow$ C= $0.006*160^2$ =153.6

Le dévers pratique : dp = $1000*\frac{C}{R} \longrightarrow dp = 1000*\frac{153.6}{1200} = 128$ mm < 150mm

L'insuffisance de dévers : I= dth-dp $\longrightarrow$ I = 252-128 = 124 mm < 150 mm

L'excès de dévers : E= dp- $\frac{11.8*Vmin^2}{R}$ $\longrightarrow$ E = 128 - $\frac{11.8*100^2}{1200}$ = 29.67 mm <110mm

Voici un tableau récapitulatif présentant le calcul des Valeurs normales des caractéristiques des courbes utilisées :

Pour V=160 km/h

Tableau III.7 Valeurs normales des caractéristiques des différentes courbes

Rayon (m)	vitesse (km/h)	d_v (mm)	C	d_p (mm)	du (mm)	I (mm)	dm (mm)	E (mm)	L_{di} (m)	L_{dd} (m)	L_c (m)	L_u (m)	Dd/dl mm/m	A
1000	160	302	153,6	154	155	148	118	36	88	137	137	140	1,11	374.2
1100	160	275	153,6	140	140	135	107	32	80	124	124	130	1,08	378.2
1200	160	252	153,6	128	130	124	98	30	73	114	114	120	1,08	379.5
1300	160	232	153,6	118	120	114	91	27	68	105	105	110	1,09	378.2
1400	160	216	153,6	110	110	106	84	25	63	98	98	100	1,10	374.2
1500	160	201	153,6	102	105	99	79	24	59	91	91	100	1,05	387.3
2000	160	151	153,6	77	80	74	59	18	44	68	68	70	1,14	374.2

III.4.6 Calcul du paramètre de clothoïde

Le paramètre de clothoïde est donné par la formule suivante :

A=$\sqrt{L * R}$ $\longrightarrow$ A= $\sqrt{120 * 1200}$ = 379.473

III.5 CALCUL D'AXE

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

- Calcul des gisements,
- Calcul de l'angle γ entre les alignements,
- Calcul de la tangente T,
- Calcul de la corde polaire SL
- Calcul de l'angle polaire τ
- Vérification de non-chevauchement,
- Calcul de l'arc en cercle,
- Calcul des coordonnées de points particuliers,
- Calcul de kilométrage des points particuliers.

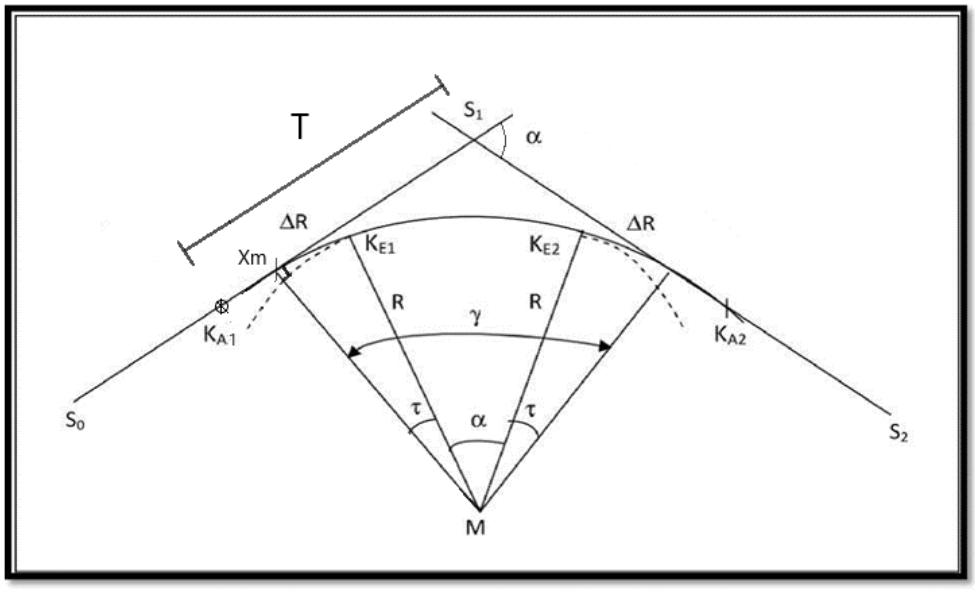


Figure III.4 Elément de clothoïde

- **Calcul des gisements**

Rayon R1 = 1200 m

A= 379.473

- S0 (X=581330.894; Y=4028741.970).
- S1 (X=581435.717; Y=4028337.479).
- S2 (X=583620.523; Y=4025819.985).

|ΔX|=|XS1-XS0|= 104.823m

|ΔY|=|YS1-YS0|= 404.491m

S0S1 =$\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$=$\sqrt{104.823^2 + 404.491^2}$= 417.85m

S0S1= 417.85m

|ΔX1|=|XS2-XS1|=2184.806

|ΔY1|=|YS2-YS1|=2517.494

S1S2 =$\sqrt{\Delta X1^2 + \Delta Y2^2}$=$\sqrt{2184.806^2 + 2517.494^2}$= 3333.34m

S1S2=3333.34m

Donc :

- G_{S1}^{S0}=100+arctg$\frac{|\Delta X|}{|\Delta Y|}$= 100+arctg$\frac{|404.491|}{|104.823|}$= 183.857grade.
- G_{S1}^{S2}=100+arctg$\frac{|\Delta X1|}{|\Delta Y1|}$= 100+arctg$\frac{|2517.494|}{|2184.806|}$= 154.50grade.

- **Calcul de l'angle ϒ**

ϒ =|$G_{S0}{}^{s1}$- $G_{S1}{}^{s2}$|= |183.86-154.50| =29.357grade

- **Calcul de l'angle τ**

$\tau = \frac{L}{2R}\frac{200}{\pi}$ avec : $L=\frac{A^2}{R}$

AN: $\tau = \frac{120}{2*1200}\frac{200}{\pi}$ = 3.183 grade τ =3.138grade.

- **Vérification de non chevauchement**

τ =3.138grade. et $\frac{\gamma}{2}$ = 14.68grade

D'où : $\tau < \frac{\gamma}{2}$ Condition vérifiée, pas de chevauchement.

- **Calcul de la tangente T**

$T= Xm+(R+\Delta R)*\tan\frac{\gamma}{2}$

$Xm= L/2=\frac{120}{2}$= 60m

Le ripage ΔR : $\Delta R=\frac{L^2}{24R} = \frac{120^2}{24*1200}$ = 0.5m

$T= 60+ (1200+0.5)* \tan\frac{29.36}{2}$ =341.84m

T= 341.84m

- **Calcul de la distance S0KA1**

$S0K_{A1}$=S0S1- T =417.85-341.84=76.01

$S0K_{A1}$= 76.01m

- **Calcul de la corde SL**

$SL=\sqrt{X^2+Y^2}$

X_{KE}=L=120

$Y_{KE}=\frac{L^2}{6R}=\frac{120^2}{6*1200}$ = 2

$SL= \sqrt{2^2 + 120^2}$= 120.02m

- **Calcul de l'angle polaire σ**

$\sigma = arctg\frac{Y_{KE}}{X_{KE}} = arctg\frac{2}{120.02}$ =1.06grade

- **Calcul de α**

α= γ-2*τ= 29.357-2*3.1381= 23.08grade
α=23.08grade

- **Calcul de l'arc**

$B=K_{E1}K_{E2}=\frac{\pi*R*\alpha}{200}=\frac{\pi*1200*23.08}{200}$ = 435.04m

- **Calcul des coordonnées de chaque point**

$$K_{A1}\begin{cases} X_{ka1}=X_{S1}-\mathrm{T}\ \sin G_{S1}^{S0}=581435.717-341.84*\sin 183.87 \\ Y_{ka1}=Y_{S1}-T\cos G_{S1}^{S0}=4028337.479-341.84*\cos 183.87 \end{cases}$$

$$K_{A1}\begin{cases} 581350.02 \\ 4028668.4 \end{cases}$$

$$K_{A2}\begin{cases} X_{ka2}=X_{S1}+\mathrm{T}\ \sin G_{S2}^{S1}=581435.717+341.84*\sin 154.50 \\ Y_{ka2}=Y_{S1}+T\cos G_{S2}^{S1}=4028337.479+341.84*\cos 154.50 \end{cases}$$

$$K_{A2}\begin{cases} 581659.76 \\ 4028079.29 \end{cases}$$

$$K_{E1}\begin{cases} X_{E1}=X_{KA1}+S_L\sin(G_{S1}^{S0}-\sigma)=581350.02+120.02*\sin(183.857-1.06) \\ Y_{E1}=Y_{KA1}+S_L\cos(G_{S1}^{S0}-\sigma)=4028668.4+120.02*\cos(183.87-1.06) \end{cases}$$

$$K_{E1}\begin{cases} 581382.06 \\ 4028552.73 \end{cases}$$

$$K_{E2}\begin{cases} X_{E2}=X_{KA2}+S_L\sin(G_{S2}^{S1}-\sigma)=581659.76-120.02*\sin(154.50-1.06) \\ Y_{E2}=Y_{KA2}+S_L\cos(G_{S2}^{S1}-\sigma)=4028079.29-120.02*\cos(154.50-1.06) \end{cases}$$

$$K_{E2}\begin{cases} 581579.60 \\ 4028168.61 \end{cases}$$

Les résultats du calcul d'axe manuel sont comparables au calcul numérique obtenu par le logiciel Civil 3D

III.6 PROFIL EN LONG

III.6.1 Définition

Le profil en long de la voie est constitué de pentes uniformes reliées entre elles par des courbes circulaires. Le profil longitudinal sera défini par la projection horizontale de la cote des points P, correspond au-dessus de la sous couche des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé.

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

- Les points kilométriques PK et distances cumulées.
- La côte du rail projeté FSR.
- La côte du point P.
- La côte du terrain naturel TN
- La valeur du remblai ou déblai.
- Les éléments du tracé en plan.
- Pentes, Rampes et courbes verticales.
- Les ouvrages d'art et les ouvrages hydraulique.
- La position des appareils de voie des voies de raccordement, gares.
- La position des sections neutre.

III.6.2 Eléments géométriques du profil en long

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

III.6.3 Règles à respecter dans le tracé du profil en long

Pour faire un bon tracé de projet on doit tenir en compte plusieurs conditions :

- La déclivité maximale est de 16‰ en plein voie, 1.5‰ au niveau de gare.
- Assurer la distance entre deux points de changement de déclivité. (Distance minimale de $V_R/2$=80m).
- Respecter les valeurs des rayons préconisés par les règlements
- Eviter les angles rentrants en déblai, car il faut éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulement.
- Un profil en long en léger remblai est préférable à un profil en long en léger déblai, qui complique l'évacuation des eaux et isole la voie ferrée du paysage.
- Rechercher un équilibre entre le volume des remblais et les volumes des déblais.
- Eviter une hauteur excessive en remblai.
- Adapter le profil en long aux grandes lignes du paysage.
- Dans les zones inondables, il est obligatoire de passer avec un profil en remblais dont la hauteur est supérieure à NPHE+0.5m.
- Respecter les pentes nulles dans les gares, zones neutres.

III.6.4 Déclivité maximale

La déclivité d'une ligne affecte les possibilités de freinage et de démarrage des circulations, La déclivité admise varie en fonction de sa longueur.

Les valeurs de pente et de rampes limites maximale selon le référentiel SNTF chapitre6. Géométrie de la voie :

-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‰.

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

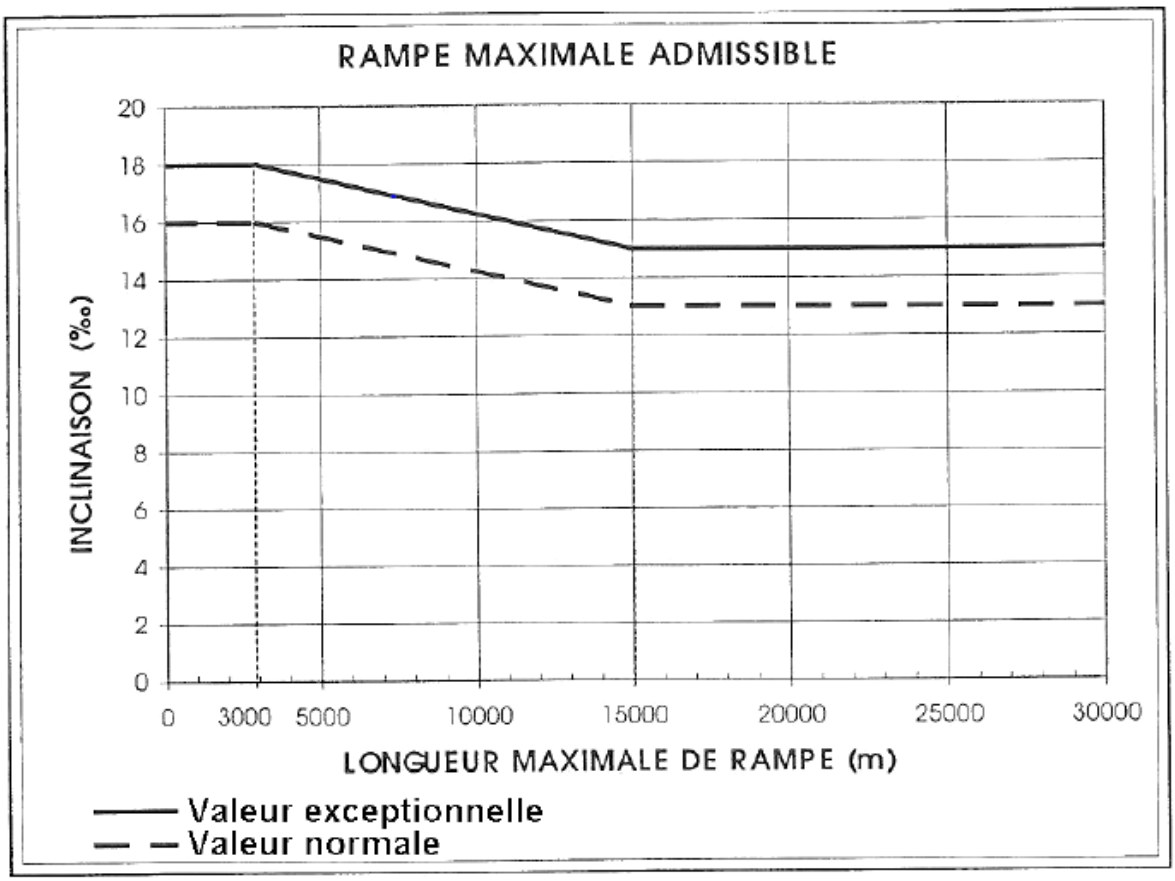


Figure III.5 Rampe maximale admissible [2]

III.6.5 Déclivité fictive

Les voies en courbe (tracé en plan) donnent lieu à des efforts de traction plus importants que les voies en alignement ; ces efforts supplémentaires sont valorisés par une rampe fictive de 800/R (‰) qui s'ajoute à la rampe naturelle du profil en long quand elle est circulée dans le sens montant, en conformité avec la norme RFF IC 00272 §7.2

III.6.6 Rayon admissible en raccordements de profil en long

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

- L'accélération centrifuge qui se présente Lorsqu'un véhicule franchit à une vitesse «V» un raccordement de profil en long de rayon Rv, doit être limité afin de ne pas perturber le confort des passagers. En conséquence, le rayon minimum adopté pour le profil en long sera également limité pour ne pas dépasser cette accélération à la vitesse maximale de circulation.
- Les raccordements de profil en long sont définis par des raccordements circulaires, sans courbes de transition entre les pentes et le raccordement. Cela entraîne une accélération verticale brutale aux extrémités du raccordement, qui provoque une oscillation de la suspension du véhicule et perturbe le confort des voyageurs.

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

Tableau III.8 Valeurs de rayon de raccordement en profil en long (courbe circulaire) [2]

	Valeur de rayon vertical	Source de référence
limite normale (m)	$0.35 \times V^2 = 8960$m	Référentiel SNTF chapitre 6. Géométrie de la voie
limite exceptionnelle (m)	$0.25 \times V^2 = 6400$m	Référentiel SNTF chapitre 6. Géométrie de la voie
Points particuliers à des vitesses inférieures ou égales à 140 km/h (notamment les sauts de mouton)	$0.15 \times V^2$	Référentiel SNTF chapitre 6. Géométrie de la voie

L'application de ces formules permet de limiter l'accélération verticale subie par les voyageurs à respectivement 0,22 et 0,3 1 m/s2.

III.6.7 Longueur des éléments en long

Entre deux accélérations verticales brutales, un temps assez long doit s'écouler afin de permettre à la suspension d'amortir le choc et d'éviter les effets conjugués de plusieurs accélérations rapprochées, sources d'oscillations importantes du véhicule.

Une longueur minimale de déclivité constante doit être respectée, donnée par la norme SNTF § 6.1.5.3 et résumée dans le tableau suivant :

Tableau III.9 longueur minimales des élément du profil en long [2]

	Longueur min des éléments du profil en long	Source de référence
limite normale (m)	V/2 = 80m	Référentiel SNTF chapitre 6. Géométrie de la voie
limite exceptionnelle (m)	V/2.5 = 64m	Référentiel SNTF chapitre 6. Géométrie de la voie
Limite minimum	30m	Référentiel SNTF chapitre 6. Géométrie de la voie

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

III.6.8 Coordination du tracé en plan et du profil en long

Pour garantir une bonne coordination entre le profil en long et le tracé en plan, on doit respecter les conditions suivantes [2] [17] :

- Il est recommandé que les points de changement de déclivité seront positionnés dans des zones de tracé constant (alignement droit où pleine courbe).
- La superposition d'un raccordement vertical avec un raccordement progressif en plan est interdite. Dans la mesure du possible, la distance de 30 mètres entre l'extrémité d'un raccordement vertical et l'extrémité de doucine (ou de RP dans le cas sans doucine) est à respecter, cela facilitera de la maintenance de la ligne.
- En angle rentrant on doit satisfaire la condition de confort et une vitesse très grande.

La constitution du profil en long est la tâche la plus importante, par laquelle on peut évaluer un projet ferroviaire, soit sur le plan économique ou paraitra l'importance des terrassements (quantité de déblai et de remblai, ouvrages d'arts …etc.). Soit sur le plan technique en voyant les déclivités, la coordination entre le tracé en plan et le profil en long et l'emplacement des gares.

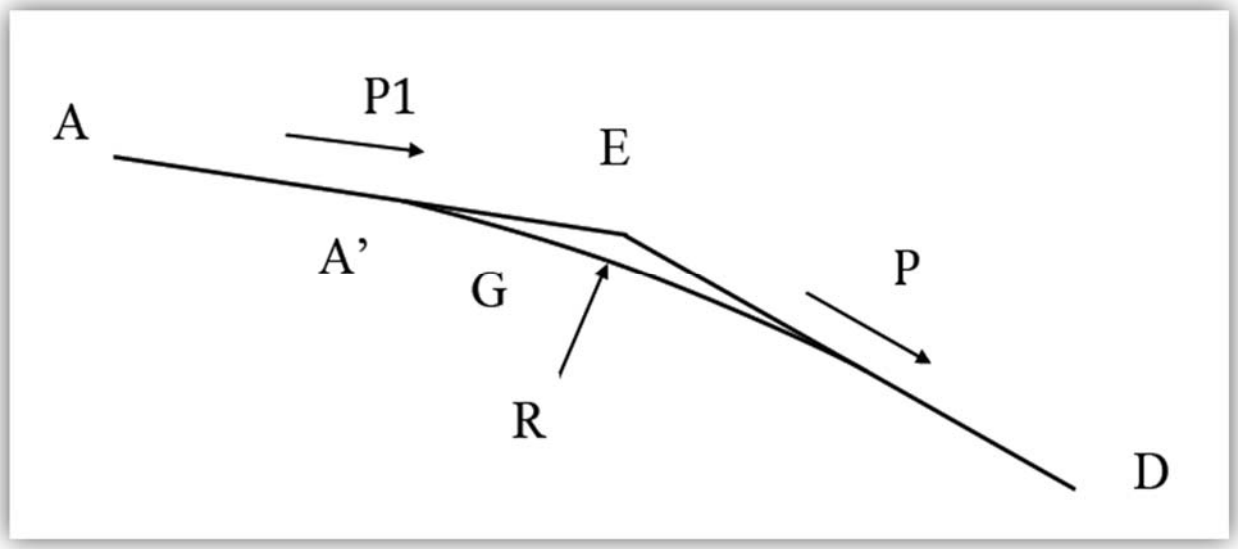
Remarque :

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

III.7 CALCUL DES ELEMENTS DE PROFIL EN LONG

Dans ce calcul, on détermine toutes les coordonnées des points singuliers du raccordement, la tangente de sommet, la flèche au-dessous de ce dernier et on déterminera aussi les PK des points singulier.

Avec :



- A' et B' : Extrémités du raccordement,
- T : Tangente de part et d'autre du sommet,
- G : Milieu de raccordement situé sur la variante,
- A et B: deux points connus sur P1 et P2,
- F : Hauteur de l'abaissement du sommet (Flèche),
- X : Distance entre le sommet et un point A sur P1,
- (α + β) : angle de variation, ou de changement de direction,
- : Centre du cercle de rayon R,
- E : Sommet ou point de changement de déclivité
- L : Distance entre les deux points A et B,

IV.7.1 Exemple de calcul

$A=\begin{cases}55999.37\\548.24\end{cases}$ $E=\begin{cases}58075.00\\552.237\end{cases}$ $D=\begin{cases}58531.15\\549.89\end{cases}$

- **Calcul des pentes**

Figure III.6 éléments de raccordement

$P_1=\frac{\Delta Z1}{\Delta S1}=\frac{0}{2075.63}$ =0% (au niveau de la gare).

$P_2=\frac{\Delta Z2}{\Delta S2}=\frac{2.34}{456.15}=0.513\%$

- **Calcul de la tangente T**

R=9000m

T= $\frac{R}{2}$(P2-P1)=23.08m

- **Calcul de la flèche F :**

F=$\frac{T^2}{2R}$ =$\frac{532.91}{2*9000}$=0.0296m

- **Calcul de la côte du point au milieu de raccordement parabolique**

$Z_G = Z_E - F$= 552.237-0.0296 =552.207m

- **Calcul des Pk et des points du début et de la fin de raccordement parabolique** :

$$\begin{cases} PkA' = PkE - T = 58075.00 - 23.08 = 58051.92 \\ ZA' = ZE - P1.T = 552.237 - 0 \times 23.08 = 552.23 \end{cases}$$

$$\begin{cases} PkB' = PkE - T = 58075.00 + 23.08 = 58098.08\ m \\ ZA' = ZE - P1.T = 552.23 - 0.00513 * 23.08 = 552.11\ m \end{cases}$$

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

III.7.PROFIL EN TRAVERS

III.7.1.Definition

Le profil en travers est une coupe transversale, menée selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la voie projetée. Le tracé comporte plusieurs profils en travers selon les zones traversées et selon les terrassements effectués pour ça on établit un profil en travers « type ». Il nous renseigne sur les éléments de la superstructure et de l'infrastructure, sur les valeurs des pentes des talus et sur le mode d'assainissement aussi que sur les systèmes éventuels de protection de la voie.

III.7.2.Les Eléments du profil en travers

- **Emprise :** largeur en terrain naturel appartenant au domaine public, affecté à la voie et ses accessoires.
- **Assiette :** c'est la surface du terrain réellement occupée par la voie, elle est limitée par l'intersection du terrain naturel avec les pieds de talus en remblais ou crête de talus en déblais.
- **Plate-forme :** surface du terrain qui comprend la voie et les accotements.
- **La voie :** partie affectée à la circulation des trains.
- **La berme :** c'est la partie qui contient la bande SES et la piste, permet l'installation des poteaux de signalisations ou caténaires.
- **Dispositifs de drainage :** On peut distinguer deux types profonds, fossés. Ceux-ci recueillent et évacuent les eaux de ruissellement, d'infiltration ou souterraines.

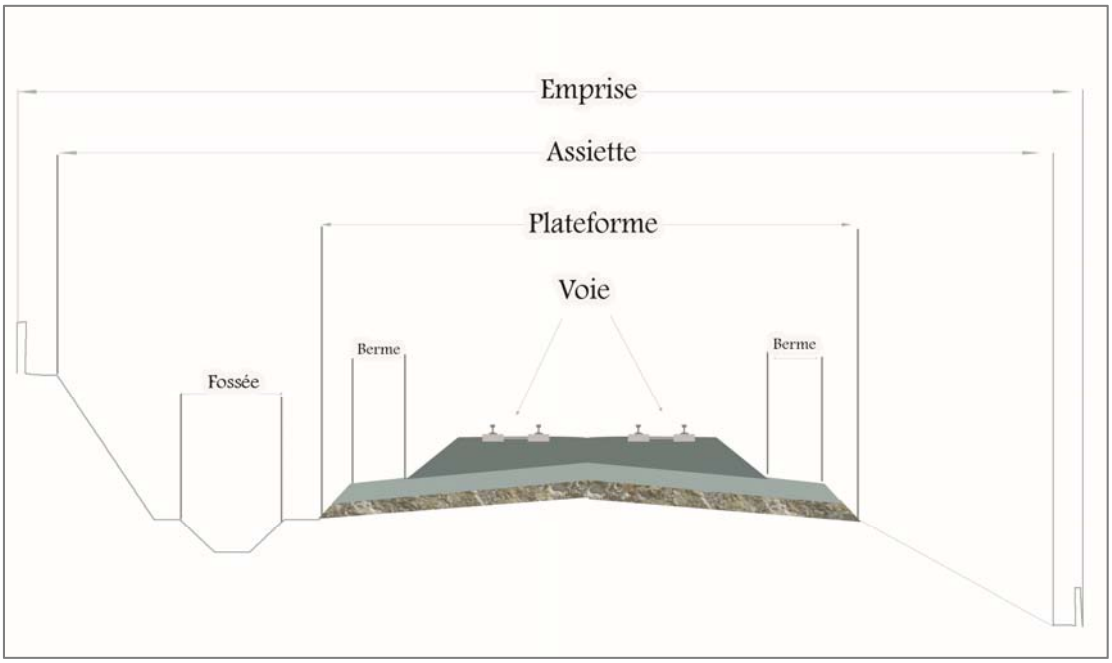


Figure III. 7. Constituants du profil en travers

CHAPITRE IV

Etude géotechnique

IV-1-INTRODUCTION

Dans ce chapitre, on va faire une interprétation des résultats de campagne de reconnaissance géotechnique, afin d'arriver à classer les sols rencontrés le long du tracé ; tous en respectant les normes de UIC.

IV-2-CAMPAGNE GEOTECHNIQUE

Une campagne de reconnaissance géotechnique a été réalisée le long du couloir de la ligne ferroviaire projetée pour but de définir la stratigraphie et définir les propriétés et les caractéristiques physique et mécanique des matériaux du terrain traversé.

Cette campagne contient des essais d'identification classiques serviront à ranger les terrains suivant un classement des sols qui permettra, compte tenu des contraintes d'exploitation ferroviaires de déterminer la classe de la plateforme nécessaire au dimensionnement de la structure d'assise ;en dehors des essais d'identification, on procède à des essais mécaniques qui permettent de calculer la stabilité des ouvrages en terres, les tassements des terrains et les pentes à donner aux talus de déblais et de remblais.

De plus, réaliser des sondages dans les zones d'ouvrages d'art et de grands terrassements.

Le programme de reconnaissance géotechnique établi au niveau du tronçon d'étude est le suivant :

- Puits de reconnaissances « 47 puits »
- Sondages carottés « 28 Forages »
- Essais au laboratoire

IV-2-1-Puits de reconnaissances

Les puits de reconnaissance qui ont été réalisés sur le couloir à différentes profondeurs permettre de donner une description lithologique des terrains traversés et leurs épaisseurs, et une prise d'échantillons pour leurs analyses en laboratoire.

IV-2-2-Sondages carottés

Un nombre de 28 forages ont été réalisés de PK 55+000 jusqu'à PK 68+648 différentes formations du terrain révéler d'origines des argiles limoneuses, miocènes inférieur marneux argileux et des alluvions et conglomérats.

IV-2-3-Essais au laboratoire

Les échantillons issus des puits de reconnaissance et des sondages carottés soit des échantillons remaniés ou intacts ont été soumis à différente essais mécaniques et d'identification des propriétés physique et chimique, ce qui concerne notre projet les essais qui ont été réalisés sont :

IV-2-3-1-Les essais d'identification :

- Teneur en eau naturelle
- Degré de saturation
- Limites d'atterberg
- Analyse granulométrique

- Teneur en carbonate de calcium
- Dosage des matières organique
- Poids spécifiques

IV-2-3-2-Les essais mécaniques :

- Essai de cisaillement à la boite
- Essai triaxial
- Essai de compression simple
- Essai œdométrique

IV-3-UNITES GEOTECHNIQUE

Le long du tracé, trois unités géotechnique principales ont été rencontres, il s'agit de :

- Argile limoneuse quaternaire
- Miocène inférieur marneux argileux
- Alluvions et conglomérats du plateau miocène

IV-3-1-Argile limoneuse quaternaire « ARQ » :

Cette unité de couleur brunâtre est constituée de limons et d'argiles avec des concrétions carbonatés issus de l'altération des formations sous-jacentes. Elle est rencontrée en affleurement entre le PK55+000 et le PK70+000 et présente une épaisseur variable qui peut atteindre environ 25m. Elle est constituée de terre végétale, d'argiles, graviers et cailloux.

Paramètres d'états : Les résultats présentés dans le tableau ci-dessous indiquent des poids volumiques secs (γd) varient entre 1.55 et 2.03 t/m3, avec une moyenne de 1.78 t /m3 pour l'ensemble de cette unité, dénotant un sol **dense** à **très dense**. Les valeurs maximales et minimales du poids volumique humide (γh), sont respectivement de 1.91 et 2.25 t/m3 avec une moyenne de 2.09 t/m3.

La teneur en eau varie entre 7.11 et 36.15 %, avec une valeur d'humidité moyenne de 17.40 %. Le degré de saturation (Sr) est compris entre 59 et 100%, avec une moyenne de 89.83 %, indiquant un sol **non saturé**.

Paramètres de nature : Les analyses granulométriques effectuées sur des échantillons intacts et remaniés sur cette formation, ont mis en évidence un pourcentage moyen de la fraction fine (les passants au tamis < 80µm) est de 64.62%. La valeur moyenne de la limite de liquidité W_L est estimée à 44.35 %, tandis que l'indice de plasticité Ip varie de 10.41 % à 47 %, donnant une valeur moyenne de l'ordre de 23.06 %, traduisant un comportement **peu plastique**.

Analyse chimique : Les échantillons de formation argileuse testés donnent des teneurs en matières organiques moyennes de 0.12 %, et une moyenne de teneurs en carbonates $CaCO_3$ de 35.10 % et une moyenne de teneurs en sulfates de 0.36 %, qui permet de classer cette unité respectivement comme **inorganique** et marneux et peu agressifs**.**

Paramètres de comportement mécanique et de compressibilité : Les résultats de la résistance au cisaillement à court terme et celle d'essais œdométriques sont indiqués dans le tableau ci-dessous. Le coefficient de cisaillement moyen C_u est 127.00 donc une consistance raid du sol et le coefficient de compressibilité Cc est de l'ordre de 15.03%. Il a permis de classer cette unité comme étant **peu compressible** à **moyennement compressible**.



Figure IV.1. Argile limoneuse quaternaire

Tableau IV.1. Tableau récapitulatif des résultats d'essais Unité Argile limoneuse quaternaire (ARQ)

Paramètres	Désignation	Nombre de valeurs	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur moyenne
Densités	Humide γh (T/m3)	58	1,91	2,25	2,09
	Sèche γd (T/m3)	57	1,55	2,03	1,78
Teneur en eau	ω (%)	57	4,66	36,15	16,03
Degré de saturation	Sr (%)	55	59.00	100,00	89,83
Granulométrie	<80µm (%)	74	3,60	98,80	64,62
	<2µm	30	13,00	72,00	35,40
Limites d'Atterberg	WL (%)	74	21,35	70,00	44,35
	WP (%)	74	6,00	29,00	21,14
	IP	74	10,41	47,00	23,06
Compressibilité à l'odomètre	Pc (Kpa)	5	79,00	543,00	305.60
	Cc (%)	5	11,00	19,79	15,03
	Cg (%)	5	2,71	5,00	3.55
	Cv (cm2/S)	/	/	/	/
Cisaillement Direct non drainé UU	Cu (kPa)	17	6,00	291,00	127.00
	Φu (°)	17	1,95	41,46	20,50
Cisaillement Direct drainé CD	C' (kPa)	7	9,61	47,00	29,61
	Φ '(°)	7	15,80	43,34	27,31
Analyse chimique	Sulfates (%)	9	0,03	1,75	0,36
	Chlorures (%)	8	0,00	0,35	0,09
	Carbonates (%)	18	10,84	62,97	35,10
	Matière organique (%)	3	0,09	0,16	0,12

IV-3-2-Miocène inférieur marneux argileux « MI »

Cette unité montre des aspects marneux et grès-conglomératiques. Elle a été révélée en profondeur par les sondages réalisés entre le PK59+000 et le PK65+000, ces matériaux sont altérés en surface.

Paramètres d'états : Les résultats présentés dans le tableau ci-dessous indiquent des poids volumiques secs (γd) varient entre 1.64 et 2.17 t/m^3, avec une moyenne de 1.90 t /m^3 pour l'ensemble de cette unité, dénotant un sol dense à très dense. Les valeurs maximales et minimales du poids volumique humide (γh), sont respectivement de 20.5 et 2.33 t/m^3 avec une moyenne de 2.18 t/m^3.

La teneur en eau varie entre 6.98 et 24.85 %, avec une valeur d'humidité moyenne de 15.12 %. Le degré de saturation (Sr) est compris entre 85.00 et 100%, avec une moyenne de 93.82 %, indiquant un sol non **saturé** à **saturé**.

Paramètres de nature : Les analyses granulométriques effectuées sur des échantillons intacts et remaniés sur cette formation, ont mis en évidence un pourcentage moyen de la fraction fine (les passants au tamis < 80µm) est de 64.62%. La valeur moyenne de la limite de liquidité WL est estimée à 41.50 %, tandis que l'indice de plasticité Ip moyenne de l'ordre de 23.06 %, traduisant un comportement **peu plastique**.

Analyse chimique : Les échantillons de formation argileuse testés donnent des teneurs en carbonates CaCO3 varient entre 20.85% et 45.87 % avec une moyenne de 31.09 %. Les teneurs en sulfates varient entre 0.21 et 0.25 % avec une moyenne de 0.30 % et absence de la matière organique, ce qui permet de classer cette unité comme marneux, **inorganique** et faiblement agressif.



Figure IV.2. Miocène inférieur marneux argileux MI

Tableau IV. 2. Tableau récapitulatif des résultats d'essais Unité Miocène inférieur marneux argileux « MI »

PARAMÈTRES	Désignation	Nombre de valeurs	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur moyenne
Densités	Humide γh (T/m3)	21	2,05	2,33	2,18
	Sèche γd (T/m3)	21	1.64	2,17	1,90
Teneur en eau	ω (%)	21	6,98	24.85	15.12
Degré de saturation	Sr (%)	17	85.00	100.00	93.82
Granulométrie	<80µm	17	42.00	99.89	81.79
	<2µm	12	20.00	72.00	39.05
Limites d'Atterberg	WL (%)	21	25.00	62.00	41.50
	WP (%)	20	14.70	40.09	20.34
	IP	20	0.60	37.00	21.69
Compressibilité à l'odomètre	Pc (Kpa)	1	136.00	136.00	136.00
	Cc (%)	1	6.57	6.57	6.57
	Cg (%)	1	3.16	3.16	3.16
	Cv (cm2/S)	/	/	/	/
Cisaillement Direct non drainé UU	Cu (kPa)	5	28.00	464.00	148.40
	Φu (°)	5	12.14	30.93	18.74
Cisaillement Direct drainé CD	C' (kPa)	1	36.00	36.00	36.00
	Φ '(°)	1	24.00	24.00	24.00
Analyse chimique	Sulfates (%)	2	0.21	0.25	0.23
	Chlorures (%)	1	0.24	0.24	0.24
	Carbonates (%)	5	20.85	45.87	31.09
	Matière organique (%)	1	0.94	0.94	0.94

IV-3-3-Alluvions et conglomérats du plateau miocène « AC »

Essentiellement formées de graviers, de cailloux et de blocs arrondis de 5 à 50 cm de diamètre dans une matrice limoneuse et argileuse. Elles deviennent, parfois conglomératiques (fortement cimentées), et souvent surmontées par une mine couche de limons rougeâtres quaternaires.

Paramètres d'états : Les résultats présentés dans le tableau ci-dessous dénotant un sol dense à très dense. Le degré de saturation (Sr) est compris entre 63 et 100%, avec une moyenne de 85.56 %, indiquant un sol **non saturé**.

Paramètres de nature : Les passants au tamis < 80µm est de 60.61%. L'indice de plasticité Ip varie de 15.00 % et 39.00 %, donnant une valeur moyenne de l'ordre de 22.63 %, signifiant un comportement peu plastique. La valeur moyenne de bleu 0.16 indique que cette unité est insensible à l'eau.

Analyse chimique : Les résultats obtenus des teneurs en matières organique et $CaCO_3$ et sulfates permettent de classer cette unité respectivement comme **inorganique**, marneux et faiblement agressifs.

Paramètres de comportement mécanique : Les résultats de la résistance au cisaillement à court terme permettent de classer cette unité comme étant raid.



Figure IV. 3. Alluvions et conglomérats du plateau miocène AC

Tableau IV.3. Tableau récapitulatif des résultats d'essais Alluvions et conglomérats du plateau miocène « AC »

PARAMÈTRES	Désignation	Nombre de valeurs	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur moyenne
Densités	Humide γ_h (T/m3)	19	1.83	2.49	2.18
	Sèche γ_d (T/m3)	19	1.53	2.37	1.93
Teneur en eau	ω (%)	12	6.48	20.72	14.34
Degré de saturation	Sr (%)	11	63.00	100.00	85.56
Valeur de bleu méthylène	VBS	2	0.15	0.17	0.16
Granulométrie	<80µm	12	4.75	97.71	60.61
	<2µm	6	2.00	70.00	39.50
Limites d'Atterberg	WL (%)	9	33.00	60.00	43.63
	WP (%)	9	16.40	26.23	21.00
	IP	9	15.00	39.00	22.63
Compressibilité à l'odomètre	Pc (Kpa)	/	/	/	/
	Cc (%)	/	/	/	/
	Cg (%)	/	/	/	/
	Cv (cm2/S)	/	/	/	/
Cisaillement Direct non drainé UU	Cu (kPa)	3	18.00	265.00	105.33
	Φu (°)	3	17.28	28.84	23.07
	C' (kPa)	3	25.00	45.75	36.25

Cisaillement Direct drainé CD	Φ '(°)	3	22.24	23.16	22.73
Analyse chimique	Sulfates (%)	2	0.27	0.33	0.30
	Chlorures (%)	1	0.38	0.38	0.38
	Carbonates (%)	3	22.40	54.21	33.88
	Matière organique (%)	1	0.94	0.94	0.94

IV-4-CLASSIFICATION DU SOL SUPPORT

La classification du sol support basée sur la nature géotechnique du sol support .On distingue quatre classes de qualité du sol selon référentiel UIC 719 « union internationale des chemins de fer » sont :

QS0 : sols impropres à la réalisation d'une plateforme correcte.
QS1 : sols médiocres.
QS2 : sols moyens.
QS3 : bons sols.

D'autre part on s'intéresse à classer les sols selon la classification GTR pour la réalisation des remblais et des couches de forme celle-ci nous permis de diviser les sols selon leur nature géotechnique en six classe différentes chaque classe se diviser en sous classes définissant la nature et l'état hydrique des sols, les classes sont :

Classe A : sols fins.
Classe B : sols sableux et graveleux avec fines.
Classe C : sols comportant des fines et des gros éléments.
Classe D : sols insensible à l'eau.
Classe R : matériaux rocheux.
Classe F : sols organiques sous-produits industriels.

Le tableau ci-après montre les classes des différentes unités des sols étudiés suivant les deux classifications UIC et GTR

Tableau IV.4. Tableau récapitulatif des résultats de classification des unités géotechniques

Unité géotechnique	Description	Classification	
		UIC	GTR
ARQ	• inorganique,fines<80µm=64.62% supérieur à 40% • Dmax<50mm, < 80µm=64.62%	QS1	A_2, A_3
MI	• inorganique,fines<80µm=81.79% supérieur à 40% • Dmax<50mm, < 80µm=81.79%	QS1	A_2, A_3
AC	• inorganique,fines<80µm=60.61% supérieur à 40% • Dmax<50mm, < 80µm=60.61%	QS1	A_2, A_3

Ce qui concerne les tronçons qui contient des remblais une qualité **QS2** de sol en remblai est **exigée** par le maitre d'ouvrage.

IV-5-GITES D'EMPRUNT :

Plusieurs zones d'emprunt ont été révéler le long du tracé globale, on note les zones situées à proximités du notre tronçon.

Zone d'emprunt 1 : Ce gîte se situé à une distance approximative de 5.5 Km du PK 55+000 « Pk début ». Il s'agit des alluvions d'Oued Djemaa. C'est un gisement de tout venant et de granulats naturels. Il s'agit d'un sol de classe C1A2/C1B5, leur emploi en remblai ne doit pas poser des problèmes mais dans un état hydrique idéal. Ce gîte s'étend sur une surface de l'ordre de 20.29Ha, avec une réserve d'environ 800 000 m^3.



Figure IV. 4. Gite d'emprunt n° 1

Zone d'emprunt 2 : Ce gîte se situe à une distance approximative de 4.9 Km du PK 70+000 « Pk fin », Il correspond aux alluvions anciennes composées de sables limoneux et tufs avec des graves et cailloux arrondis et sub-arrondis. Ces sols présentent des matériaux de classe B6/A2. Leur emploi en remblai sera convenable si des précautions de sélection, de granularité et de compactage seront prises. La zone occupe une superficie d'environ 20.29 Ha, l'estimation des taux de réserves pour ce gisement est de l'ordre de 800 000 m^3.



Figure IV. 5. Gite d'emprunt n° 2

IV-6-CONCLUSION

Après une étude géotechnique du sol sur laquelle repose notre projet nous avons pu identifier les types des sols et leurs classes de portances et aussi la couche de forme à mettre en œuvre tels que :

Tableau IV. 5. Récapitulatif sur l'étude géotechnique et les classements UIC obtenus

Unité du sol	Argile limoneuse quaternaire ARQ	Miocène inférieur marneux argileux MI	Alluvions et conglomérats AC
Classe du sol « UIC »	QS1	QS1	QS1

CHAPITRE V

Constituants de la voie

V-1-INTRODUCTION

Le rôle de la voie est de supporter et diriger les véhicules ferroviaires ; la solidité et la rigidité doivent être ses caractéristiques. Les éléments qui la constituent doivent former un tout qui conserve sa position et pour arriver de garantir tous ceci on cherche d'abord de définir les caractéristiques de chaque élément d'une manière respects les normes et conforme à qu'est-ce que en cherche à réaliser.

V-2- LA VOIE

La voie ferrée est constitués par deux files de rails parallèles en métal supportées et fixées sur un grillage de traverses soit en bois, soit en métal ou en béton armé ou précontraint, avec des équipements de sécurité, il est identifiée par sa largeur d « la distance séparant le flanc interne des deux files de rails », cette distance est appelée « **Ecartement »**, suivant l'écartement, l'on peut classer les voies de chemins de fer en quatre groupes :

- **La voie Normale :** la plus utilisée dans le monde avec un écartement de 1 435mm.
- **La voie Large :** est la voie dont l'écartement est supérieur à la voie normale.
- **La voie métrique :** dont écartement est de 1 000mm.
- **La voie étroite :** avec un écartement inférieur à celui de la voie normale.

V-3-LES ELEMENTS CONSTITUTIFS DE LA SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

Les éléments constitutifs de la superstructure d'une voie sont :

- Le rail
- Les traverses
- Les accessoires de pose
- Le ballast

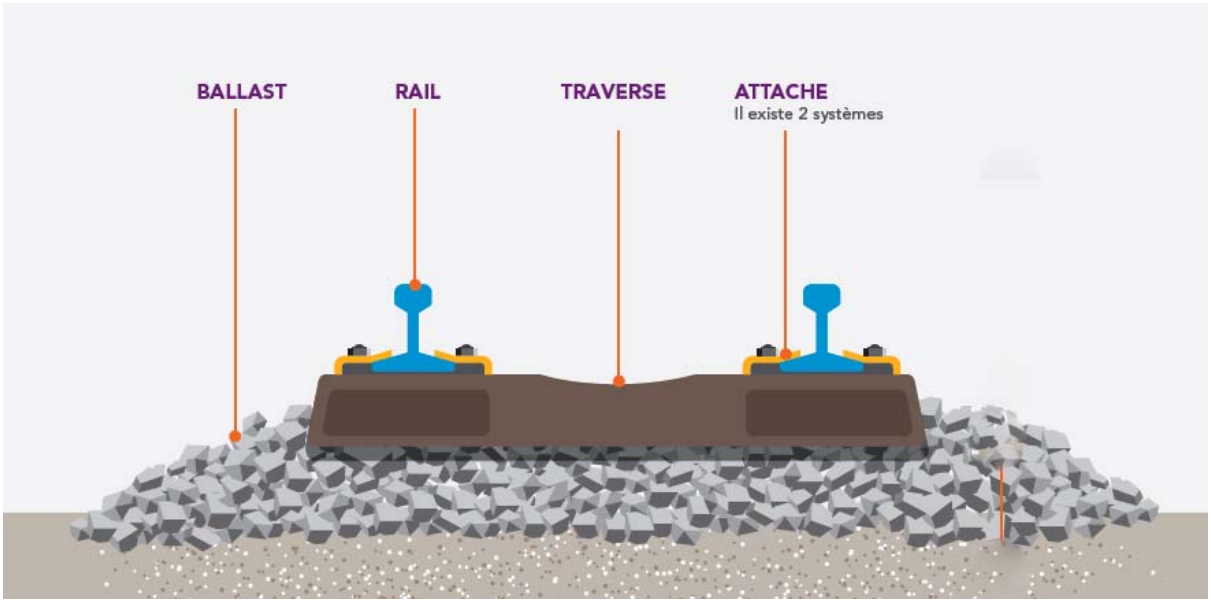


Figure V. 1. Constituants de la superstructure de voie ferrée

V-3-1-Le rail

Le rail est une longue barre d'acier profilée, deux files parallèles de rails mis bout à bout forment une voie ferrée servent de guide et support de roulement pour les véhicules ferroviaires, il compose d'une partie supérieur le champignon qui assure le contacte roues-rail, le patin qui s'appuyer sur les traverses et assure la fixation à celle-ci ; l'âme qui relie le champignon au patin.

Il existe trois types de rails sont :

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



Rail à Gorge Rail Vignole

Figure V. 2. Rail à gorge et rail Vignole



Figure V. 3. Rail à double bourrelet

Actuellement les rails Vignole et à gorge sont les plus utilisés à travers le monde.

V-3-1-1-Rail Vignole

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

1. **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 forces latérales.

2. **Ame et portées d'éclissage:** l'âme est caractérisée par son épaisseur, la forme des congés de raccordement avec le champignon et le patin, et l'inclinaison.

   L'épaisseur de l'âme doit tenir compte des efforts de déversement et les efforts tranchants qu'elle supporte et des sollicitations élevées qui se développement au voisinage des trous d'éclissage.

3. **Patin :** Caractérisé par sa largeur et par l'épaisseur et la forme des ailes, qui sont essentiellement fixées par des considérations d'équilibrage entre la section du patin et celle de champignon et par les possibilités du laminage, sa largeur conditionne la rigidité du rail dans le plan horizontale et détermine le taux de compression sur les traverses.

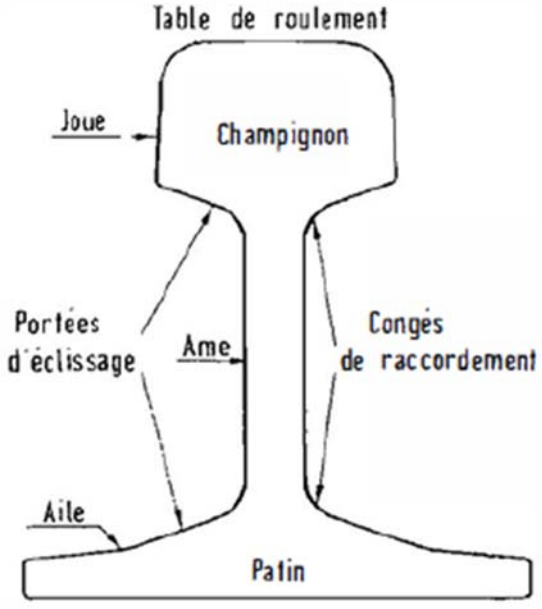


Figure V. 4. Nomenclature d'un rail Vignole

V-3-1-2-Assemblage des rails

Puisque on a dit que le rail est un assemblage des barres et quand l'assemblage des rails bout à bout est le point faible de la voie, il existe un moyen sans s'affaiblir la voie ; en parle de L**'éclissage.**

Les éclisse : afin de minimiser les inconvénients d'assemblage bout à bout et rétablir autant que possible la continuité du rail, on consolide d'abord le joint au moyen d'éclisses qui embrassent les bouts des deux rails.



Figure V. 5. Assemblage du rail par une éclisse

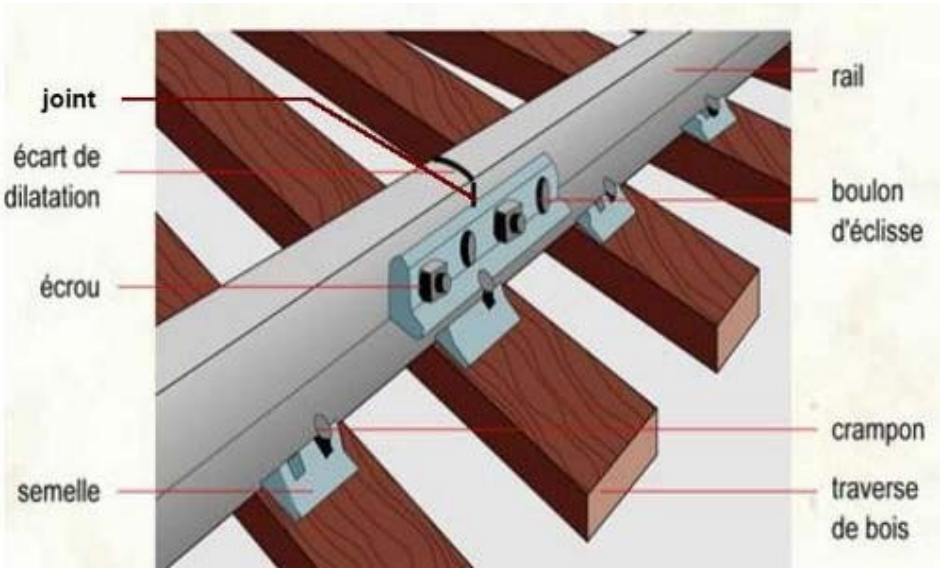


Figure V. 6. Constituant de l'éclisse

On donne aux éclisses une forme et des dimensions telles que les éclisses prenant appui sur le patin, soutiennent convenablement le bourrelet « champignon » et conservent ainsi autant que possible au rail sa raideur et sa résistance ; que la voie garde son alignement et sa rigidité.

Puisque la longueur élémentaire des rails a constamment crue depuis les origines du chemin de fer à nos jours qui est de 18 m ,36 m, 72 m, 75 m, 80 m, 100 m ou 120 m actuellement. La dilatation des rails a été une source de désagréments pour les exploitants ferroviaires.

Une autre méthode d'assemblage des rails a été adoptée sert à supprimer la plupart des joints des rails sur des longueurs importantes, souvent de plusieurs dizaines de kilomètres.

Long Rail Soudé : les longs rails soudés ou LRS, appelés aussi « barres longues », constituent une méthode moderne de pose des voies ferrées ; Les rails peuvent être soudés sur plusieurs dizaines de kilomètres sans joint de dilatation.



Figure V. 7. Assemblage du rail par soudure des LRS

Les LRS présentent deux principaux avantages, qui sont la conséquence de la suppression des joints éclissés :

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

Les inconvénients largement compensés par les avantages, sont par exemple :

- nécessitant un personnel bien formé leur de mise en œuvre et leur de l'entretien
- un risque accru par rapport aux barres normales de rupture de rail lors des périodes de grand froid du fait de la tension régnant dans les barres.

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

V-3-2-Les traverses

La traverse est un élément fondamental de la voie ferrée. C'est une pièce posée en travers de la voie, sous le rail, pour en maintenir l'écartement et l'inclinaison, et transmettre au ballast les

charges des véhicules circulant sur les rails. On utilise principalement des traverses en bois, en béton ou métalliques.

- **Traverses en Bois :** ils assurent la souplesse et l'isolement d'électricité, présentant une grande cohésion, ce sont généralement en bois de chêne ou bois hêtre.



Figure V. 8. Traverse en bois

- **Traverses en Métal :** elles sont plus légers que les traverse en bois, leurs extrémités sont enfoncées dans le ballast pour empêcher tout déplacement, vue leurs légèreté elles sont faciles à poser, cependant, elles sont bruyantes et conductrices d'électricité, donc nécessitent des dispositifs d'isolement couteux.



Figure V. 9. Traverse métallique

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

- **Traverses monobloc** : en béton précontraint, amincies dans leur partie centrale, armées de fils à haute résistance, caractérisées par une masse très élevée, une faible résistance à la fatigue qui se traduit dans la partie centrale.

- **Traverse bi-bloc** : en effet ,pour transmettre les efforts du rail au ballast il n'est utile de disposer de matière que dans le volume compris entre la surface d'appui du rail sur la traverse et la surface d'appui de traverse sur le ballast .Il suffit donc de disposer ,sous chaque file d'un blochet en béton. Cette traverse est constituée de deux appuis à large empattement, dont l'écartement est maintenu par une entretoise métallique.



Figure V. 10. Traverse monobloc en béton précontraint



Figure V. 11. Traverse bi-bloc

V-3-3-Les Accessoires De Pose

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

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

V-3-3-1-La semelle

Posée entre le rail et la traverse généralement en élastomère «caoutchouc» de 9 mm d'épaisseur à une capacité d'amortissement importante qui peut réduire considérablement les charges exercées sur les traverses.

V-3-3-2-Les attaches

Une attache est un dispositif constitué d'un crapaud qui est maintenu par un écrou accroché dans la traverse, elle sert à fixer le rail sur traverse pour l'empêcher de tout déplacement.

Il existe des attaches rigides comme tirefonds et crampons utilisées pour les traverses en bois, le premier type serre mal le patin, le rail alors peut se relever de la traverse, le deuxième est tellement rigide, que le rail peut soulever la traverse en se redressant, pour les traverses métalliques, il s'agit des boulons qui fixent les crapauds sur le patin. Des attache élastiques « de types nabla, E-clip etc. » convient aux longs rails soudés sur les traverses en béton sont les plus utilisées, ils peuvent résister d'une manière élastique aux mouvements verticaux, surtout vers le haut, ces déplacements se font sans jeu, sans chocs.

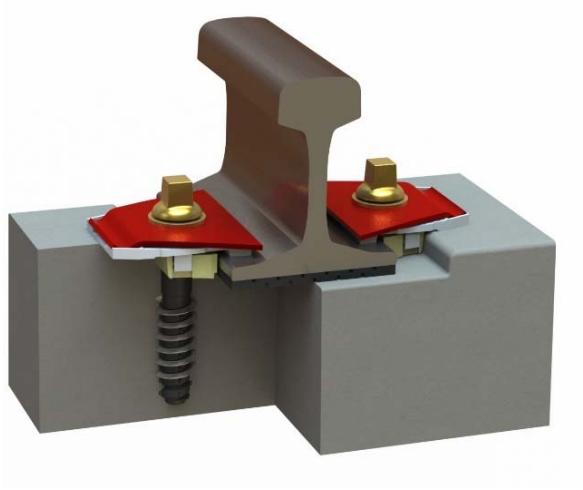


Figure V. 12. Attache élastique Nabla



Figure V. 13. Attache élastique E-Clip

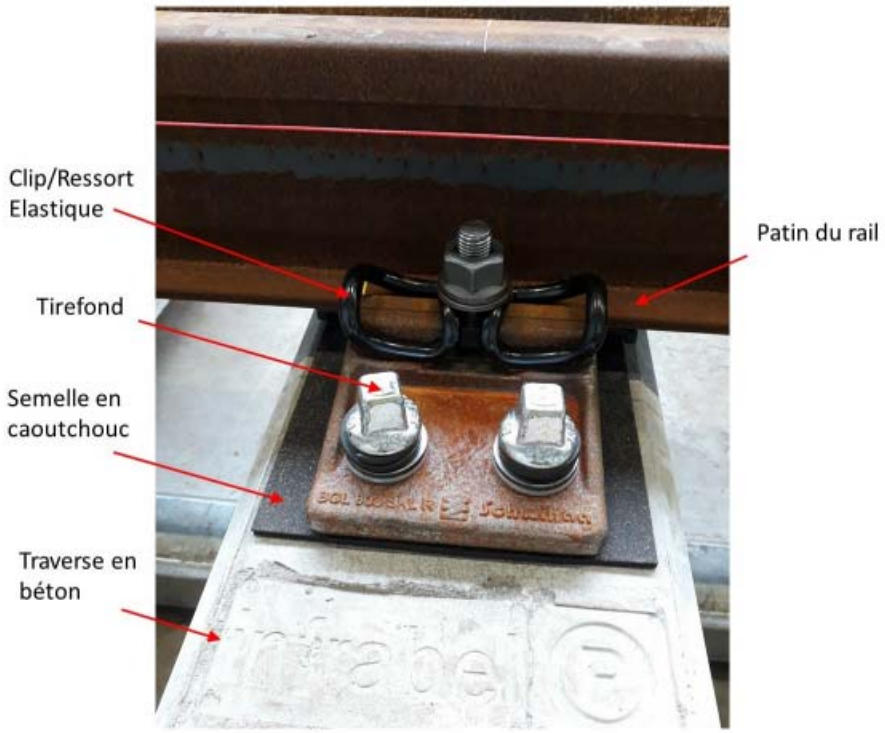


Figure V. 14. Liaison rail-traverse

V-3-4-Le ballast

Les pressions résultant du matériel roulant sur la voie sont transmis et répartie sur le sol naturel par l'intermédiaire d'une couche sous un nom générale de « ballast ». Son épaisseur est variable suivant les propriétés des terrains sous-jacents, mais ne descend toutefois jamais au-dessous de 30cm.

Le ballast sera constitué par de la roche concassée 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.

V-4-LES APPAREILS DE VOIE

Les appareils de voie sont des dispositifs qui permettent la communication d'une voie sur une autre ou le croisement à niveau de deux voies, tout en conservant le mouvement. En effet, le conducteur d'un train n'ayant aucune maîtrise de la direction prise par le convoi, ce sont les appareils de voie qui sont chargés de le guider et de l'orienter de façon mécanique et passive ; Il peut être commandé automatiquement ou manuellement depuis un poste d'aiguillage ou bien à pied d'œuvre (sur le terrain) par une personne habilitée. Ainsi on peut les classer suivant deux types :

- **Le branchement :** comporte deux pièces mobiles terminées en pointe ; Sur un appareil de voie de type branchement simple on distingue trois parties :

1. la partie aiguillage qui comprend les aiguilles mobiles et les contre aiguilles
2. la partie intermédiaire qui est assimilable à de la voie courante
3. la partie croisement qui comprend le cœur de croisement et les contre-rails

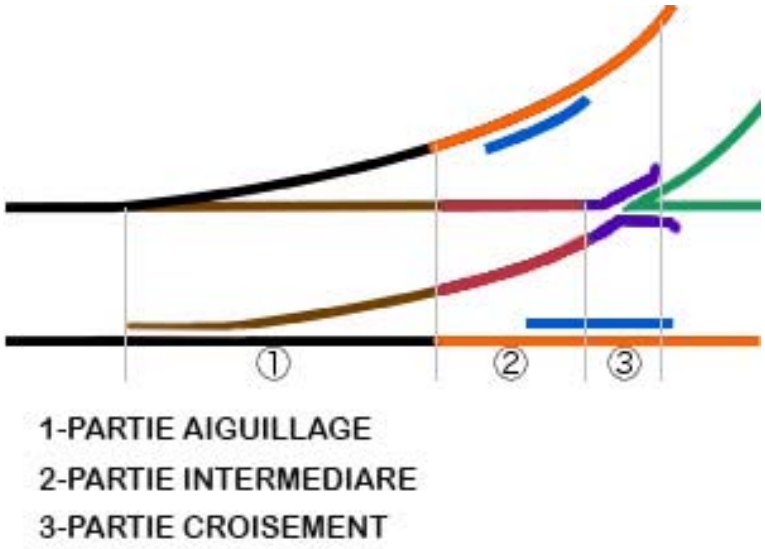


Figure V. 15. Appareil de voie type branchement simple

- **Les traversées :** les traversées simples permettent le croisement à niveau d'une voie par une autre, sans qu'il ne soit possible d'agir sur l'orientation des trains

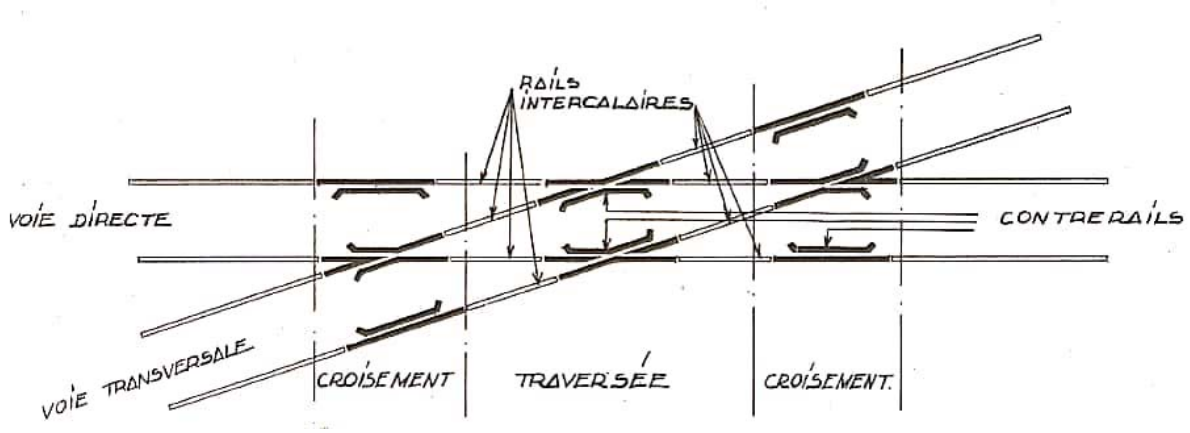


Figure V. 16. Appareil de voie type traversée simple

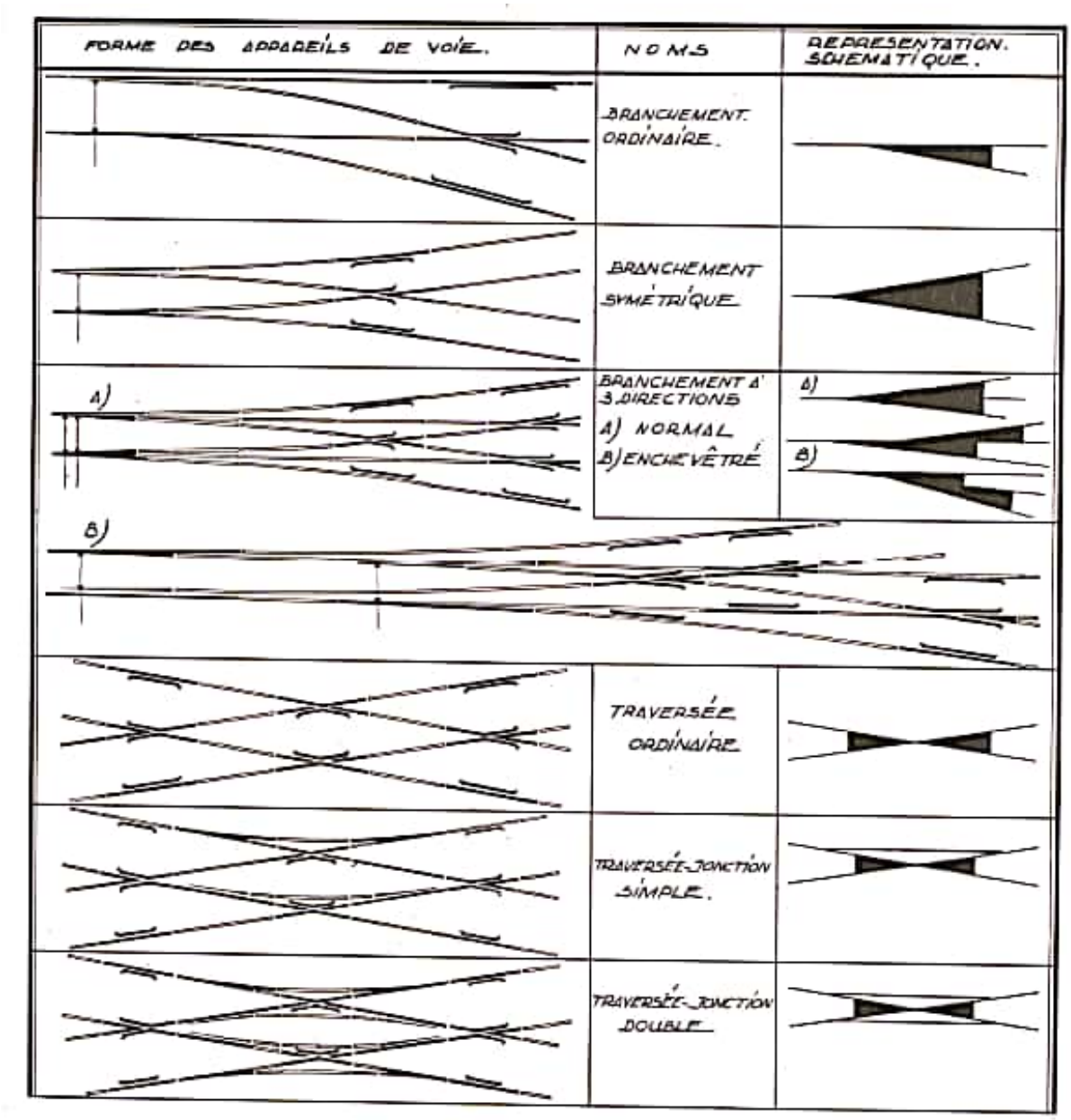


Figure V. 17. Formes des appareils de voie

Les caractéristique qui on a adapté pour ce qui concerne le rail et le traverse sont le suivant :

Le rail : il existe deux nuances de profilés de rails selon leurs masses linéiques qui sont utilisés par SNTF, l'un est de 54 kg/m « Type UIC 54 et 54E » et l'autre 60 kg/m « Type UIC 60 et 60E » ; les fiches UIC n'imposent qu'une seule exigence ; avoir un profil de rail compris dans la liste de la norme EN 13674-1 soit à partir de 46 kg/m.

On propose un type de rail **UIC 60E1** pour une conception en **LRS**.

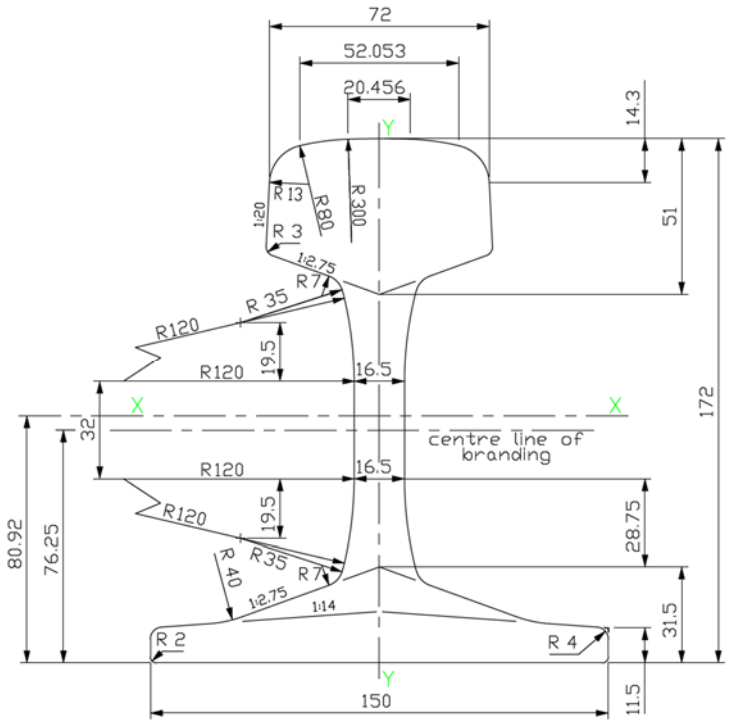


Figure V. 18. Profil de rail 60 E1

Tableau V. 1. Caractéristiques du Rail 60 E1

Rail 60 E1 « UIC 60 »	**Norme EN**	**13674-1**	**Moment d'inertie «y-y»**	**512.3cm^4**
	Surface de section	76.70 cm^2	Module d'inertie «y-y»	68.3 cm^3
	Masse par mètre	60.21kg/m	Dimension A	20.456mm
	Moment d'inertie « x-x »	3038.3 cm^4	Dimension B	52.053mm
	Module d'inertie champignon	333.6 cm^3	Densité	7.85g/cm^3
	Module d'inertie patin	375.5 cm^3		

Les traverses : le choix des traverses se base sur le tonnage des essieux et la vitesse maximale parcourue; on propose trois types de traverses ; en pleine voie et dans des tunnels et des OA.

- Traverse bi-bloc : type **VAX U31** « assimilée a B440 » pour la pleine voie pour un tonnage de 22.5 T/essieu et pour une vitesse inférieure ou égale à 160 km/h, avec un travelage de 1 666 traverse/km, et de classe 3 vis-à-vis des LRS
- Traverse monobloc : type **M440** pour les tunnels et **M453 PI** qui contient un rail de sécurité pour les OA pour un tonnage de 22.5 et 25 T/essieu respectivement

et pour une vitesse inférieure ou égale à 160 km/h, avec un travelage de 1 667 traverse/km, et de classe 4 vis-à-vis des LRS.

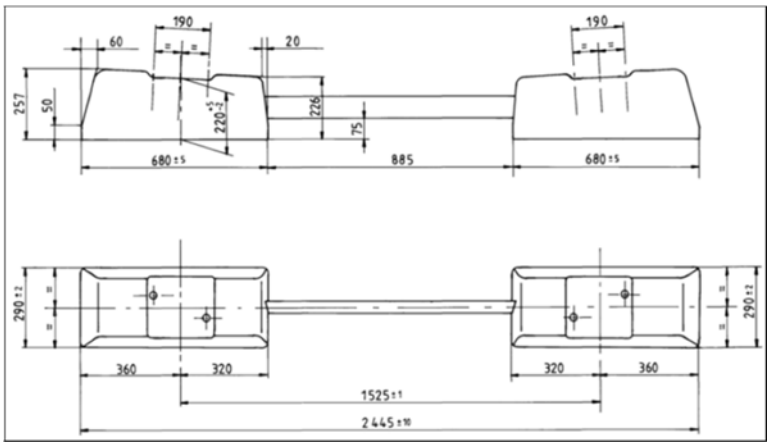


Figure V. 19. Traverse bi-bloc VAX U31

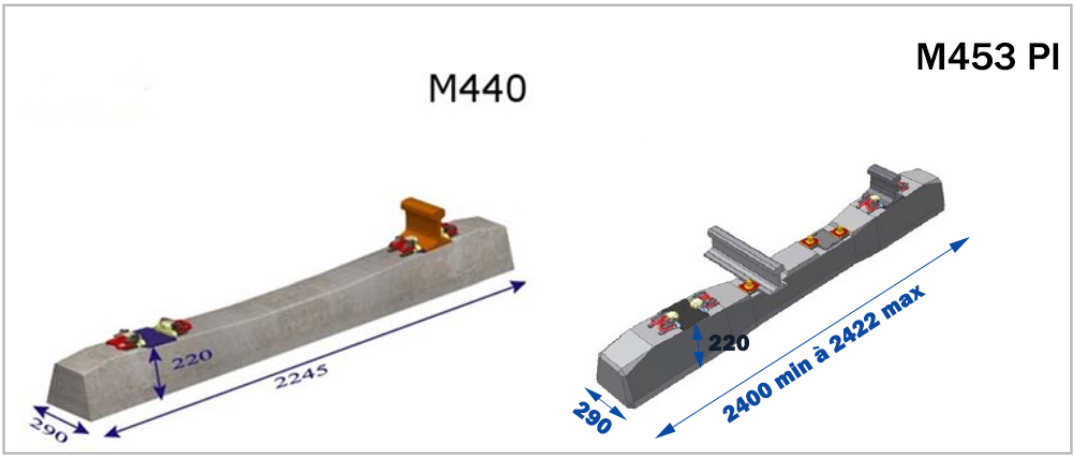


Figure V. 20. Traverses monobloc

V-5-CONCLUSION

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

Tableau V. 2. Caractéristiques des composantes adoptées

Composante	Caractéristique
Rail	Rail Vignole UIC 60 E1
Traverse	En béton bi-bloc « VAX U31 » en pleine voie et monobloc sur OA « M453PI » et tunnels « M440 »
Attache	Elastique de type NABLA
Ecartement	e=1 435mm

Remarque : les appareils des voies et l'épaisseur du ballast sont déterminés dans les chapitres suivants.

CHAPITRE VII

Terrassements et assise de voie

VI-1-INTRODUCTION

L'infrastructure est la partie inférieure sur laquelle repose la voie, elle sert à répartir et à transmettre les charges induites par les trains au sol support. Dans ce chapitre,on va déterminer les différentes épaisseurs des couches constitues l'assise, aussi les différentes dispositions permettant de rendre les talus stables.

VI-2-TERASSEMENTS

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

VI-2-1-Pentes de talus

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

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

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

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

VI.2.2.Déblais

La géométrie des talus en déblais choisie basée sur la géométrie de la plateforme ferroviaire, type de structure d'assise retenu et type de drainage. Tout en assurant la stabilité de l'ouvrage en respectant coefficient globale de sécurité F : [3]

- $F \geq 1.5$ pour la stabilité à court terme.
- $F \geq 1.3$ pour la stabilité à long terme.
- $F \geq 1$ pour la stabilité sous la sollicitation sismique.

Des dispositifs d'assainissements de drainage (fossé de crête, fossé en pied de talus et éventuellement des descentes d'eau) seront mis en œuvre pour capter et canaliser les eaux de ruissellement vers des exutoires appropriés, limitant ainsi le risque d'érosion des talus.

VI.2.3.Remblais

Pour exécution des remblais il est toujours nécessaire de débarrasser le sol de tout ce qui pourrait nuire à la liaison du terrain en place avec les remblais tels que les racines, souche et débris de tout nature et la terre végétale sur une épaisseur suffisante.

Si le terrain d'assiette est en grande pente comme notre cas, il y a lieu de créer des redans pour permettre l'accrochage des remblais.[20]

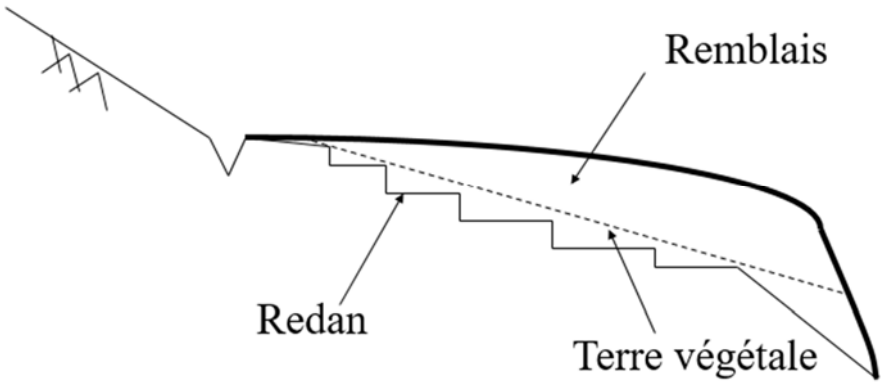


Figure VI. 1. Remblais dans une grande pente [20]

La largeur de la partie supérieure du remblai (arase terrassements) est fonction :

- La géométrie de la plateforme ferroviaire.
- Type de structure d'assise retenu.

Pour la mise en place des remblais on remblaie d'abord les parties les plus basses ; on dispose les remblais par couches successives de 20cm d'épaisseur pour améliorer compactage et augmenter la cohésion des remblais. [20]

Les conditions sur les facteurs de sécurité précédents doivent être vérifiées pour assurer la stabilité des talus en remblai.

Vérification de stabilité avec modèle numérique «Logiciel Geostudio »:

Cas d'un Déblai :

- Position : PK 55+000.
- Hauteur Totale : 13 m.
- Couches : une seule couche d'unité géotechnique **AC«** Alluvions et conglomérats **».**
- Paramètres Court terme : C_u = 22 kPa, Φu = 20.85° et γ_h =20.9 kN/m^3.
- Paramètres Long terme : C' = 31 kPa, Φ' = 21.25° et γ_s =18.35 kN/m^3.
- Pente proposée : **3H/2V**, Risberme : 3 m, Hauteur : 8 m.
- Sismicité : zone « II a » avec accélération de 0.25 selon RPOA
  - Coefficient sismique horizontal : k_h = 0.5*0.25=0.125.
  - Coefficient sismique vertical : k_v = 0.3*k_h=0.0375.

Résultats :

Tableau VI. 1. Facteurs de sécurité cas d'un déblai

PK 55+000	Court terme	Long terme	Sismique
Facteur de sécurité « F »	1.597	2.008	1.241

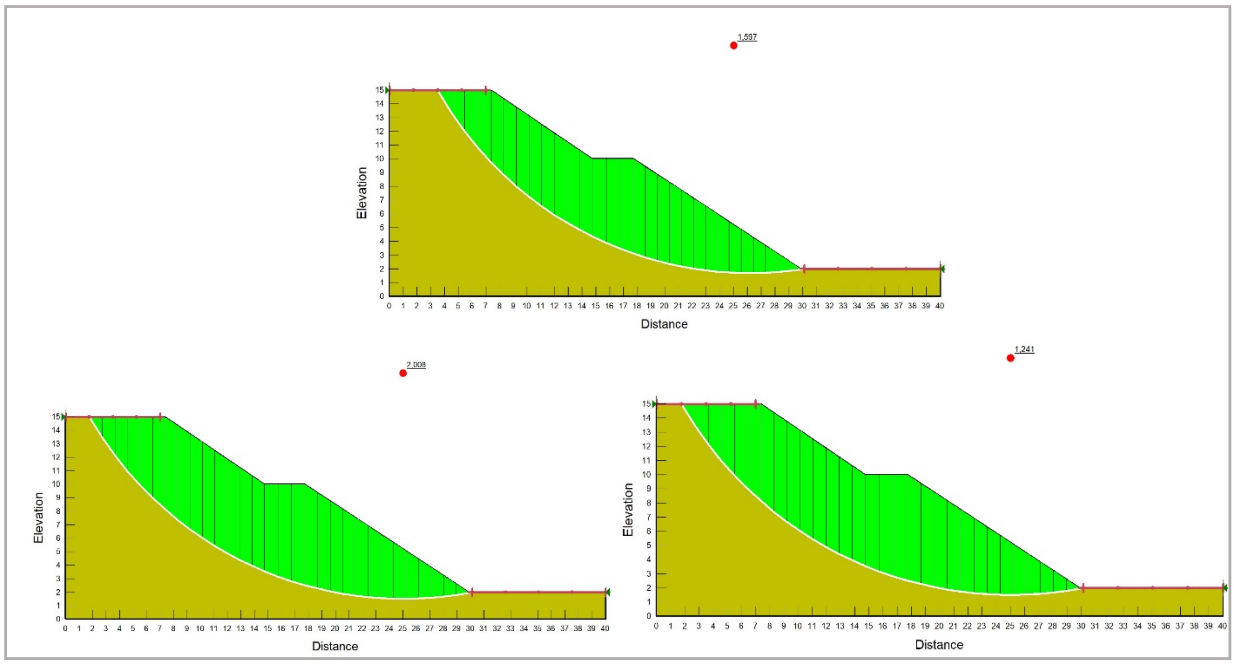


Figure VI. 2. Résultats de stabilité d'un déblai avec logiciel geostudio

Cas d'un Remblai :

- Position : PK 60+075.
- Hauteur Totale : 39 m.
- Couches : trois couches d'unité géotechnique **AC**« Alluvions et conglomérats » et **ARQ** « Argile limoneuse quaternaire » en plus du matériau de Remblai.
- Surcharge de 30 Kpa.
- Pente proposée : **2H/1V**, Risberme : 3 m, Hauteur : 8 m.
- Sismicité :
    - Coefficient sismique horizontal : $k_h = 0.5*0.25=0.125$.
    - Coefficient sismique vertical : $k_v = 0.3*k_h=0.0375$.

Tableau VI. 2. Paramètres des couches du remblai

Couches	Court terme			Long terme		
	C_u	Φu	γ_h	C'	Φ'	γ_s
REMBLAI	5	30	20	5	30	20
ARQ	127	20.50	20.9	29	27	17.8
AC	105	23	21.8	36	22	19.3

Résultats :

Tableau VI. 3. Facteurs de sécurité cas d'un remblai

PK 60+075	Court terme	Long terme	Sismique
Facteur de sécurité « F »	2.065	1.544	1.023

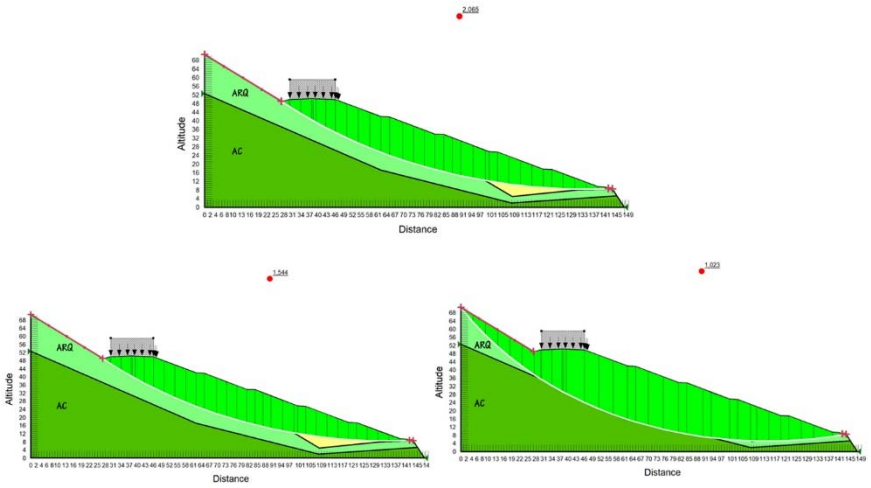


Figure VI. 3. Résultats de stabilité d'un remblai avec logiciel geostudio

Les trois conditions des coefficients de sécurité sont vérifiées ; donc le talus est stable.

VI.2.4-Réutilisation des sols en remblais

Afin de réduire le cout d'emprunt, on peut réutiliser les sols extraits des déblais pour mettre on remblais selon leur aptitude à la réutilisation ; pour cela le référentiel technique UIC 719 exiges des conditions de réutilisation des sols sont :[6]

- Les sols non réutilisable : sols 0.1 à 0.6, 1.1 « lorsque ces sols sont très plastiques ou moyennement plastiques » et 1.2.
- Les sols réutilisables sous certaines conditions « teneur en eau, conditions climatiques, hauteur limitée de remblai, enveloppe de matériaux médiocres par une protection de meilleure qualité, couche sandwich) : sols 1.1 (lorsque ces sols sont peu plastiques), 1.3 à 1.5, 2.1 et 2.2.
- Les sols toujours réutilisables : sols 2.3, 3.1 et 3.2.

Classification des sols (Identification géotechnique)		
0.1 Sols organiques 0.2 Sols fins (comportant plus de 15 % de fines (1)) foisonnés, humides et donc non compactables 0.3 Sols thixotropes (2) (quick-clay par exemple) 0.4 Sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse) 0.5 Sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels, par exemple) 0.6 Sols mixtes "minéraux organiques" (2).	1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (1) (sauf sols 0.2) 1.2 Roches très évolutives Par exemple : - Craies de ρ_d < 1,7 t/m^3 et de friabilité forte - Marnes - Schistes altérés 1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (1) (sauf sols 0.2) 1.4 Roches évolutives Par exemple : - Craies de ρ_d < 1,7 t/m^3 et de friabilité faible - Schistes non altérés 1.5 Roches tendres Par exemple : Si microdeval en présence d'eau (MDE) > 40 et Los Angeles (LA) > 40	2.1 Sols comportant de 5 à 15 % de fines (1) 2.2 Sols comportant moins de 5 % de fines (1) mais uniformes ($C_U \leq 6$) 2.3 Roches moyennement dures Par exemple : Si 25 < MDE ≤ 40 et 30 < LA ≤ 40 3.1 Sols comportant moins de 5 % de fines (1) 3.2 Roches dures Par exemple : Si MDE ≤ 25 et LA ≤ 30

Figure VI. 4. Classes des sols selon leurs aptitudes à réutilisation [6]

Tous les sols classés précédemment « **ARQ** : argile limoneuse quaternaire, **MI** : miocène inferieur marneux argileux, **AC** : alluvions et conglomérats du plateau miocène » sont de classes GTR A_2 et A_3 et de classe UIC **1.1** de nature **peu plastique** on peut réutiliser en remblais avec certaines conditions.

VI.3.COUCHE D'ASSISE

La couche d'assise a pour but d'assurer le bon comportement de la voie ferrée du point de vue de la rigidité, de la stabilité et du drainage. Elle comprend la couche de ballast, la sous-couche :

VI-3-1-Ballast : est un élément considéré comme faisant partie de la superstructure, matériaux granulaire qui doit avoir des qualités de haute résistance, la granulométrie du ballast comprise entre 22.4 et 63 mm ; d'épaisseur minimal de 25 cm.

VI-3-2-Sous couche : est une couche d'adaptation interposée entre ballast et plate-forme. Mono ou multicouche, composée de matériaux grenus (sables ou graves) bien gradués qui comporte parfois des tapis de natures diverses : feuilles étanches plastiques (géomembranes) ou feuilles en feutre synthétique anti-contaminant (géotextile).

Constituée de :

- **Sous ballast** : constitué de grave propre bien graduée comprise entre 0 et 31.5 mm, permet la transmission et la répartition des charges sur la plateforme.
- **Fondation** : on utilise une couche de fondation si certaines conditions du sol ne sont pas satisfaites, d'une épaisseur minimale de 15 cm.
- **Anti-contaminant** : protéger les sous couches supérieures de la remontée de particules fines de la plateforme ; Cette couche est éventuelle.

VI-4-PLATE-FORME [6] [3]

C'est la partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la sous-couche. La plateforme est constituée de terres rapportées dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai.

La portance de la plateforme dépend de la qualité du sol constituant « remblai ou déblai », la qualité et l'épaisseur de la couche de forme lorsque cette dernière existe.

On peut distinguer en fonction de ces paramètres trois classe de portance de la plateforme sont les suivants :

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

Donc pour obtenir une classe de plateforme bonne P3 « imposée par le maitre de l'ouvrage » de qualité QS3 on prendre une épaisseur minimale de couche de forme égale à 0.50 m.

Tableau VI. 4. Les épaisseurs des couches de formes selon les classes des sols et portances envisagés [6]

Classe de qualité du sol	Classe de portance envisagée pour la Plate-forme	Classe de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance	
		Qualité	Epaisseur minimale en mètre
QS1	P1 P2 P2 P3	QS1 QS2 QS3 QS3	- 0.50 0.35 0.50
QS2	P2 P3	QS2 QS3	- 0.35
QS3	P3	QS3	-

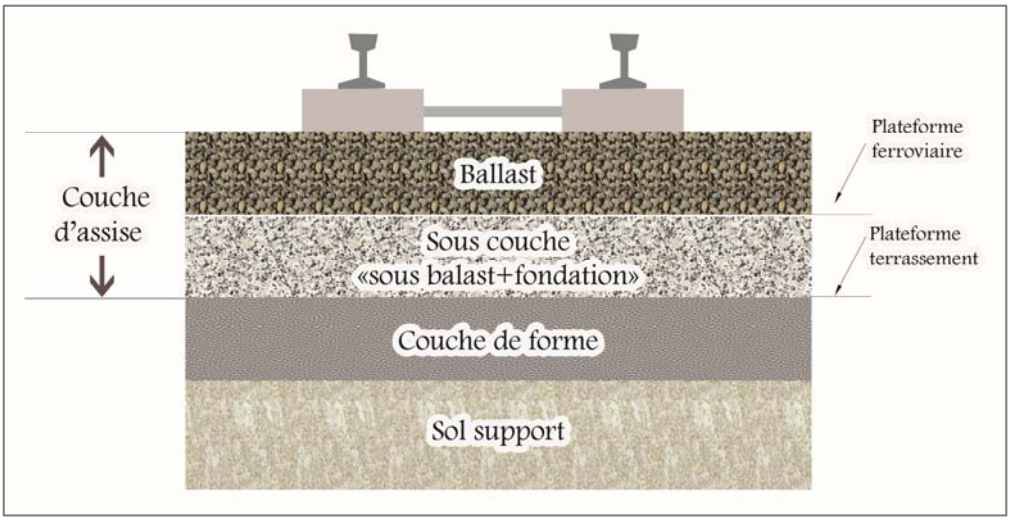


Figure VI. 5. Les déférentes couches de la plateforme

VI.5.EPAISSEURS DE COUCHE D'ASSISE « BALLAST + SOUS-COUCHE »

La formule générale pour calculer l'épaisseur minimale « **e** » des couches d'assises est :

$$e = E + a + b + c + d + f + g \quad [6]$$

Tel que : [6]

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

❖ Valeurs de E :

E=0.70 m pour les plates-formes de classe de portance P1.
E=0.55 m pour les plates-formes de classe de portance P2.
E=0.45 m pour les plates-formes de classe de portance P3.
Pour notre cas la classe de plateforme est de P3 correspondre à E=0.45m.

❖ Valeurs de a :

a=0 pour les lignes des groupes UIC 1et 2 ou lignes à V ≥ 160 km/h quel que soit le groupe UIC.
a= -0.05 pour les lignes de groups UIC 3 et 4.
a= -0.10 pour les lignes de groupe UIC 5,6 et 7, 8,9 avec voyageurs.
a= -0.15 pour les lignes de groupe UIC 7, 8, 9 sans voyageurs.

Notre ligne atteindre une vitesse de 160 km/h ce qui convient à une valeur de a= 0.

❖ Valeurs de b :

b= 0 pour les traverses en bois de longueurs L= 2.60m.
b= (2.50-L)/2 pour les traverses en béton de longueur L. L et b en mètre (si L>2.5, b peut être négatif).
On a des traverses en béton avec L=2.245m.

❖ Valeurs de c :

c= 0 pour un dimensionnement normal.
A titre exceptionnel «c »peut être pris égal à -0.05 m ou -0.10 m pour des lignes de groupe UIC 7, 8,9 ou pour des voies de service de catégories B et C.

❖ Valeurs de d :

d= 0 lorsque la charge nominale maximale d'essieu des véhicules remorques est inférieur ou égale à 200 KN.
d= 0.05m lorsque cette charge est de 225 KN.
d= 0.12m lorsque cette charge est de 250 KN.

La charge des trains est de 22.5 tonnes/essieu donc on prend d= 0.05.

❖ Valeurs de f :

f =0 pour toutes les lignes parcourues à V ≤ 160 Km/h et pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse.
f = 0.05 pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse.
f = 0,10 pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse.
On prend f =0 pour une vitesse V≤ 160 Km/h et de portance P3.

❖ Valeurs de g :

g= +1 géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2.
g= 0 (pas de géotextile), lorsque la couche de forme est en sol QS3.

On a une couche de forme QS3 correspondre à g = 0
Ce qui concerne application au projet on a trouvé :

Plateforme : [3]

Les spécifications techniques conforme au référentiel SNTF chapitre 6 sont :

- La largeur de la plateforme en double voie est fixée à 13,60m avec un entraxe de 4,20m.
- La plateforme retenue est un profil en toit, avec un sommet se situant entre les voies V1 et V2.
- L'infrastructure est constitué d'une sous couche réalisée avec une pente de 4% vers l'extérieur de la plateforme.
- Des fossés fond de déblai seront implantés à plateforme dans les zones de déblai afin d'évacuer les eaux de ruissellement.
- Une bande de 700 mm dite bande SES sera prévue pour l'implantation des équipements de signalisation, télécommunications et électrification.
- Une piste de 700 mm est implantée pour la circulation piétonnière du personnel de maintenance de la voie dans le cas des voies à l'air libre uniquement.
- L'axe des poteaux caténaires est situé à 3,25 m de l'axe de la voie.

Couche d'assise :

Tableau VI. 5. Paramètres de classification de couche d'assise

Paramètre	Valeur (m)	Critère de choix
E	0.45	Classe de plateforme P3
a	0	V > 160 km/h
b	0.13	Traverse en béton avec L=2.245 m
c	0	Dimensionnement normal
d	0.05	La charge maximale 22.5 tonnes/essieu
f	0	Plateforme classe P3 et V
g	0.01	Avec géotextile pour qualité QS1

Ainsi **:** $\boldsymbol{e = 0.45 + 0.13 + 0.05 + 0.01 = 0.64}$
e= 0.64 m on prend e=0.65 m donc les différentes épaisseurs du profil en travers comme suit :

- Couche de ballast 30 cm.
- Sous ballast 35 cm.
- Couche de forme de type QS3 et qualité P3 e_f = 50 cm.
- Rail de type 60E1 avec hauteur de 17.2 cm.
- Traverse bi-bloc VAX U31 avec une hauteur sous rail de 22 cm.
- La semelle en élastomère 0.9 cm.

Epaisseur de la superstructure est : **30+22+0.9+17.2 = 70.1 cm**
Epaisseur de l'infrastructure est **: 35+50 = 85 cm.**

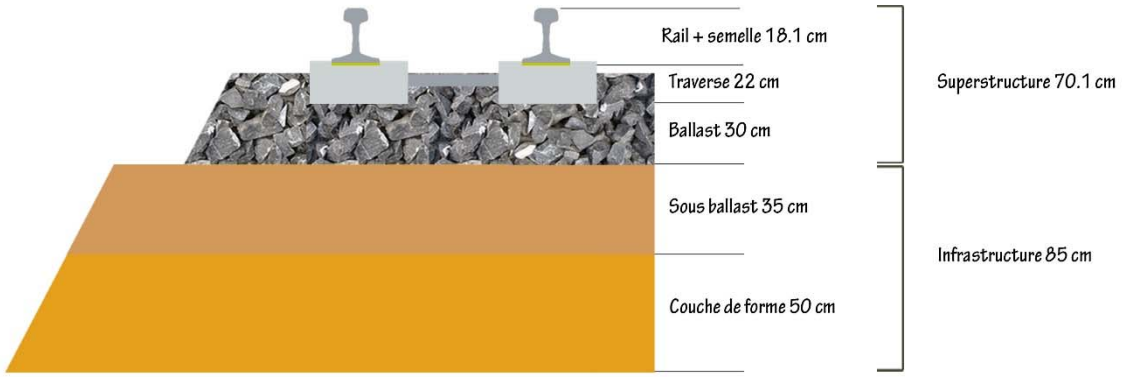


Figure VI. 6. Les déférentes épaisseurs de voie

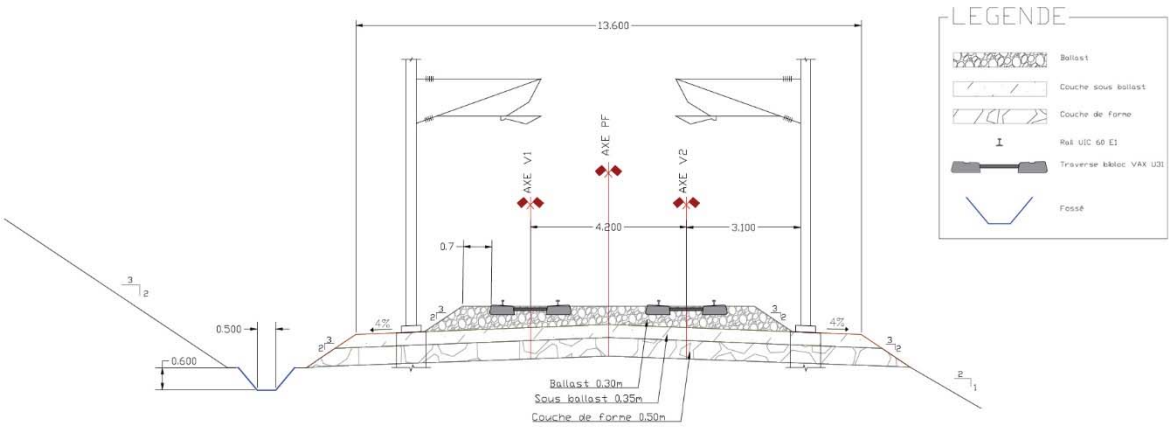


Figure VI. 7. Profil en travers type

VI.6.CUBATURES

Les volumes totales du différentes couches de projet sont comme ci-après :

Tableau VI. 6. Volume de terrassements et des couches de la voie

	Remblai	Déblai	Ballast	Sous Ballast	Couche de forme
Volume en m^3	1 226 342	976 591	84 463	62 891	95 287

VI.7.CONCLUSION

Le bon dimensionnement de différents éléments du profil en travers soit la couche d'assise ou bien les talus tout en respectant les normes permettre à la voie de supporter et transmettre la charge provoqué par le matériel roulant, minimiser entretien et les quantités des matériaux et garantir une longue durée de vie.

CHAPITRE VII

Etude hydrologique et assainissement

VII.1 INTRODUCTION

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

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

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

VII.2 PRESENTATION HYDROLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

VII.2.1 Présentation générale du réseau hydrographique

La cartographie à l'échelle de 1: 25 000 montre la présence de 2 oueds et 5 chabets (petite plaine inondable). Les principaux cours d'eau qui composent le réseau hydrographique de la zone d'étude sont oued Ehous et oued Bergoug, Le tracé de la nouvelle ligne ferroviaire longe l'oued Edhous sur toute la partie Bouira, sur environ six (6) kilomètres.

Le lac visible sur la photographie aérienne qui se trouve sur l'oued EDhous est contrôlé par le barrage Tilesdit, en aval de la voie ferrée. Ce dernier étant placé en aval d'un OA, son influence sur la conception de la voie ferrée est considérée non significative.



FigureVII.1 Communes affectes pour les alternatives de couloirs

VII.2.2 Le climat

Le climat de la zone d'étude est typique de la région tellienne avec des caractéristiques méditerranéennes le long du littoral et c'est un début de climat semi-aride qui se développe à partir de Bouira en se dirigeant vers BBA, soit subhumide. La zone présente des conditions climatiques caractérisées par un hiver normalement froid et humide et par un été sec et chaud.

Les valeurs de la température moyenne mensuelle et annuelle, ainsi que la température minimale du mois le plus froid « m » et la température maximale du mois le plus chaud «M», sont présentées au tableau :

Tableau VII.1 les températures moyennes mensuelles et annuelles (C°) de la station de Bouira [14]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Annuelle
m	3,4	3,5	6,0	7,5	11,6	15,7	18,2	18,5	15,4	12,3	7,3	4,6	10,3
M	11,7	13,1	16,6	18,6	23,3	29,5	31,9	31,7	26,9	22,7	15,2	12,1	21.1
T_{moy} (c°)	7,5	8,3	11,3	13,1	17,4	22,6	25,1	25,1	21,1	17,5	11,3	8,4	15.7

L'examen du tableau précèdent révèle que la température la plus basse a été enregistrée en janvier avec 3.4°C tandis que le maximum apparait en juillet avec 31.9°C. Pour la température moyenne annuelle elle est de 15.7°C.

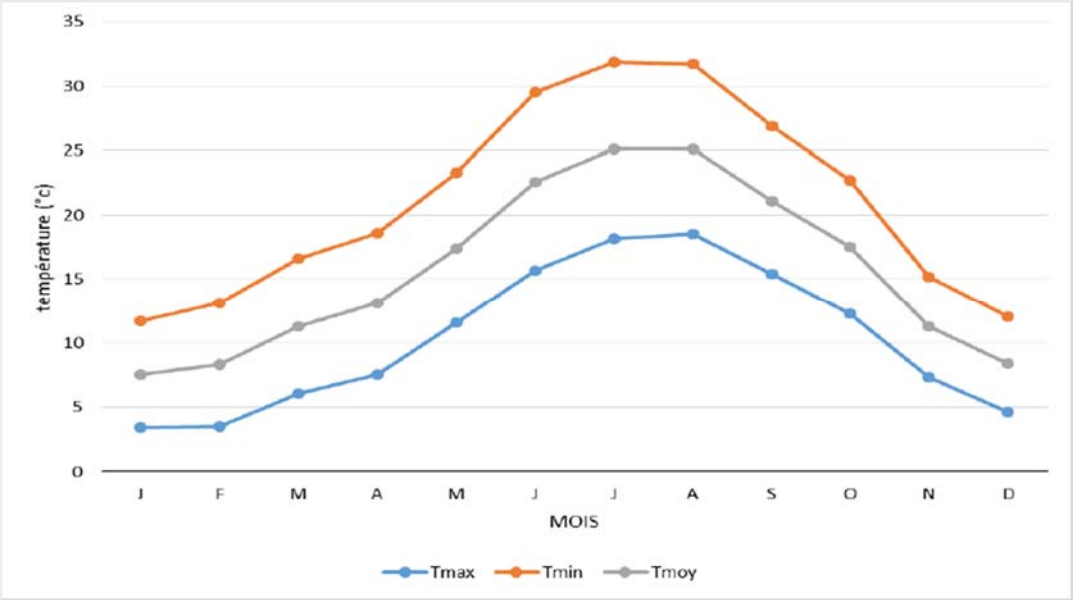


Figure VII.2 graphe des températures moyennes mensuelles et annuelles (C°) de la station de Bouira

- Tmin : Température moyenne minimale du mois
- Tmax : Température moyenne maximale du mois
- Tmoy : Température moyenne mensuelle

Références : Office nationale de Météorologie (1999-2009)

VII.2.3 Précipitations

Les données pluviométriques de toute la zone d'étude couvrant les différents bassins versants du Soummam et Isser ont été recueillies. Il s'agit d'observations journalières reportées sur des tableaux de cumuls mensuels.

Selon l'Agence Nationale des Ressources hydrauliques (ANRH).

Tableau VII.2 les caractéristiques statistiques de la pluviométrie [14]

station	Période d'observation	Minimum (mm)	Maximum (mm)	Moyenne (mm)	Ecart type (mm)
Bouira	72	187	857	513	187

VII.2.4 Pluies annuelles

Les données pluviométriques de la station de Bouira ont été exploitées en effectuant une analyse fréquentielle. Les résultats statistiques des pluies annuelles sont donnés dans le tableau :

Tableau VII.3. Précipitations annuelles [14]

Période de retour	2	5	10	20	50	100
fréquence	0.500	0.800	0.900	0.960	0.980	0.990
Précipitation	506	668	756	854	919	978

La pluie annuelle moyenne dans la région est comprise entre 200 et 800 mm d'après la carte des pluies de l'Algérie du Nord de l'ANRH

VII.2.5 Pluies journalières

La protection contre les dégâts des eaux nécessite de s'intéresser aux pluies journalières maximales annuelles. Théoriquement les valeurs extrêmes s'ajustent à une loi des valeurs extrêmes. En effet, les pluies journalières maximales annuelles pour les différentes stations recueillies s'ajustent bien à la loi des Valeurs Extrêmes Généralisée (GEV) Dans le tableau sont présentées les pluies journalières maximales des différentes stations pour différentes fréquences.

Tableau VII.3 Précipitations journalière [14]

Période de retour	2	5	10	20	50	100
fréquence	0.500	0.800	0.900	0.960	0.980	0.990
Précipitation	40	59	75	99	119	142

VII.2.6 Caractéristique des bassins versants

La détermination des caractéristiques des bassins versant nécessite le calcul des paramètres explicatifs, telle que la surface, et longueur….etc.

Le PK (Point Kilométrique) sert de repérage du passage d'un tronçon de la voie ferrée sur l'oued ; la délimitation des bassins versants est faite à partir de son intersection.

Une enquête détaillée sur terrain pour déterminer les caractères des bassins versants traversés par le tracé qui s'étale entre le PK55+00 et le PK70+00 en s'appuyant sur le levé topographique et les plans topographiques de la zone. Les paramètres physiques peuvent être calculés, sans grandes difficultés, avec une précision satisfaisante

Le tracé, tel qu'il est conçu, traverse 1 cours d'eau important en 1 point de franchissement dont la superficie du bassin versant a une étendue de 617 km², et la longueur du cours d'eau est de 60 km c'est le cours d'eau d'oued Edhous. Les débits de référence ont été estimés en se basant sur les données hydrométriques recueillies auprès de l'ANRH.



Figure VII.3 oued Edhous

Tableau VII.4 Les débits des différentes périodes d'oued Edhous [14]

Traverse	BV(km²)	station	Debit (m³/s)							
			2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 Ans	100 ans	500 ans	1000 ans
Oued Edhous	617.0	Tilesdit	167.2	301.9	401.1	538.7	651.2	769.6	1087.8	1250.6

Ce bassin versant traverse la ligne de la voie au PK 61+408, il passe sous l'ouvrage 4.

Le tableau suivant résume les caractéristiques de quelque bassin versants de la zone d'étude (**NB : la totalité des bassins versants est représentée dans l'annexe**):

Tableau VII.5 les caractéristiques des bassins versants de la zone d'étude

num	PK	L	H_{max}	H_{min}	H_{moy}	ΔH	P	S_{bv} (ha)	C
2	55+809	318	559.8	550.1	554,95	9,7	4.1	8.9	0.69
11	59+946	103	578.7	556.3	567,5	22,4	28.9	1.07	0.69
33	68+623	1464	530.5	496.3	513,4	34,2	3.1	103.78	0.70
34	69+382	2958	531.6	498.3	514,95	33,3	1.5	242.90	0.69

Près de 99% de l'ensemble des bassins (soit 35 bassins) possèdent une étendue inférieure à 10 km² et seulement 1 bassin a une superficie supérieure à 100 km² (seuil d'oued Edhous).

Près du quart des bassins versants (10 bassins) possèdent une pente de 20% ou plus et 60% des bassins versants traversés par la voie ferrée (19 bassins) ont une pente supérieure à 10%. Tous les bassins ont une pente supérieure à 1% sauf le bassin BV5 qui possède une pente de 0,9%.

VII.3 ETUDE HYDRAULIQUE DE LA ZONE

VII.3.1 Temps de concentration

Pour la section relative au bassin versant et à l'emprise de la voie ferrée, Tc est calculé en fonction de la superficie du bassin versant Les formules utilisées sont détaillées dans le tableau ci-dessous, avec leur limite d'application :

Tableau VII.6 formules des temps de concentrations

dénomination	formule	Domaine d'application
Ventura	$T_C=0{,}127\sqrt{\frac{S_{BV}}{i_{BV}}}$	SBV < 5 km²
Passini	$T_C=\frac{(S_{BV}\frac{L}{1000})^{\frac{1}{3}}}{i_{BV}^{\frac{1}{2}}}$	5 km² < S_{BV} < 25 km²
Giandotti	$T_C=4\frac{(S_{BV}+1{,}5\frac{L}{1000})^{\frac{1}{2}}}{i_{BV}^{\frac{1}{2}}}$	25 km² < S_{BV} < 400 km₂
Temps de concentration minimal	10 min 3 min	➢ pour un bassin versant naturel (précision des courbes de Montana) ➢ pour une surface imperméabilisée

Les bassins versants qui franchisse le tracé possèdent une superficie inférieur à 5 km² donc la formule utilisé dans le calcul est celle de Ventura.

Le plus long temps de concentration est estimé à près de heures dans le bassin versant BV1 au PK 55+614. Pour 61% des bassins versants (19), le temps de concentration est la valeur minimale admise pour un bassin versant naturel, soit 10 minutes.

VII.3.2 Intensité maximale des précipitations

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

L'intensité maximale : $I(t,T)=a(t)/t^b$

- a,b : paramètres de Montana;
- t : Temps exprimé en heures,
- T : période de retour exprimée en année,
- I : intensité de pluie exprimée en mm/h.

Les courbes IDF de l'ensemble des stations recueillies de la région d'étude ont été obtenues auprès de l'ANRH. Le tableau VIII.7 présente la valeur des paramètres de Montana pour différentes périodes de retour pour ces stations :

Tableau VII.7 les valeurs des paramètres de Montana [14]

Période de retour	2	5	10	20	50	100
a	18.7	26.4	31.6	37.8	42.9	47.6
b	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71

Pour notre projet, les paramètres de Montana utilisées sont : a=47.6 ; b=0.71.

VIII.3.3 calcule des débits d'apport

VIII.3.3.1 Méthode rationnelle

La méthode rationnelle est la méthode de transformation pluie-débit la plus connue et la plus utilisée. Elle suppose que la pluie est uniformément distribuée sur l'ensemble du bassin versant et que la durée de la pluie à une intensité donnée est égale ou supérieure au temps de concentration du bassin versant. Ces hypothèses font que la méthode rationnelle n'est applicable qu'à des petits bassins versants ne dépassant pas généralement les 10 km².

Le calcul du débit par la méthode rationnelle se fait par la formule ci-dessous.

$$Q_{eq}=\frac{C.i.S_{bv}}{360}$$

Où :

- Q_{ev}: Débit à évacuer (m3/s);
- C : Coefficient de ruissellement pondéré ;
- Sb : Surface drainée (ha) ;
- i : Intensité moyenne de l'averse (mm/h).

Le coefficient de ruissellement exprime la fraction d'eau par rapport à la totalité de précipitation pluviale parvenant à l'égout ou à l'exutoire (zone non urbanisé). Il traduit l'imperméabilisation naturelle ou artificielle, il est déterminé à partir de tableau suivant

Tableau VII.8 coefficient C [10]

Type de sol	Coefficient (C)
Sol imperméable	0.8-0.95
Sol légèrement perméable	0.15-0.4
Sol perméable	0.1-0.3
Terrain naturel	0.0-0.2

Le tableau suivant présente un calcul des débits d'apport (**NB : le calcul des autres bassins versant joint dans l'annexe**) :

Tableau VII.9 calcule débit d'apport

pk	S (ha)	L_{eq} (m)	H_{max} (m)	H_{min} (m)	H_{moy} (m)	ΔH (m)	Pente (m/m)	Cr	Tc (h)	I (mm/h)	Q (m^3/s)
55+809	8.9	318	559.8	550.1	554.95	9.7	0.041	0.69	0.187	156.53	2.67
59+946	1.07	103	578.7	556.3	557.5	22.4	0.289	0.69	0.17	167.49	0.34
68+623	1.39	1464	530	496.3	513.4	34.2	0.031	0.73	0.17	59.24	11.96
69+382	242.9	2958	531.6	498.3	514,95	33,3	0.0015	0.69	1.6161	33.85	15.77

VII.4 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

Les ouvrages hydrauliques sont clairement identifiés et alimentés par les oueds que nous avons repérés, ces ouvrages doivent faire la transition des débits donnés dans des conditions satisfaisantes. La conception des ouvrages hydrauliques et de drainage doit être réalisée de façon à ce qu'il ne résulte aucune conséquence négative pour les populations et l'environnement.

VII.4.1 Critères de dimensionnement

Les critères de conception des dalots et buses (OH) retenus pour le projet de chemin de fer entre Thénia et BBA et imposé par le maitre d'ouvrage sont :

- Le diamètre d'une buse est normalisé à 1,5 m. L'ouverture minimale d'un dalot est de 1,5 m de largeur par 1,5 m de hauteur (1,5 x 1,5). Si la hauteur de remblai sous le chemin de fer au-dessus d'une buse dépasse 5,0 m, la buse doit être remplacée par un dalot.
- Le niveau d'eau atteint au passage de la crue de vérification doit toujours être de 0.5 m au moins en dessous de l'accotement de la plate-forme. Cette revanche vise à empêcher l'eau d'atteindre la couche de base.
- A l'entrée et à la sortie de chaque ouvrage respectivement, une tête amont et une tête aval seront prévues avec des angles appropriés. Les têtes seront prolongées par une protection en enrochement à l'entrée et à la sortie de l'ouvrage, aussi, les talus de remblai seront protégés par des perrés maçonnés sur les côtés.
- Les angles de biais couramment utilisés sont compris entre 60 et 140 grades pour les buses et entre 70 et 100 grades pour les dalots avec une valeur limite de 50 grades dans les cas extrêmes. Si le biais du cours d'eau est supérieur, sa dérivation est préconisée.
- Taux de remplissage pour les buses et les dalots limité à 80%.
- Prioriser les buses par rapport aux dalots.
- Les vitesses maximales à la sortie des buses et dalots ne doivent pas dépasser 5,0 m/s.
- Le recouvrement maximum est de 5m pour les buses et 25m pour les dalots.

VII.4.2 Débit de saturation (Qs)

Le calcul du débit est déterminé par la formule de « MANING STRIKLER » :

$Qs=V.S_m$ tel que : $V=Ks.R_h^{2/3}.I^{1/2}$

Avec :

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

Les valeurs du coefficient Ks sont organisées dans le tableau suivant :

Tableau VII.10 valeur du coefficient Ks [10]

Ks	Valeur
Fossés enherbés	25
Maçonnerie	40
Bétons (dalots/buses préfabriquées)	70
Canalisation lisse (PEHD, PVC…)	80

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

VII.4.3 Dimensionnement des dalots

Les dalots sont constitués par deux murettes verticales au pied droit sur lesquelles repose une dalle ou une série de dalles accolées, les pieds droits sont posés sur une fondation ou radier. Dans notre cas les dalots sont en béton.

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

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

- La surface mouillée $S_m=h.b$
- Le périmètre mouillé $P_m=b+2.h$
- Le rayon hydraulique $R_h=\frac{h.b}{b+2.h}$

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

$$Q_s= Ks.(\frac{h.b}{b+2.h})^{2/3}.h.b.I^{1/2}$$

Exemple de calcul PK 69+382 : Q=15.77 m^3/s ; K_s=70 (bétons) ; I=0.01m

Pour h=2 : $$b=\frac{Q_S}{I^{1/2}.KS}*\frac{(1.6\times h+b)}{0.8h}$$

b_0=1.81; b_1=1.94 ; b_2=1.96 ; b_3=1.96 ; b_4=1.96 ; b_5=1.96.

Donc : b=1.96m

On prend un dalot de 2×2.5.

(Le calcul de tous les ouvrages hydrauliques du tracé sont joints dans l'annexe)

VII.4.4 Dimensionnement des buses

Les ouvrages de sections circulaires, disposés sous le tracé, identifié par le diamètre (Ø).
On calcule les dimensions de la buse par la formule de Manning Strickler

Avec: $S_m=\pi D^2/4$

$R_h=D/4$

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

$Q_s= Ks.(D/4)^{2/3}.\ \pi D^2/4.I^{1/2}$

On a: $$\frac{Qa}{K_S.\sqrt{I}} = D^{8/3}\frac{\pi}{4^{5/3}}$$



Figure VII.4 Schéma de buse

Application au projet PK65+757 : Q_a=0.46 m^3/s ; Ks=70 ; I=0.01.

AN : D=0.56m : on prend une buse de D=1.5m.

NB : (Le calcul des ouvrages hydrauliques du tracé est joint dans l'annexe)

Tableau VII.11 calcule débits de saturation

pk	N	Ouvrage prévus	D (m)	h (m)	b (m)	S_m (m^2)	P_m (m^2)	R_h (m)	K_s	Q (m^3/s)	Qs (m^3/s)
55+809	2	Buse	-	1.5	1.5	2.25	4.5	0.50	70	2.67	6,50
59+946	11	Buse	1.5	-	-	1.77	4.71	0,38	70	0.34	6,50
68+623	34	Dalot	-	2	2.5	5	6.5	0.77	70	11.96	20,78
69+382	35	Dalot	-	2	2.5	5	6.5	0.77	70	15.77	29,38

VII.4.5 Vérification conditions d'auto curage

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

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

Tableau VII.12 vérification conditions d'auto curage

pk	N	Ouvrage prévus	Q (m^3/s)	Qs (m^3/s)	Vps (m/s)	Q=0.1Qps		Q=0.01Qps	
						V (m/s)	V>0.6 (m/s)	V (m/s)	V>0.3 (m/s)
55+809	2	**Buse**	2,67	6,50	2,89	1,41	**vérifiée**	0,72	**vérifiée**
59+946	11	**Buse**	1,36	6,50	3,67	0,98	**vérifiée**	0,69	**vérifiée**
68+623	34	**Dalot**	11,96	20,78	4,16	2,25	**vérifiée**	1,16	**vérifiée**
69+382	35	**Dalot**	15,77	20,78	5,88	3,11	**vérifiée**	1,56	**vérifiée**

Le drainage des eaux superficielles à l'intérieure de l'emprise et l'assainissement de la plateforme ferroviaire se fait par le biais d'un réseau de fossés longitudinaux et de drains perforés ou collecteurs drainant. Les fossés considérés sont des fossés en pied de talus de remblai, de déblai et en crête de déblai.

VII.4.6 Dimensionnement des fossés

Les fossés sont des ouvrages linéaires qui véhiculent les débits des eaux de surface drainées avec un écoulement à surface libre aussi bien de l'infrastructure que des bassins versants en interaction avec le projet afin de les acheminer vers un point de rejet (exutoire) hors de l'emprise de la voie ferrée

Pour assurer un drainage efficace de la plateforme, il est préconisé de mettre en place des fossés longitudinaux et des fossés de crêtes ainsi, que fossés de bermes au niveau des déblais et des remblais.

Au départ, une délimitation des fossés est faite sur la base du profil en long ce qui va permettre d'obtenir les limites de chacun d'entre eux, ainsi que les sens d'écoulements, ensuite, sera réalisé un découpage des bassins versants associés à chaque tronçon, en se basant sur les courbes de niveau extraites du MNT.

Le débit de conception retenu pour le drainage longitudinal est le débit centennal (Q100 ans) pour les déblais et le débit décennal (Q10 ans) pour les remblais.

Il est recommandé qu'une revanche de 5 cm à respecter pour assurer la sécurité contre le débordement.

L'équation de Manning-Strickler est utilisée pour la description des écoulements à surface libre dans les fossés. Les critères de dimensionnement sont résumés dans le tableau :

Tableau VII.13 Critères de dimensionnement

FOSSES	
Description	Critère
Pentes latérales des fossés	3H:2V
Pente longitudinale minimale	0.2%
Forme	Trapézoïdale
Largeur au fond	0.40m minimum
Profondeur	0.35m minimum
Revêtement	Bétonné
Vitesse maximale	4 m/s

Formule de Manning Strickler : $Q_s=K_s.R_h^{2/3}.S_m.I^{1/2}$

- La surface mouillée : $S_m=(b+z.h).h$
- Le périmètre mouillé : $P_m=b+2h\sqrt{1+z^2}$
- Le rayon hydraulique :$R_h=\frac{S_m}{P}$ avec : z la pente des berges

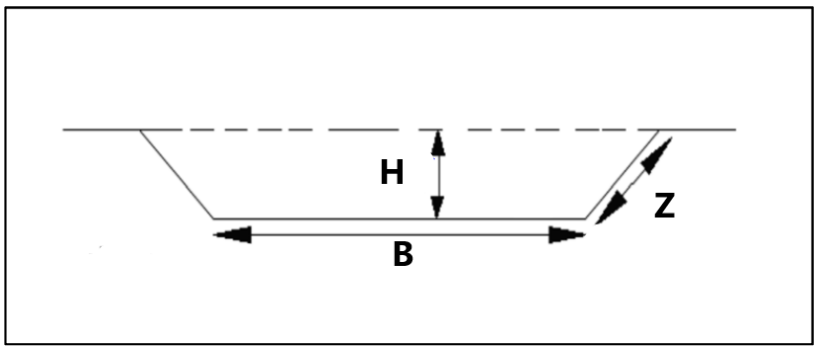


Figure VI.5 fosse trapézoïdale.

Le calcul itératif est présenté dans le tableau suivant :

Tableau VII.14 débit des fossés à choisir

B(m)	H(m)	z	Sm (m^2)	Pm (m)	Rh (m)	Ks	I (m/m)	Qs (m^3/s)
0.40	0.4	3/2	0.27	1.34	0.20	60	0.02	0.78
0.5	0.5	3/2	0.41	1.70	0.24	60	0.02	1.34
0.50	0.60	3/2	0.54	1.94	0.28	60	0.02	1.96
0.6	0.6	3/2	0.6	1.88	0.32	60	0.02	2.38
1	1	3/2	1.67	2.40	0.65	60	0.02	7.42

Le choix de type du fossé est en fonction débit à évacuer qui est rapporté par la plate-forme, les bermes et les talus : $Qa=Qpf+Qb+Qt$

Suivant le type de surface de ruissellement deux cas ont été identifiés :

- Drainage de la voie ferré seule.
- Drainage de la voie ferrée avec un bassin associé.

Le calcule est fait pour le choix du type de fossés, de manière à ce que le débit à évacuer sera inférieur ou égal au débit capable du fossé choisi.

Tableau VII.15 Calcul des débits rapportés

		Remblai	**Déblai**
		Le cas le plus défavorable : ➢ Longueur=675 ➢ H_{talus}=24.24m ➢ Bermes=3m ➢ Largeur de la plateforme=13.40	Le cas le plus défavorable : ➢ Longueur=325m ➢ H_{talus}=34m ➢ Bermes=3m ➢ Largeur de la plateforme=13.40m
Plateforme	Cr	0.2	0.2
	P(m/m)	0.04	0.04
	A (km²)	0.0090	0.0044
	Tc (h)	0.06	0.0421
	I(mm/h)	332.25	451.02
	Q(m3/s)	**0.12**	**0.22**
Les bermes	Cr	0.4	0.4
	P (m/m)	0.04	0.04
	A(km²)	0.00607	0.0029
	Tc (h)	0.0495	0.0342
	I(mm/h)	267.11	552.98
	Q(m3/s)	**0.18**	**0.17**
Les talus	Cr	0.4	0.4
	P (m/m)	0.5	0.67
	A (km²)	0.033	0.015
	Tc (h)	0.0326	0.034
	I(mm/h)	358.96	793.69
	Q(m3/s)	**1.32**	**1.32**
Qa (m3/s)		Qpf+Qb+Qt=0.12+0.18+1.32=**1.62**	Qpf+Qb+Qt=0.22+0.17+1.32=**1.71**

Les types des fossés adoptés pour notre projet sont :
En remblai : un fossé de dimensions : h=0.6, b=0.5, avec une berme de 2/3
En déblai : un fossé de dimensions : h=0.6, b=0.5, avec une berme de 2/3
Pour la totalité du tracé nous prenons un fossé de : h=0.6, b=0.5, avec une berme de 2/3

VIII.5 CONCLUSION

D'après l'étude hydrologique et hydraulique, on déduit que le tracé projeté comporte un volet des travaux très important en termes d'ouvrages de drainage longitudinal et transversal. Ces travaux doivent être exécuté avec prise en priorité, afin d'éviter les dégradations de plateforme en cas des crues.

CHAPITRE VIII

Conception des ouvrages d'arts

VIII.1 INTRODUCTION

Pour concevoir un bon tracé qui repend aux exigences techniques et économiques tout en assurant la perméabilité transversale de ligne ferroviaire projetée et le franchissement de différentes infrastructures existantes et aussi les cours d'eau, on doit doter cette nouvelle ligne des ouvrages d'arts suivants :

- Ponts Rail (PRA)
- Passages Inferieurs (Pont cadre)
- Tunnel Ferroviaire (TU)
- Tranché couverte (TC)

VIII.2 PONTS FERROVIAIRES

VIII.2.1 Introduction

Lors de la conception d'un pont, les processus de décision des concepteurs sont conditionnés par des facteurs tels que les portées à surmonter, le système structural souhaité, les méthodes de construction, les coûts et également l'esthétique, d'où l'importance de chacun de ces facteurs dans un projet. Il n'y a pas d'ordre spécifique, c'est-à-dire qu'il n'existe pas deux projets de ponts identiques ni d'ordre imposé en ce qui concerne ces facteurs.
Les solutions mixtes acier-béton sont de plus en plus considérées comme les solutions les plus compétitives sur les ponts ferroviaires actuels, au détriment des solutions en béton armé précontraint qui étaient préférées jusqu'à récemment.

VIII.2.2 Etude de cas

Une solution mixte acier-béton, à la place d'une solution en béton armé précontraint, convient parfaitement compte tenu des portées considérées, car les ponts à tabliers mixtes standard sont utilisés pour des portées comprises entre 30 et 80 m.

Dans le cas présent, qui correspond à un pont de chemin de fer à double voie d'une largeur totale de 12.80 mètres, une solution de type "Bipoutre" est adoptée.

La constitution d'un tablier de type "Bipoutre" est:

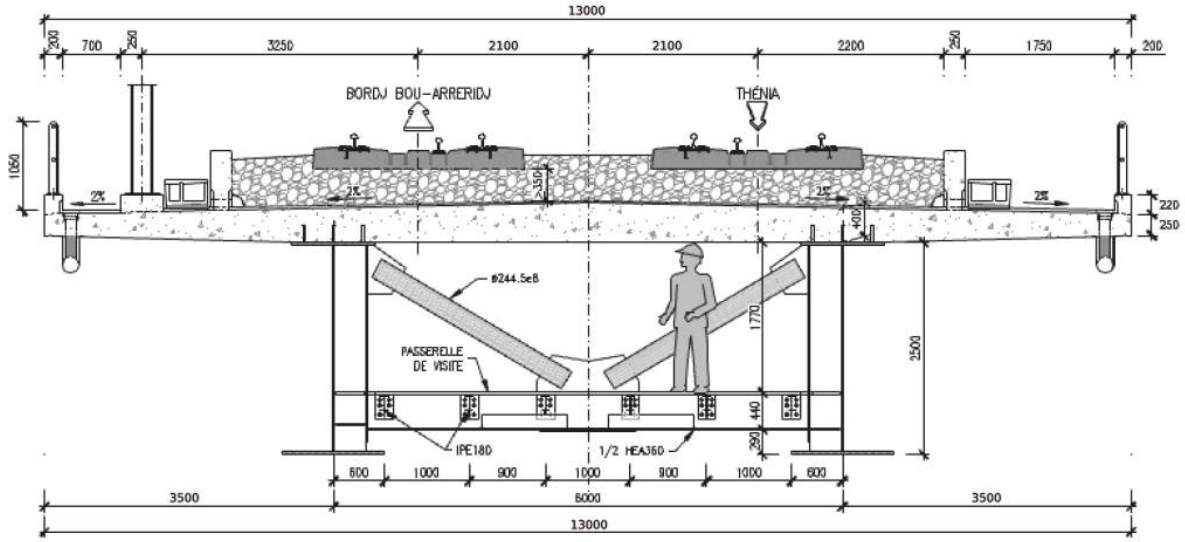
- ❖ dalle en béton armé, dans le cas de ponts de chemin de fer, une épaisseur de l'ordre de 40 cm doit être utilisée.

- ❖ deux poutres de pleine épaisseur, dont la liaison avec la dalle de béton se fait par des connecteurs renforcés transversalement et longitudinalement.

Liste des ponts Rail et Viaduc sur notre tronçon :

Tableau VIII.1 des ouvrages conçu pour le traçant

Ouvrage	Pk début	Pk fin	longueur (m)	Type d'ouvrage	Schéma statique	Travers (m)	H_{max} Pile (m)	H_{min} Pile (m)	AD
OA3	59+085	59+315	230	bi-poutres mixte	Continue	32+4x40 +32	32.90	18.80	1
OA4	61+200	61+965	765	bi-poutres mixte	Continue	40+5x50 +45	30.28	25.03	2
				bi-poutre mixte	Travée inerte	45			
				bi-poutres mixte	Continue	45+6x50 +40			
OA5	62+640	62+690	50	bi-poutres mixte	Continue	1x50	/	/	0
OA6	63+270	63+450	180	bi-poutres mixte	Continue	40+2x50 +40	16.3	13.7	0
OA7	65+145	65+275	130	bi-poutres mixte	Continue	40+1x50 +40	14.5	12.8	0



FigureVIII.1 Une coupe transversale du pont rail [19]

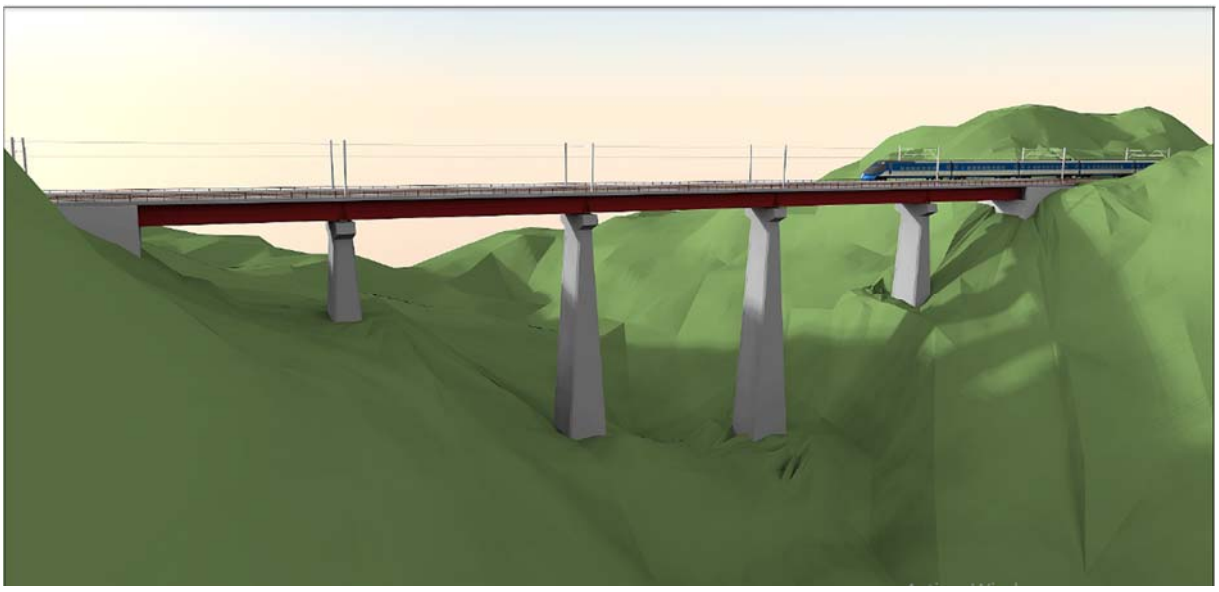


Figure VIII.2 pont rail vue 3D

VIII.3 CROISEMENT AVEC UNE ROUTE

En général, le problème de croisement doit prendre en considération la nature et le débit de la voie afin d'analyse cas par cas tous les types de croisement en fonction de la vitesse de base maximale.

On prévoit en effet, trois (03) solutions possibles :

- Passage supérieur : Si la vitesse de train est importante ≥100 km/h et si la topographie ne le permet pas.
- Passage à niveau : pour les routes de faible débit surtout.
- Passage inferieur de la route : lorsque la topographie l'exige (niveau de roulement de train élevé).

En ce qui concerne notre projet, la vitesse du train étant de 160 km/h donc on utilise les passages inférieurs.

Tableau VIII.2 dimensions et localisation des passages supérieur

N°	Type de structure	Type de route	Pk	Hauteur (m)	Largeur (m)	nombre de cadre
OA1	Cadre	Evitement Bouira-2x2 voies	56+625	5.8	10	2
OA2	Cadre	RN33	58+175	5.8	13	2
OA8	Cadre	CC	66+175	5.8	9	1
OA9	Cadre	CC	68+645	5.8	10	1

VIII.4 TUNNEL

Un tunnel est prévu sur notre tronçon du pk 64+625 au pk 65+050 et d'une longueur de 428m avec une déclivité de 12 ‰.

Le tunnel est d'une longueur inférieure à 4000m donc il est envisagé de concevoir un tunnel de type monotube selon référentiel technique de la SNTF [15].

La surface a respecté pour la section libres est de 61 m² en double voie (monotube), cette surface a été déterminée pour satisfaire aux critères de gabarit des convois ferroviaires appelés à circuler dans l'ouvrage (voyageurs et fret), de sécurité et de confort pour les circulations à grande vitesse, il appartiendra au concepteur de s'assurer que les critères de confort et de sécurité tympanique sont respectés et de justifier la section retenue en fonction des caractéristiques géométriques et notamment de la longueur

Les traverses utilisées au niveau des tunnels sont les traverses monobloc précontraintes. Les traverses monobloc en béton précontraint seront assujetties à l'homologation suivant la norme NF EN 13230-Partie 2. Elles pourront être de type M 450 ou équivalent. Elles seront posées à raison de 1667 unités au kilomètre (soit au pas de 0,60 m entre axes) [15].

Pour les tunnels supérieurs à 400m et afin de faciliter l'accès des secours par le matériel routier et l'évacuation des voyageurs en cas d'incident, il est préconisé de poser la voie ferrée sur dalle. Cette pose de dalle devra être conçue en évitant les obstacles perpendiculaires à la voie [15].

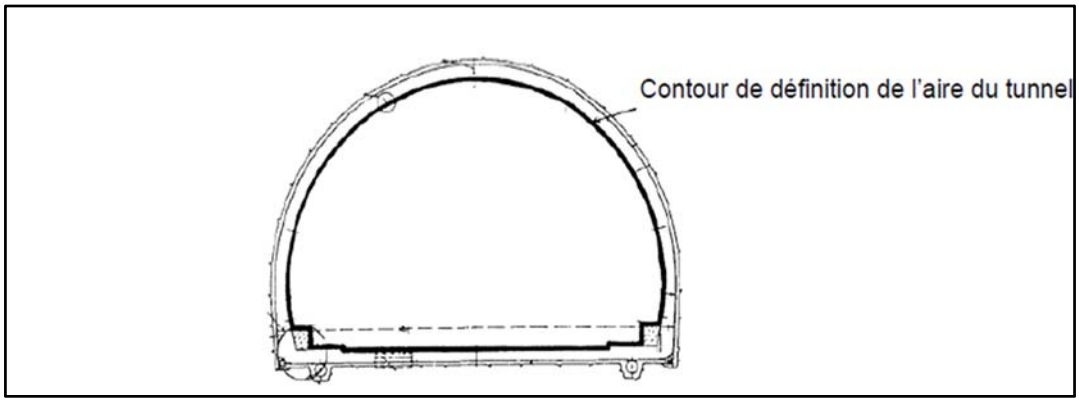


Figure VIII.3 Section type d'un tunnel monotube

VIII.5 TRANCHEE COUVERTE

Certaines contraintes d'environnement -impossibilité de réaliser un déblai de grande largeur; souci, pour limiter les nuisances, de rétablir le terrain naturel sur une grande étendue ; nécessité de maintenir en place d'importantes installations appartenant à des tiers, ... - peuvent imposer la réalisation des tranchée couverte [16].

On a adopté pour le tracé une tranchée couverte qui débutera au PK 63+525 jusqu'au PK 63+900 avec une longueur de 325m et une Profondeur maximal 29.95m

La section type des tranchées couvertes sera définie par un système de soutènement qui sera formé par des parois moulées ou des parois de pieux dans les zones instables ou bien par des faux tunnels dans les zones normales. Le choix de la section à adopter pour une tranchée couverte donnée sera justifié par les calculs géotechniques et structurels propres au site [18].

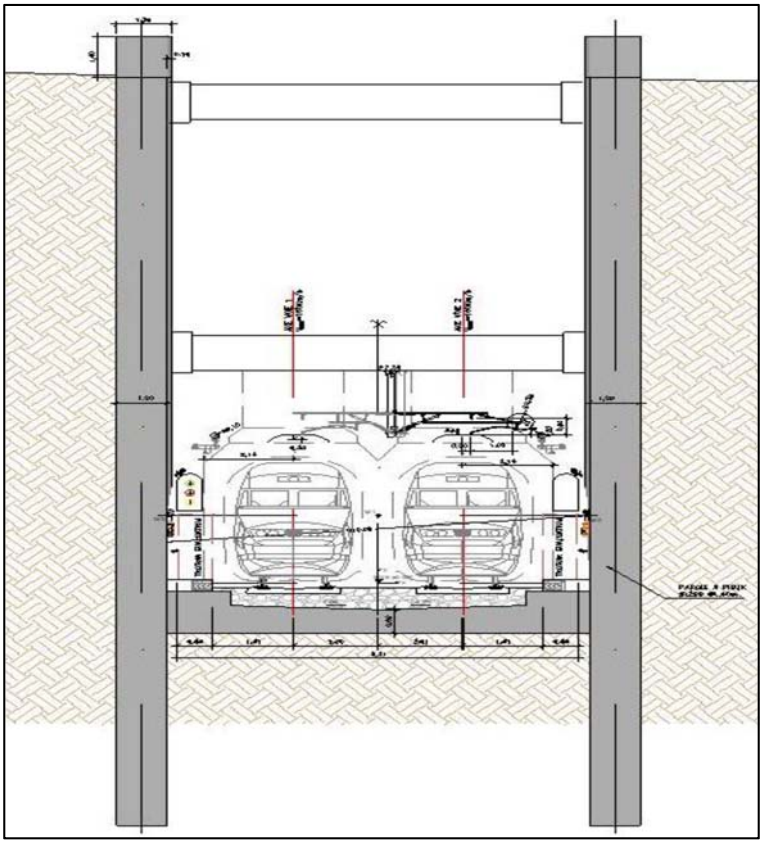


Figure VIII.4 Section type parois moulées ou pieux [18]

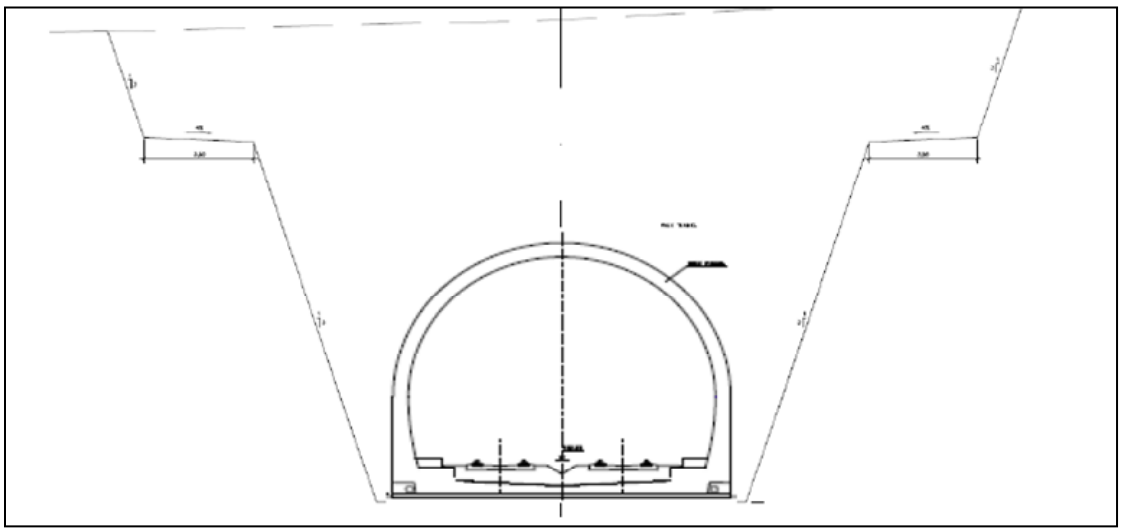


Figure VIII.5 Section type faux tunnel

VIII.6 CONCLUSION

Ce chapitre a établi les différents ouvrages nécessaires pour la perméabilité transversale du tracé ferroviaire et les spécifications technique associé à chaque ouvrage.

CHAPITRE IX

Conception de la gare de Bouira

IX.1 INTRODUCTION

Une gare est un lieu d'arrêt de trains ou on peut y affecter des manœuvres d'échanges de machine, elle a des fonctions multiples : permettre la montée et la descente des voyageurs, ou le chargement et le déchargement des marchandises elle doit comporter au moins un agent-circulation, qui commande des aiguillages et des signaux, ainsi que les aménagements nécessaire pour effectuer les opérations relatives à la circulation définies par les règlementations. La gare n'est plus juste un point d'accès au réseau ferré mais aussi un espace de plus en plus complexe qui assure de nouveaux services aux voyageurs

Ce chapitre a pour objectif de présenté les différentes constituants d'une gare voyageurs, et de donner une conception des voies et des quais de la nouvelle gare Bouira.

IX.2 INSTALLATIONS D'UNE GARE VOYAGEURS

- **Le bâtiment de voyageurs :** est un espace destiné à l'accueil des voyageurs, il comporte un hall des guichets(ou espace de vente) ainsi qu'une ou plusieurs salles d'attente.
- **Les bâtiments à usages divers (B.U.D)** : c'est un espace réservé aux agents de chemins de fer.
- **Quais :** une bande parallèle à la voie et permettant aux passagers d'accéder aux voitures de la rame.
- **Abris de quais :** c'est une installation sur le quai pour protéger les voyageurs des intempéries**.**
- **Les passages sous terrain et les passerelles :** ils sont construits dans les gares pour permettre aux voyageurs le passage d'un quai à l'autre quai en pleine sécurité.

IX.3 RESEAU DE VOIE

IX.3.1 Garage franc

Une borne de garage franc est un signal qui indique la limite de stationnement permis du train à la voie de croisement. Théoriquement on pose ce signal à 3,57 m entre les deux voies. Compte tenu de la sécurité, il vaut mieux le poser un mètre plus loin par rapport à la position théorique.

Le garage franc est implanté par rapport au cœur de l'appareil de voie à une distance de

GF= 3.57*n+1 (1m pour sécurité)
n : varie selon l'ouverture de l'appareil de voie.

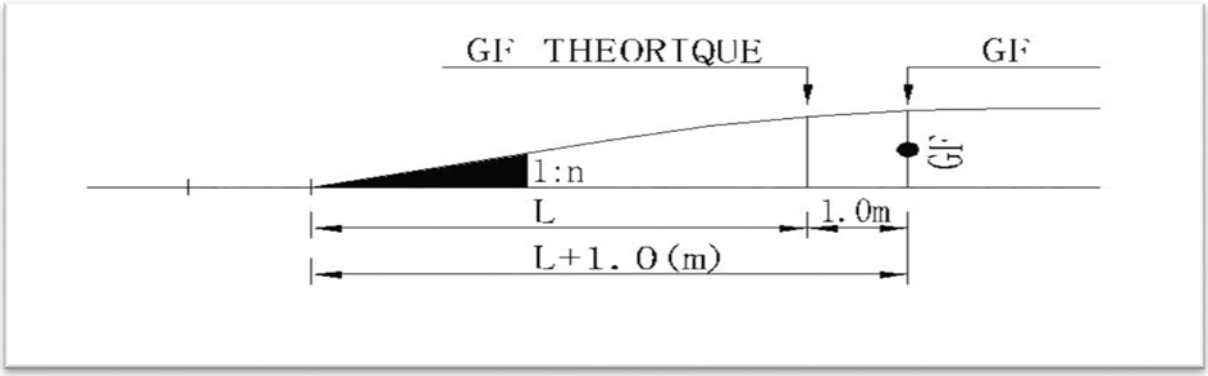


Figure IX.1 garage franc

IX.3.2 Le heurtoir

Un heurtoir est un dispositif placé à l'extrémité d'une voie ferrée pour arrêter d'éventuel véhicule en dérive et les empêcher de continuer leur chemin en dehors de la voie, conçue pour absorber l'énergie cinétique des trains qui les heurtent par l'intermédiaire des tampons,

Placé au bout des voies en impasse les heurtoirs sont construits en béton armé identiques à ceux installés sur le réseau SNTF. Ils doivent pouvoir supporter un effort de 50.000 N appliqué à 1060 mm au-dessus du niveau du rail.



Figure IX.2 Heurtoir

IX.3.3 La longueur utile d'une voie de stationnement

C'est la longueur nécessaire permettant au train de 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.

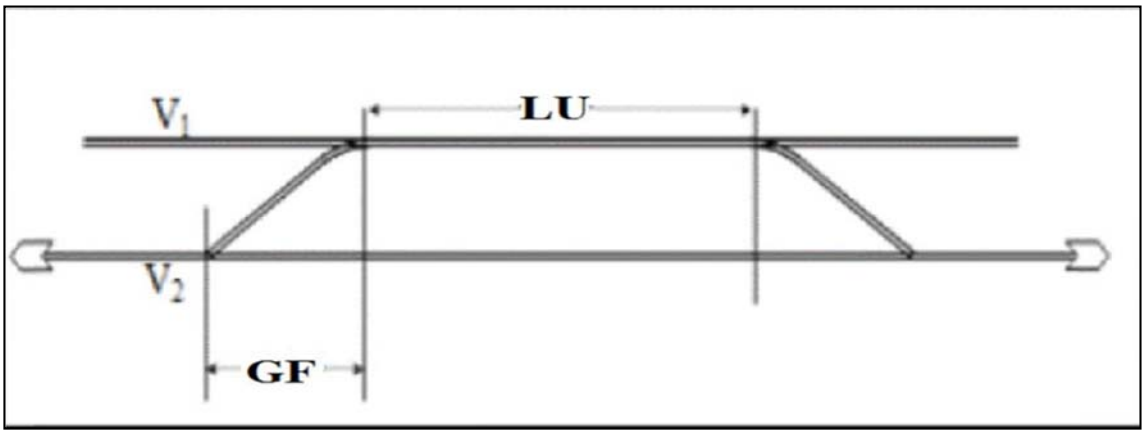


Figure IX.3 longueur utile d'une voie

LU=LG+LS+LT+LA+LC.

LU : longueur utile.
LG : longueur de glissement.
LS : longueur de sécurité.
LT : longueur maximale de train.
LA : marge de tolérance d'arrêt.
LC : tronçon d'isolation pour le système de contrôle.

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

- La longueur utile minimale pour les trains voyageurs est : 426 m.
- La longueur utile minimale pour les trains de marchandise est : 870 m pour la voie principale et la voie de service.

IX.3.4 La marge de glissement à l'aval des signaux

La marge de glissement est la section de voie située dans le prolongement d'un parcours train à l'aval d'un signal fermé, sur laquelle aucune autre circulation de train n'est autorisée.

Elle a pour but de minimiser les conséquences d'un accident et même, en cas d'interdiction d'occupation d'éviter une collision lorsqu'un train n'a pas pu être arrêté avant cette marge.

Les longueurs de la marge de glissement sont définies selon la norme UIC 739 comme suit:

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

- 200m pour $V \geq 60$ km/h.
- 100m pour $40\text{km/h} \leq V \leq 60$ km/h.
- 50 m pour $V < 40$ km/h.
- 50m : à l'aval des signaux de blocs.

IX.3.5 Les évitements

C'est un endroit sur une voie ferrée où cette dernière se divise en deux voies parallèles sur une longueur de quelque dizaines à quelque centaines de mètres pour se rejoindre à nouveau, afin de permettre à deux trains de se croiser ou de se dépasser ou dans le cas d'une voie destinée à l'arrêt prolongé d'un train, on parle de garage ou tiroir [12].

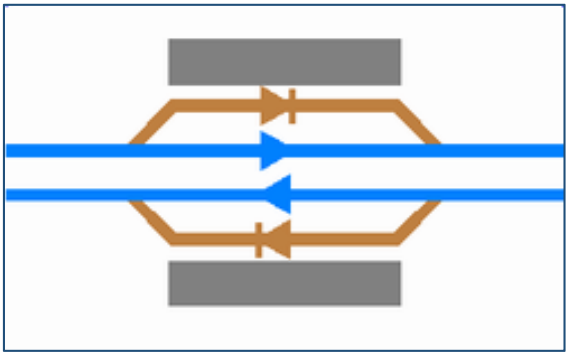


Figure IV.4 schéma d'évitement

IX.4 LA GARE DE BOUIRA

IX.4.1 Localisation de la gare

La ville de Bouira accueillera la seule gare projetée du projet, il s'agit d'une gare de voyageurs implantée au Pk 57+312 du bâtiment voyageur BV est, et cela afin d'offrir une meilleure implantation du faisceau de voies vis-à-vis du profil en long, et aussi un emplacement idéal du BV par rapport au remblai de la zone.

L'emplacement de la nouvelle gare de voyageurs de Bouira s'adapte au plan d'urbanisme de la ville. Le tracé insère la gare dans une zone vierge loin des constructions et activités industriels en voie de développement.

On a intégré dans la conception du tracé un alignement suffisant qui permettra d'implanter la totalité de la nouvelle gare en alignement droit. Cet alignement droit commence au Pk 56+475 et se termine au Pk 58+150.

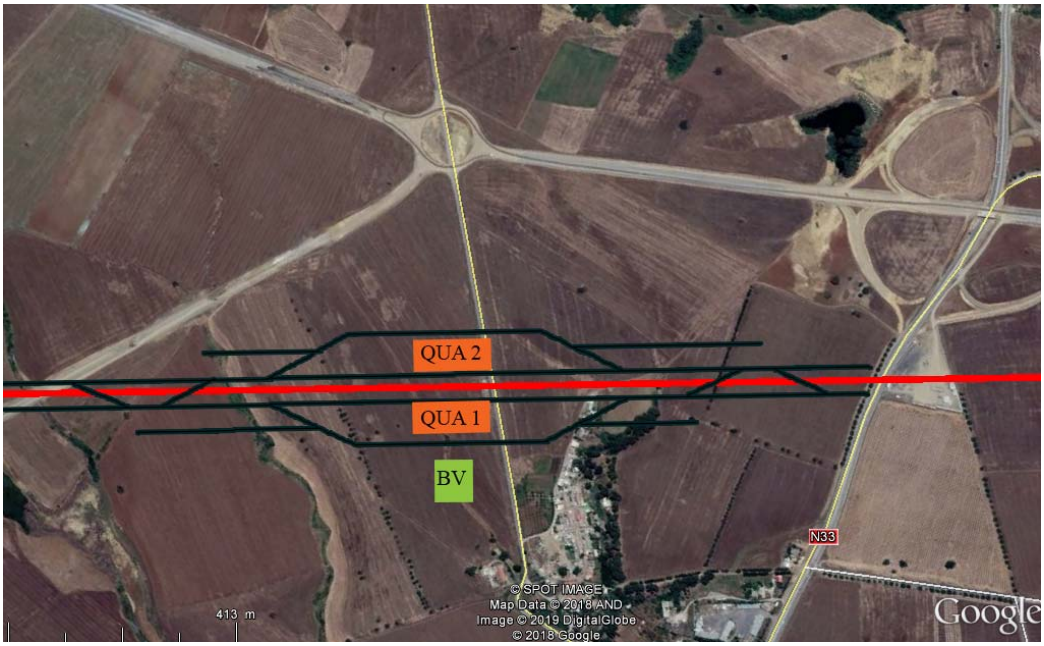


Figure IX.5 Emplacement de la nouvelle gare voyageurs de Bouira

IX.4.2 Caractéristique géométrique de la gare

IX.4.2.1 Les quais

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

Tableau IX.1 Les caractéristiques géométriques du quai

Quai	Norme SNTF	Valeur retenue pour la gare de Bouira
Longueur	L ≥ 300m	325 m
Largeur	Quai intermédiaire B > 6 m Quai extérieur B ≥ 6 m	8m pour les deux quais.
Hauteur	Quai bas h= 35 cm Quai mi- haute h= 55 cm Quai haute 76 ≤ h ≤ 100 cm.	un quai mi- haute h= 55 cm.
Entraxe des quais	e normal > 11.3 e minimal > 9.3	15.8m
Abris de quai	SNTF aménagement et gare tracé des voies	Nombre des abris : 4 Largeur : 5 m Longueur : 30m Entraxe entre les abris : 50 m La hauteur: 3.10 m

IX.4.2.2 l'entraxe entre les voies

- Entraxe nominal : e=5m
- Entraxe minimal : e=4.5m

L'entraxe est fixé à 4.5m le long de la gare.

IX.4.2.3 Distance minimum entre l'axe de la voie et l'obstacle

Au niveau des gares, le nombre des voies et les distances entre ces dernières peuvent varier. Le gabarit GC détermine l'aire à réserver aux véhicules, les installations de la caténaire et les espaces de sécurité.

- Supports, mâts et piédroits : 3,25 m.
- Bords de quai d'une distance de L = 1650+S : S=0 ; donc L= 1.65 m.
- Objet fixe sur le quai : 3,30 m.
- Escaliers au bout des quais : 2,40 m.

IX.4.2.4 La longueur utile de stationnement

Les longueurs utiles au niveau des gares sont calculée de garage franc a garage franc et doivent avoir une longueur minimale de 800 m pour permettre le stationnement d'un train marchandise, selon la SNTF les longueurs utile des voies de la gare de Bouira sont :

- Voie 1 est de 1200m
- Voie 2 : Lu = 1200 m
- Voie 3, Lu = 936m
- Voie 4, Lu = 936 m

IX.4.2.5 Longueur de garage de franc

La longueur théorique entre la borne de garage franc et le branchement

- Pour 1/9 Aiguilles : L= 32,13 m
- Pour 1/12 Aiguilles : L= 42,84m
- Pour 1/18,5 Aiguilles : L= 66,05 m.

IX.4.2.6 Implantation des appareils de voie

❖ **Cas normal sans contraintes**

- Distance entre fin de quai et garage franc ≥ 130 m ;
- 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

❖ **Cas avec contraintes**

- Disposition d'un appareil de protection avec une distance entre fin de quai et appareil est ≥80 m ;
- Appareils 60-500-1 :12 avec une vitesse de branchement de 60 km/h ;
- Distance appareil de voie / courbe ≥ 6 m ; il est prévu des rampes de dévers droite sans doucine.

IX.4.2.7 Les appareils de voie

Selon les recommandations d'UIC 711 et manuel de la voie on a fixé le choix sur les appareils de type tg 1/12 dont les caractéristiques les suivantes :

UIC 60-1:12-500

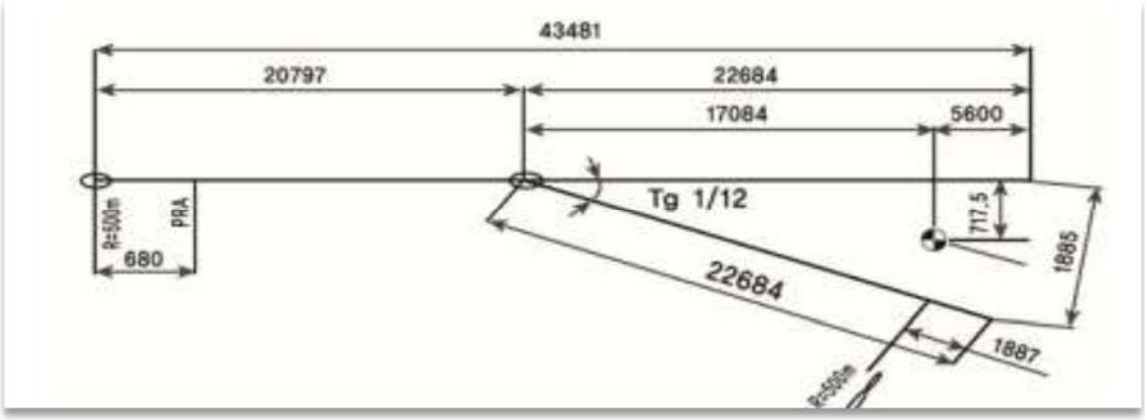


Figure IX.6 appareil de voie 1/12 [22]

La gare contient 16 appareils de voie de type tg 1/12.

Pour l'implantation des appareils de voie on doit :

- Implanter Les appareils en déclivité constante.
- Implanter en alignement.

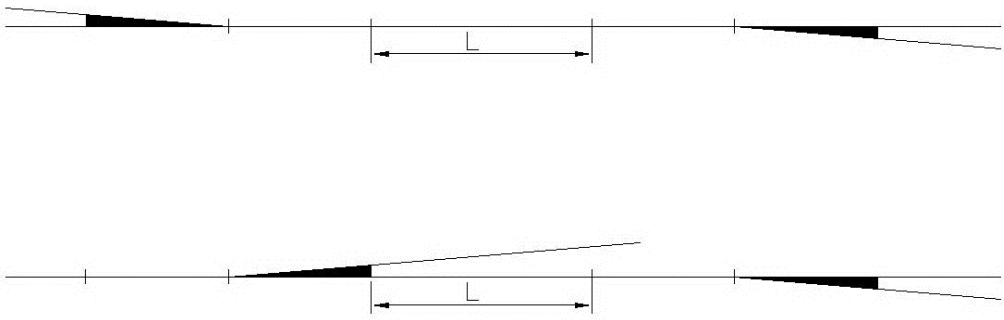


Figure IX.7 Schémas d'implantation d'appareil de voie 1/12

Suivant Norme de SNTF $L \geq V_d/2$, Avec :

- L : Longueur de la voie droite insérée dans les appareils de voie adjacents, en m.
- V_d : Vitesse de passage sur l'aiguillage en voie latérale (déviée) (valeur minimum de deux voies en km/h).

IX.4.2.8 La passerelle

Elle permet le franchissement sans risque des voies pour accéder au quai on trouve :

- ❖ passerelle supérieure
- ❖ passerelle sous-terraine

Pour notre projet un passage souterrain est conçu pour les déplacements des passagers au sein de la gare, entre les quais et le bâtiment de voyageurs dont les dimensions dictées par le référentiel technique de la SNTF représentées dans la figure ci-dessous

- Pour la largeur B≥2.40m donc on prend une largeur B=2.5m
- Pour la largeur H≥2.40m donc on prend une largeur H=2.5m

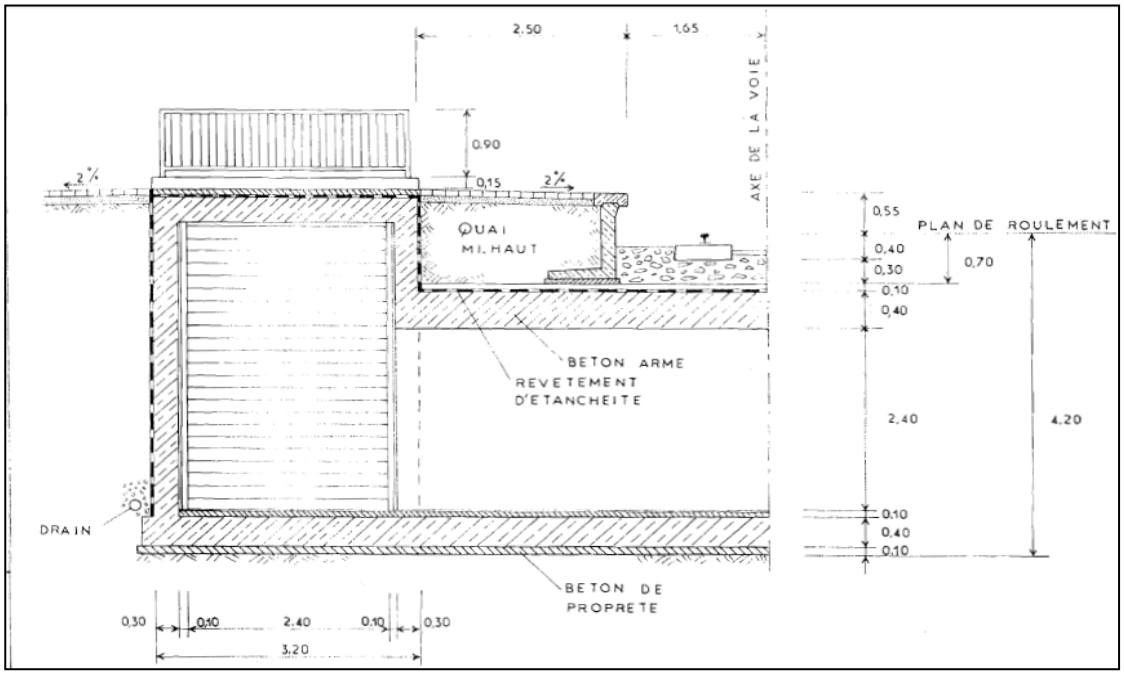


Figure IX.8 les dimensions du passage sous-terraine dans la gare [13]

Le passage souterrain apte aux personnes à mobilité réduite (PMR).

IX.4.3 Description du plan des voies et d'installation

Le schéma des installations ferroviaires de la gare de Bouira est représenté dans la figure Schéma de voies de la gare de Bouira.

La gare de Bouira est composée de quatre (4) voies équipée de deux (2) quais centraux (325×8). Les voies de réception / départ pour les trains voyageurs sont les voies Principales 1 et 2. Le plan d'exploitation de la gare de Bouira prévoit un arrêt obligatoire des trains de la nouvelle ligne TBBA dans cette gare.

Les voies principales ont une longueur de 1200 m chacune, elles sont circulées à une vitesse de 160 Km/h. Un train direct qui ne s'arrêtera pas à la gare de Bouira peut maintenir la vitesse de 160 Km/h entre les deux extrémités de la ligne.

Les voies secondaires 3 et 4 sont des voies d'évitement, elles ont une longueur de 936m chacune. Elles sont capables d'accueillir aussi un train marchandises d'une longueur maximale de 800m, en permettant aux trains rapide de faire les dépassements des trains lents selon les besoins de l'exploitation de la ligne.

La nouvelle gare de Bouira est munie aussi des installations suivantes :

- Deux chapeaux de gendarme, (chaque chapeau de gendarme est composé de 4 appareils de voie type tg 1/12) sont implantés à l'entrée et la sortie de la nouvelle gare de Bouira, permettant le basculement des trains entre les deux voies principales V1 et V2.
- Un tiroir de sécurité de 75 m de longueur utile protégeant la voie réception/départ (Voie V3 et V4) des trains voyageurs. Ce tiroir permettra aussi le stationnement des locomotives de traction et finissant voyageurs en détresse.
- 4 heurtoirs ont été insérés dans la gare de Bouira.
- Les voies d'évitement et les voies tiroir sont munies chacune d'une piste latérale carrossable le long de ces voies pour visite et entretient.
- Le tracé en plan est conçu en alignement droit permettant l'insertion de la totalité de la nouvelle gare en alignement droit.
- La totalité de la gare est implantée dans un remblai de hauteur variable.
- Un tiroir d'exploitation d'une longueur utile de 340 m réservé au garage et au stationnement des trains de voyageurs.

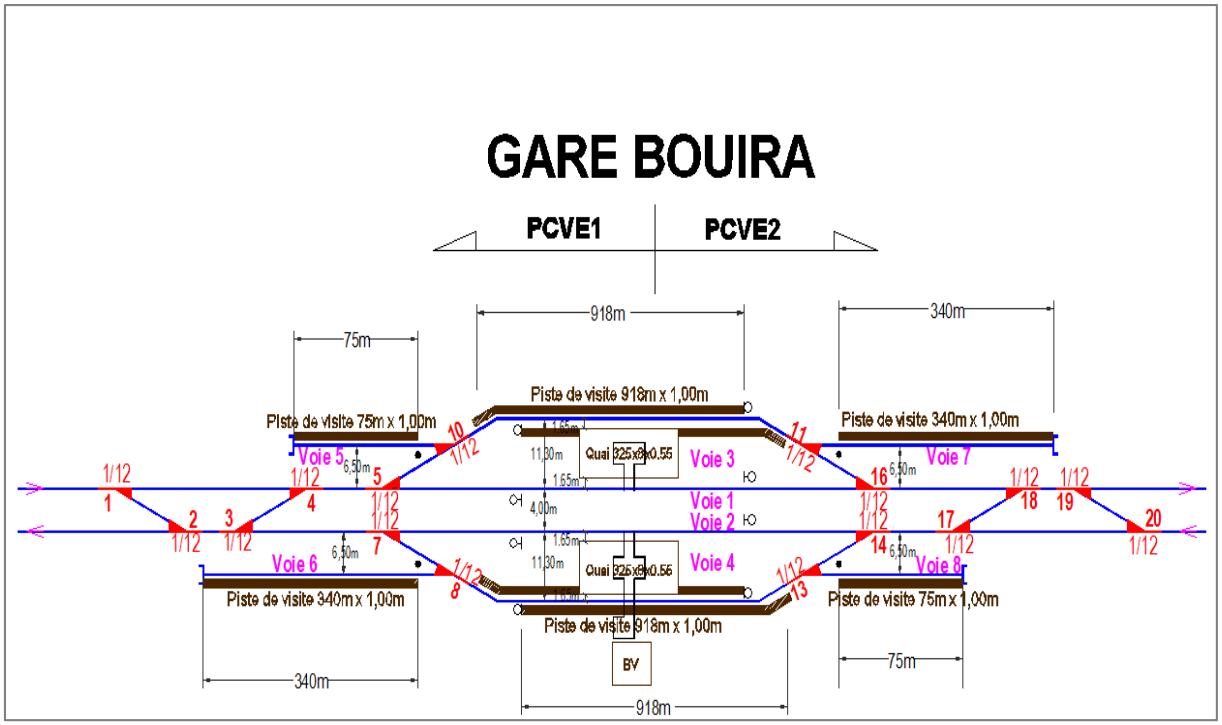


Figure IX.9 Gare de Bouira vue en plan

IX.4.4 Assainissement de la gare

- Pour l'assainissement de la nouvelle gare de Bouira, Le drainage longitudinal se fait par la mise en place de conduites perforées, circulaires et enterrées. Des collecteurs fermés assureront l'évacuation des eaux de pluie vers l'exutoire naturel, une tête de buse sera mise en place sur chaque point de décharge.

- Pour assure un bon drainage des eaux pluviales dans la gare, les quais doivent avoir une pente de 2% en toit, avec inclinaison transversale des plates-formes de 4%.
- Le système de drainage des entre-voies évacue ses eaux à la sortie des ouvrages hydrauliques conçus pour les cours d'eau avoisinant ce système ou dans le fossé longitudinal au pied du remblai de l'infrastructure ferroviaire.
- Pour le bâtiment de voyageur le réseau sanitaire devrait se raccorder au réseau municipal existant, en fonction de sa capacité.
- Si le drainage vers le cours d'eau n'est pas envisageable, rejeter les eaux dans le réseau municipal existant en prévoyant leur captage dans des puisards aux points bas et en s'assurant de respecter les critères de rejet.
- Le système de drainage des voies des gares consiste en un drain-collecteur. Cet élément de drainage est formé d'un tube-drain qui recueille les eaux filtrées, sous lequel un collecteur en béton est placé. Le tube-drain décharge le débit recueilli dans le collecteur de transport dans des bornes de visite placées tous les 50 m. Les débits transportés dans le collecteur sont déchargés tous les 300 m maximum pour assurer le bon fonctionnement du système.

Le schéma ci-après montre un drain-collecteur :

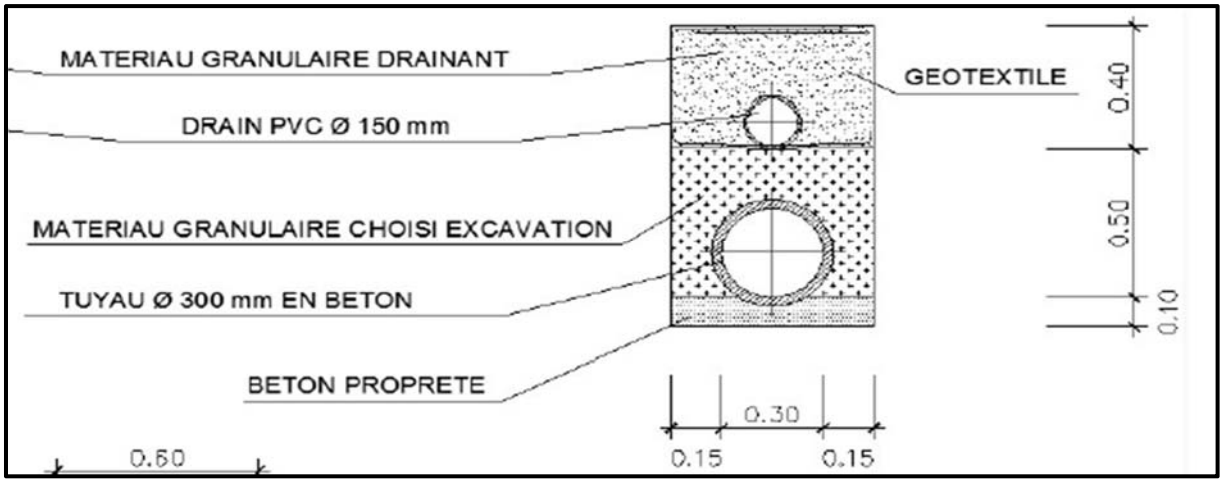


Figure IX.10 Drain collecteur [14]

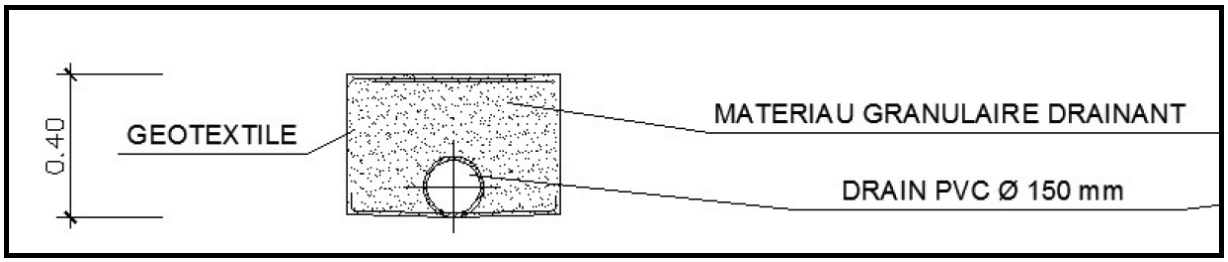


Figure IX.11 Un drain [14]

Pour garantir l'écoulement des eaux infiltrées dans les stations, le système de drainage doit être installé avec une pente longitudinale qui permette l'écoulement des flux infiltrés.

Critères de conception des collecteurs sont énumérés dans le tableau ci-après :

Tableau IX.2 critère de conception des collecteurs [4]

Description	Critère
Pente longitudinale	0.2%
Diamètre minimal	400mm
Recouvrement minimum	1.2m
Vitesse maximale	3 m/s
Taux de remplissage maximal	90%
Distance maximale entre les regards	80m si DN ≤ 600mm 100m si 700mm ≤ DN ≤ 900mm 125m si 1000mm ≤ DN ≤ 1400mm 200m si 1500mm ≤ DN ≤ 2000mm

IX.4.5 profil en travers de la gare

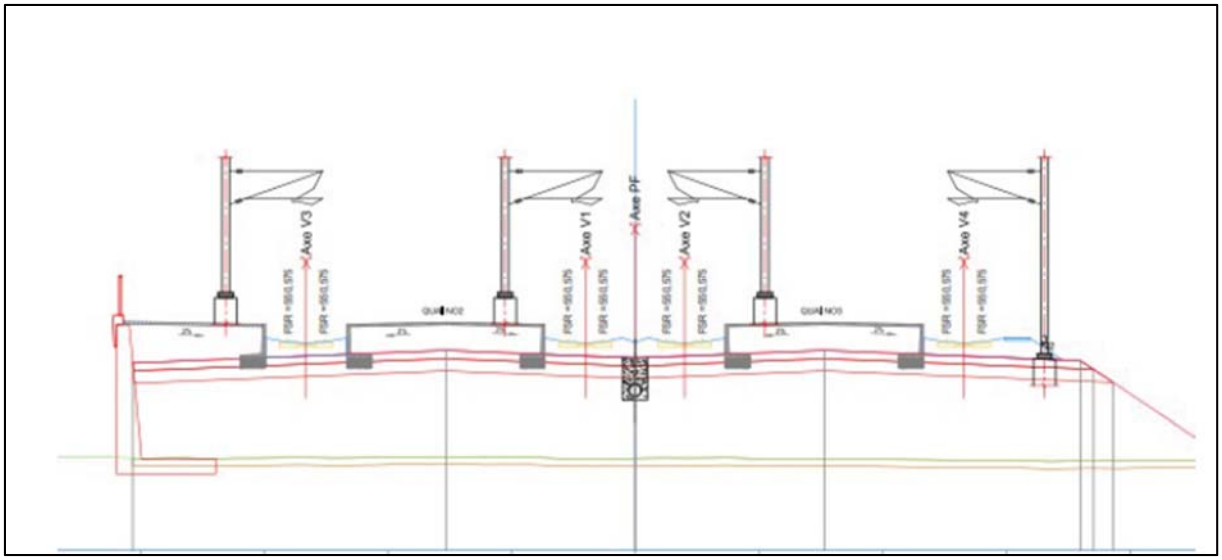


Figure IX.12 coupe de profil en travers type de la gare de Bouira

IX.5 CONCLUSION :

La conception de la gare de Bouira est conforme aux normes en vigueur pour répondre aux exigences de sécurité et de confort, afin d'absorber la demande sur ce mode de transport qui ne cesse qu'augmenter au fil de temps.

CHAPITRE X

Devis estimatif et quantitatif

Tableau X. 1. Devis estimatif et quantitatif

INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDES D'EXECUTION					
N°	**Désignations des travaux**	**U**	**Quantité**	**Prix unitaire (da)**	**Montant total (da)**
1.1	Amenée du matériel et installation général du chantier	F	1	61 000 000,00	61 000 000,00
1.2	Repli du matériel et des installations du chantier	F	1	10 000 000,00	10 000 000,00
1.3	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1	10 000 000,00	10 000 000,00
1.4	Étude d'exécution	F	1	10 000 000,00	10 000 000,00
TOTAL INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER					**91 000 000,00**
TERRASSEMENTS GENERAUX					
N°	**Désignations des travaux**	**U**	**Quantité**	**Prix unitaire**	**Montant total**
2.1	Décapage de terre végétale sure epaisseur de 0,40 m	M3	256 455,000	500,00	128 227 500,00
2.2	Déblais en terrain meuble mis en depot	M3	976 591,000	550,00	537 125 050,00
2.3	Remblais d'apport en matériaux sélectionné	M3	1 226 342,000	3 200,00	3 924 294 400,00
2.4	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme de 0,50 m ep	M3	95 287,000	1 700,00	161 987 900,00
2.5	Fourniture et mise en œuvre de la couche de s/ballast de 0,35 m ep	M3	62 891,000	3 200,00	201 251 200,00
TOTAL TERRASSEMENTS GENERAUX					**4 952 886 050,00**
OUVRAGES D'ART					
N°	**Désignations des travaux**	**U**	**Quantité**	**Prix unitaire**	**Montant total**
3.1	Ouvrage d'art	M2	17 344,00	600 000,00	10 406 400 000,00
3.2	Tunnel	ML	428,00	5 000 000,00	2 140 000 000,00
TOTAL OUVRAGES D'ART					**12 546 400 000,00**
OUVRAGES HYDRAULIQUE					
N°	**Désignations des travaux**	**U**	**Quantité**	**Prix unitaire**	**Montant total**
4.1	Buses en Béton Armé Ø 1500	ML	270,00	35 000,00	9 450 000,00
4.2	Dalot (1.5X1.5)	ML	407,00	1 350 000,00	549 450 000,00
4.3	Dalot (2.5X2.0)	ML	352,00	1 750 000,00	616 000 000,00
TOTAL OUVRAGES HYDRAULIQUE					**1 174 900 000,00**
TRAVAUX DE VOIE					
N°	**Désignations des travaux**	**U**	**Quantité**	**Prix unitaire**	**Montant total**
5.1	Fourniture et pose ballast sur épaisseur de 0,30 m	M3	84 463,000	6 800,00	574 348 400,00
5.2	Pose de voie UIC 60	ML	70 644,00	6 300,00	445 057 200,00
	FORNITURE DE MATERIEL ET MATERIAUX DE VOIE				

5.3	Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60,34 kg/m)	T	8 525,318	173 880,00	1 482 382 279,93
5.4	Fourniture des traverses en béton armé (VAX U31).	U	117 740	9 200,00	1 083 208 000,00
5.5	Fourniture des traverses en béton armé (VAX U31).	U	15	42 605 840,00	639 087 600,00
5.6	attache Nabla	U	470 960	434,73	204 740 440,80
TOTAL VOIE FERREE - TRACE					**4 428 823 920,73**
	VOIE FERREE - GARE DE BOUIRA				
N°	**Désignations des travaux**	**U**	**Quantité**	**Prix unitaire**	**Montant total**
6.1	Pose d'un appareil de voie simple type				
	a) UIC 60-500-1/12 DD	U	8	620 000,00	4 960 000,00
	b) UIC 60-500-1/12 DG	U	8	620 000,00	4 960 000,00
6.2	Fourniture d'un branchement simple type				
	a) UIC 60-500-1/12 DD	U	8	16 500 000,00	132 000 000,00
	b) UIC 60-500-1/12 DG	U	8	16 500 000,00	132 000 000,00
6.3	Fourniture et pose heurtoir	U	4	540 300,00	2 161 200,00
6.4	Bâtiment de Voyageurs	F	1	20 000 000,00	20 000 000,00
TOTAL VOIE FERREE - GARE DE BOUIRA					**296 081 200,00**
QUAIS, ABRIS DE QUAI					
N°	**Désignations des travaux**	**U**	**Quantité**	**Prix unitaire**	**Montant total**
	ABRIS DE QUAIS				
7.1	quais	M2	5 200,00	20 000,00	104 000 000,00
7.2	Abris de quais	M2	559,20	92 000,00	51 446 400,00
TOTAL QUAIS, ABRIS DE QUAI					**155 446 400,00**
TOTAL					
					MONTANT TOTAL
MONTANT DU PROJET H T					**23 645 537 570,73**
MONTANT DE LA T. V. A (19 %)					**4 492 652 138,44**
MONTANT DU PROJET EN T T C					**28 138 189 709,17**

LE COUT TOTAL DU PROJET

Vingt-huit milliards cent trente-huit millions cent quatre-vingt-neuf milles sept cent neuf Dinars Algérien et dix-sept centimes (28 138 189 709,17 DA).

CONCLUSION GENERALE

De nos jours, les infrastructures de transport symbolisent le degré du développement de pays, du fait qu'elles permettent les échanges commerciaux et facilitent les déplacements et les communications.

Pour cela, l'état a investi dans le domaine ferroviaire en lançant un programme de modernisation des anciennes lignes et création de nouvelles lignes.

Le tronçon étudié fait partie du projet de double voies électrifies à trafic mixte entre Thenia et Bordj Bou Arreridj du PK 55+000 au PK 70+000.

L'étude d'avant-projet détaillé nous a permis d'utiliser le bagage théorique durant les années de formation à l'ENSTP en le mettant en pratique d'une part, et de préparer à l'intégration à la vie professionnelle d'une autre part.

Ce travaille nous a permis de combiner entre les conditions et les exigences dans les normes (UIC, SNTF), et les conditions rencontrer dans la zone d'étude ou on était obligé dans certain cas de passer par des ouvrages d'art pour minimiser le cout et améliorer le confort des voyageurs.

Cette étude, nous a fait connaitre la conception de la gare de voyageur de et la conception des ouvrages d'art tels que les tunnels, les ponts et les viaducs tout en respectant les normes citer précédemment.

Finalement elle nous a familiarisées avec les outils informatiques, par l'utilisation des logiciels comme AUTOCAD 2019, CIVIL 3D 2018, CIVIL 3D 2019, GLOBAL MAPER, GEOSTUDIO.

LA BIBLIOGRAPHIE :

[1] Jean Alias, *La voie ferrée, Techniques de construction et d'entretien*, 1984 2ème édition.

[2] SNTF, *Référentiel technique, chapitre06 géométrie de la voie*, version 2 2005.

[3] SNTF, *Référentiel technique, ouvrage en terre pour plateforme ferroviaire*; 2005 version 2.

[4] SNTF, *chapitre 7.2.3- hydraulique drainage*, version2 2005.

[5] Code UIC 703R, *caractéristiques des voies parcourues par des trains*, 2éme édition 1989

[6] Code UIC 719R, *ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaires,* 2éme édition 1994.

[7] Code UIC 741, quais des gares à voyageurs- règles de l'implantation des quais par rapport à la voie, 5éme édition, 2007.

[8] Code UIC 741-OR: *quais des gares à voyageurs –Règles pour l'implantation des bordures des quais par rapport à la voie,* 5éme édition, septembre 2007.

[9] GTR, *guide technique, Conception et réalisation des terrassements*, 2007

[10] Sétra, *Guide technique Assainissement routiers*, Octobre 2006.

[11] Manuel de projet routier, GOUMETTRE, KALLI 2012

[12]Wikipédia

[13]SNTF, *Fiche de normalisation : aménagement et gare, trace des voies*, 3éme édition, Juin 1985

[14] GROUPEMENT D'ENTREPRISES CCECC-OZGUN, «*rapport hydrologie et hydraulique »,2018*

[15]SNTF, *Référentiel technique, chapitre08 tunnel,* version 2 année 2005

[16]SNTF, *Référentiel technique, chapitre ouvrage07 d'art,* version 2 année 2005

[17] IN0272 Conception du tracé de la voie courante inf 220 km [OCR]

[18] GROUPEMENT D'ENTREPRISES CCECC-OZGUN, «*rapport des critères de conception tranchées couvertes »*

[19] GROUPEMENT D'ENTREPRISES CCECC-OZGUN, «*rapport des critères de conception ouvrages d'arts»*

[20] Kara Benchohra, Cours 4éme année PGC.

[21] Fernand Lebbe, Au fil du rail, La voie ferrée La constitution de la voie, 1984 2ème édition.

[22]SNTF-APPAREILS DE VOIE EN RAILS UIC.54.

[23] Ulysse Lamalle, Tome III LA VOIE Fascicule I, article disponible à l'adresse URL : http//www. www.tassignon.be.

[24]Ministère des travaux publics (MPT), document technique réglementaire(DTR), RPOA 2008.

ANNEXE

ANNEX 1 : LISTINGS AXE EN PLAN

Listing de la géométrie de l'axe en plan					
Axe en plan : APD Thénia-BBA PK55+000-PK70+000					
Elem	**Caractéristiques**	**Longueur**	**Abscisse**	**X**	**Y**
			55000.00	581,330.894	4,028,741.970
DR1	ANG=183.8572 (g)	76.012			
			55076.01	581,349.963	4,028,668.389
CLO2	A=379.473				
	R=1,200.000	120.000			
			55196.01	581,381.994	4,028,552.757
ARC3	XC=582,527.125				
	YC=4,028,911.472				
	R=1,200.000	433.434			
			55629.45	581,582.651	4,028,171.222
CLO4	A=379.473				
	R=1,200.000	120.000			
			55749.45	581,659.774	4,028,079.305
DR5	ANG=154.4966 (g)	2,648.164			
			58397.61	583,395.488	4,026,079.287
CLO6	A=374.166				
	R=1,400.000	100.000			
			58497.61	583,460.125	4,026,002.992
ARC7	XC=582,370.688				
	YC=4,025,123.715				
	R=1,400.000	478.187			
			58975.80	583,691.713	4,025,587.281
CLO8	A=374.166				
	R=1,400.000	100.000			
			59075.80	583,722.567	4,025,492.166
DR9	ANG=180.7884 (g)	270.300			
			59346.10	583,802.905	4,025,234.080
CLO10	A=379.473				
	R=1,200.000	120.000			
			59466.10	583,840.471	4,025,120.126
ARC11	XC=584,966.986				
	YC=4,025,533.603				
	R=1,200.000	309.551			
			59775.65	583,983.226	4,024,846.424
CLO12	A=379.473				
	R=1,200.000	120.000			
			59895.65	584,055.176	4,024,750.404

DR13	ANG=158.0000 (g)	54.126			
			59949.78	584,088.350	4,024,707.636
CLO14	A=374.166				
	R=1,400.000	100.000			
			60049.78	584,148.692	4,024,627.901
ARC15	XC=583,012.542				
	YC=4,023,809.878				
	R=1,400.000	354.461			
			60404.24	584,317.378	4,024,317.226
CLO16	A=374.166				
	R=1,400.000	100.000			
			60504.24	584,351.386	4,024,223.193
DR17	ANG=178.6657 (g)	449.873			
			60954.11	584,499.341	4,023,798.346
CLO18	A=379.473				
	R=1,200.000	120.000			
			61074.11	584,540.685	4,023,685.707
ARC19	XC=585,652.790				
	YC=4,024,136.510				
	R=1,200.000	1,731.676			
			62805.79	585,958.253	4,022,976.040
CLO20	A=379.473				
	R=1,200.000	120.000			
			62925.79	586,073.205	4,023,010.433
DR21	ANG=80.4312 (g)	368.508			
			63294.29	586,424.440	4,023,121.932
CLO22	A=379.473				
	R=1,200.000	120.000			
			63414.29	586,539.392	4,023,156.325
ARC23	XC=586,844.856				
	YC=4,021,995.854				
	R=1,200.000	670.129			
			64084.42	587,200.689	4,023,141.883
CLO24	A=379.473				
	R=1,200.000	120.000			
			64204.42	587,314.030	4,023,102.505
DR25	ANG=122.3489 (g)	316.566			
			64520.99	587,611.289	4,022,993.641
CLO26	A=374.166				
	R=1,400.000	100.000			
			64620.99	587,704.768	4,022,958.139
ARC27	XC=587,176.690				
	YC=4,021,661.553				
	R=1,400.000	232.418			

			64853.41	587,911.770	4,022,853.047
CLO28	A=374.166				
	R=1,400.000	100.000			
			64953.41	587,995.598	4,022,798.533
DR29	ANG=137.4648 (g)	166.128			
			65119.53	588,133.779	4,022,706.314
CLO30	A=387.298				
	R=1,500.000	100.000			
			65219.53	588,217.564	4,022,651.733
ARC31	XC=589,008.187				
	YC=4,023,926.455				
	R=1,500.000	208.914			
			65428.45	588,402.185	4,022,554.317
CLO32	A=387.298				
	R=1,500.000	100.000			
			65528.45	588,494.532	4,022,515.962
DR33	ANG=124.3541 (g)	185.413			
			65713.86	588,666.542	4,022,446.749
CLO34	A=379.473				
	R=1,200.000	120.000			
			65833.86	588,777.094	4,022,400.110
ARC35	XC=588,274.065				
	YC=4,021,310.632				
	R=1,200.000	429.829			
			66263.69	589,127.118	4,022,154.611
CLO36	A=379.473				
	R=1,200.000	120.000			
			66383.69	589,208.617	4,022,066.550
DR37	ANG=153.5235 (g)	1,283.043			
			67666.73	590,064.288	4,021,110.504
CLO38	A=387.298				
	R=1,500.000	100.000			
			67766.73	590,131.800	4,021,036.739
ARC39	XC=591,215.550				
	YC=4,022,073.796				
	R=1,500.000	749.161			
			68515.89	590,760.862	4,020,644.369
CLO40	A=387.298				
	R=1,500.000	100.000			
			68615.89	590,856.802	4,020,616.183
DR41	ANG=117.4839 (g)	1,408.577			
			70024.47	592,212.590	4,020,234.181

ANNEXE 2 : LISTINGS PROFIL EN LONG

Profil : Abscisse Sommets et Raccordements				
Plage d'abscisse : Début : 55000.00, Fin: 70024.47				
Longueur de l'axe : 15,024.470m				
Elément	**Caractéristiques des éléments**	**Longueur**	**Abscisse**	**Z**
			55000.00	548.421
DROITE 1	PENTE= 0.38%	999.368		
			55999.37	552.237
DROITE 2	PENTE= 0.00%	2,052.512		
			58051.88	552.237
PARABOLE 2	S= 58075.00 Z=552.237			
	R = 9,000.000	46.240		
			58098.12	552.118
DROITE 3	PENTE= -0.51%	433.028		
			58531.15	549.893
PARABOLE 3	S= 58609.90 Z=549.489			
	R = 19,000.000	157.497		
			58688.64	548.431
DROITE 4	PENTE= -1.34%	842.628		
			59531.27	537.117
PARABOLE 4	S= 59575.00 Z=536.530			
	R = 40,000.000	87.454		
			59618.73	535.847
DROITE 5	PENTE= -1.56%	1,071.020		
			60689.75	519.125
PARABOLE 5	S= 60725.00 Z=518.575			
	R = 15,000.000	70.506		
			60760.25	518.190
DROITE 6	PENTE= -1.09%	1,231.877		
			61992.13	504.746
PARABOLE 6	S= 62037.94 Z=504.246			
	R = 15,000.000	91.626		
			62083.76	504.026
DROITE 7	PENTE= -0.48%	594.697		
			62678.45	501.169
PARABOLE 7	S= 62731.53 Z=500.914			
	R = 10,000.000	106.148		
			62784.60	501.222
DROITE 8	PENTE= 0.58%	312.868		
			63097.47	503.040
PARABOLE 8	S= 63150.00 Z=503.346			
	R = 15,000.000	105.060		
			63202.53	504.019
DROITE 9	PENTE= 1.28%	768.768		

			63971.30	513.870
DROITE 10	PENTE= 1.24%	1,888.385		
			65859.68	537.331
PARABOLE 10	S= 65967.87 Z=538.675			
	R = 15,000.000	216.382		
			66076.07	538.459
DROITE 11	PENTE= -0.20%	481.794		
			66557.86	537.495
PARABOLE 11	S= 66661.17 Z=537.288			
	R = 15,000.000	206.628		
			66764.49	535.658
DROITE 12	PENTE= -1.58%	2,131.614		
			68896.10	502.028
PARABOLE 12	S= 68969.28 Z=500.874			
	R = 20,000.000	146.356		
			69042.46	500.255
DROITE 13	PENTE= -0.85%	982.014		
			70024.47	491.948

ANNEXE 3 : GEOTECHNIQUE

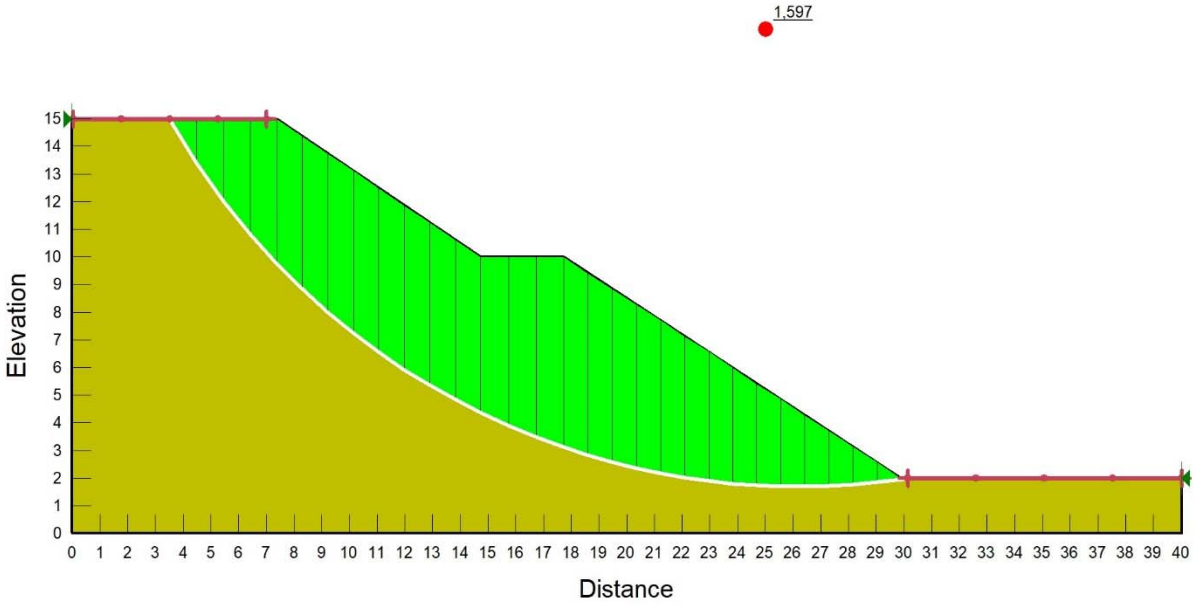
Résultats des essais :

N°forages	APS Enrichi PK (équivalent)	Prof (m)		UNITE Géotechniques	Densité (g/cm³)		VBS	W	S_r	Limites d'Atterberg			Analyse granulométrique							Analyse chimique			
										w_L	w_P	I_P	Graviers	Sable Grossier	Sable Fin	Graves %				M.O	Sulfates	Chlorures	$CaCO_3$
		De	A		humi	Sèche	-	(%)	(%)	(%)	(%)	-	20 - 2mm	2 - 0,2mm	0,2 - 0,02mm	> 2mm	<2 mm	< 80µm	< 2µm	(%)	(%)	(%)	(%)
F-104-11	PK59+092,85	2,10	2,40	ARQ4	1,94	1,61		20,91	83	59,31	23,85	35,46											
		14,68	15,00	MA	2,14	1,83		16,76	95	45,54	21,95	23,59	100,00	93,25	72,19	-52,30	90,00	62,30	26,00				
F-84-10	PK59+263,61	2,43	2,85	ARQ4	2,08	1,75		19,38	95,68	40,89	15,4	25,49	96,53	92,13				87,38			1,75	0,15	
		4,75	5,00	ARQ4	2,12	1,83		15,94	89,76	44,38	20,05	24,33	91,86	88,63				86,8					
		19,50	20,20	MA	2,07	1,71		21,38	98,95	50,92	18,9	32,02	99,99	99,43				98,6					
F-103-11	PK59+339,19	2,00	2,28	ARQ4	1,94	1,62		20,04	81	54,26	22,00	31,26											
		8,73	9,00	MA	2,12	1,85		14,49	85	51,45	20,20	31,25	100,00	73,49	60,78	-55,81	98,00	57,81					
F-102-11	PK59+508,39	2,65	2,90	ARQ4	2,15	1,87		14,94	91	42,52	19,90	22,62	100,00	74,73	62,98	-27,44	68,00	59,44	18,00	0,16			
		7,00	7,35	ARQ4	2,09	1,74		20,57	100				100,00	99,32	96,70	-94,32	100,00	94,32	36,00	0,09	0,13		
		8,10	8,35	ARQ4	2,18	1,91		14,23	92	37,54	18,20	19,34	100,00	95,83	76,21	-60,66	96,00	64,66	56,00	0,11	0,04	0	10,84
F-101-11	PK59+914,74	3,00	4,00	ARQ4																			
		11,00	12,00	QA2-PQG			0,15						100,00	80,23	6,78	15,25	80,00	4,75					
F-100-11	PK60+250,64	3,00	3,45	QA2-PQG						45,32	25,10	20,22	100,00	74,17	59,05	-29,28	75,00	54,28					
		12,50	12,80	QA2-PQG	2,14	1,80		18,58	100														
F-99-11	PK60+377,35	5,67	6,00	MA	2,11	1,80		17,30	94	36,15	17,95	18,20	100,00	91,75	95,60	-72,00	90,00	82,00	22,00				20,85
		11,74	12,00	MA	2,05	1,64		24,85	100	54,16	23,00	31,16	100,00	93,19	91,01	-85,72	95,00	90,72					
		17,70	18,00	MA																			
F-98-11	PK60+721,58	1,00	1,34	ARQ4	2,01	1,74		15,87	77				100,00	98,23	89,72	-73,00	98,00	75,00					
		5,00	6,00	QA2-PQG	2,18	1,89	0,17	15,58	97				100,00	96,58	11,71	-4,60	98,00	6,60	2,00				
		14,53	14,90	MA						48,05	21,45	26,60	100,00	98,49	97,93	-95,00	98,00	97,00	28,00				
F-B18-18	PK60+885,00	5,00	5,50	MA	2,11	1,79		17,92		61,2	40,09	21,11				0	100	98,69	72				
		11,00	11,40	MA	2,2	1,93		14,17		31						0	100	98	71	ND	Traces	0,24	22
		14,40	15,00	MA	2,32	2,17		6,98		25	24,4	0,6				2	98,72	78,75	23,54				
F-97-11	PK61+260,16	2,00	2,45	ARQ4	2,12	1,86		14,05	84	21,35	6,00	15,35	100,00	94,67	84,03	-75,00	95,00	80,00	38,00				
		5,15	5,55	ARQ4	2,18	2,03		7,20	59	32,92	16,10	16,82	100,00	95,02	85,09	-77,00	95,00	82,00	28,00				
		7,70	8,16	MA	2,30	2,08		10,87	98	31,87	17,65	14,22	100,00	99,26	53,98	-40,00	98,00	42,00	20,00		0,25		35,86
		11,68	12,00	QA2-PQG	2,26	2,13		6,48	65														
		17,70	17,95	QA2-PQG	2,29	2,08		10,25	93														
F-96-11	PK61+415,74	2,60	2,88	ARQ4	2,00	1,69		18,63	84	32,22	19,35	12,87	100,00	99,99	99,40	-95,98	100,00	95,98	22,00				
		5,13	5,50	ARQ4	1,96	1,56		25,73	95	48,12	21,60	26,52	100,00	89,15	86,73	-74,83	90,00	84,83					
		9,82	10,30	QA2-PQG	2,04	1,72		18,48	88	42,08	19,75	22,33	100,00	99,75	99,17	-97,71	100,00	97,71			0,33		54,21
		14,50	14,98	MA	2,26	2,00		12,87	99	37,43	16,40	21,03	100,00	99,00	97,53	-96,61	100,00	96,61					
		18,07	18,54	MA	2,20	1,97		11,74	85	30,53	15,50	15,03	100,00	98,80	96,63	-79,18	100,00	79,18					
		21,18	21,63	MA	2,21	1,95		13,70	96	42,59	18,00	24,59											
		24,50	25,00	MA	2,19	1,94		12,97	89														
F-95-11	PK61+675,03	1,24	1,80	ARQ4	2,10	1,86		12,44	75	38,66	18,40	20,26	100,00	99,49	94,02	-89,55	100,00	89,55	26,00				
		7,45	7,75	MA	2,20	1,91		15,25	99	42,42	20,20	22,22	100,00	99,75	99,17	-97,71	100,00	97,71	44,00				
		11,28	11,80	MA	2,27	2,05		10,74	91	34,40	17,25	17,15	100,00	93,90	77,76	-65,36	96,00	69,36	40,00		0,21		45,87
		17,00	17,60	MA	2,32	2,13		8,90	90	27,97	14,70	13,27											
		20,50	21,00	MA	2,33	2,15		8,13	86	30,58	14,75	15,83											
F-94-11	PK61+935,19	5,71	6,00	ARQ4	2,14	1,83		17,31	98	49,39	23,70	25,69	100,00	97,61	93,48	-87,30	98,00	89,30	38,00				30,02
		13,69	14,00	QA2-PQG	2,07	1,72		20,72	98	43,43	20,40	23,03	100,00	95,40	92,70	-82,34	94,00	88,34					
		18,25	18,60	MA	2,18	1,87		16,13	99	45,96	22,15	23,81											
F-B18Bis(1)-18	PK62+720,00	2,14	2,70	ARQ4	2,14	2		7,11		41,86	20,87	20,99											
		10,10	10,55	QA2-PQG	2,14	1,84																	
		12,50	13,00	QA2-PQG	2,26	1,97				47,32	23,88	23,44				11	89	63	41	0,94	Traces	0,38	22,4
		14,47	14,66	QA2-PQG	2,24	2,02		10,62		52,8	26,23	26,57				1	99	84	63				
F-92-11	PK63+059,73	2,66	3,00	ARQ4	2,23	1,99		11,94	91	45,19	21,30	23,89	100,00	60,57	41,18	0,00	63,18	36,82	13,00				
		5,56	5,90	MA	2,08	1,73		20,28	98	48,65	19,90	28,75	100,00	97,94	68,32	-65,22	100,00	65,22	28,00				
		8,72	9,00	MA	2,07	1,74		18,70	92														30,86
		10,00	10,50	MA						33,60	17,30	16,30	100,00	98,76	91,80	-76,60	100,00	76,60	24,00				
F-91-11	PK63+458,55	2,60	3,00	ARQ4	2,01	1,76		14,37	72	37,09	17,10	19,99	100,00	97,10	91,97	-80,25	100,00	80,25	40,00		0,03		40,87
		7,10	7,40	QA2-PQG	1,87	1,62		15,67	63	34,68	17,20	17,48	100,00	39,54	24,54	0,00	79,09	20,91					
		15,67	16,00	QA2-PQG	2,18	1,93		13,27	89	33,00	16,40	16,60	100,00	97,62	85,40	-69,45	100,00	69,45			0,27		25,02
F-B18Bis(2)-18	PK63+540,00	7,10	7,50	QA2-PQG	2,29	2,09		9,46	87,19	34	19	15				8,67	91,33	75,75	34				
F-79-10	PK63+668,94	2,67	2,90	ARQ4	2,18	1,93		12,82	86,58	48,16	21,15	27,01	98,68	93,58		2,00	98,00	88,89	35,00				47,54
		6,25	6,50	ARQ4	2,03	1,72		18,19	86,40	52,99	23,80	29,19											
		8,90	9,15	ARQ4	2,17	1,95		11,00	77,36														
F-90-11	PK63+887,11	7,50	7,85	QA2-PQG	2,19	1,93		13,37	90				100,00	96,32	83,49	-64,98	98,00	66,98	27,00				
		19,35	19,80	ARQ4	2,17	1,85		17,31	100				100,00	99,43	93,61	-86,36	100,00	86,36	45,00			0,09	25,02
F-B18Bis(3)-18	PK64+060,00	1,35	1,75	ARQ4	2,06	1,74		18,34		52,03	26,07	25,96				8	92	87	65				
		7,54	7,76	QA2-PQG	2,16	1,93																	
		10,40	10,77	QA2-PQG	2,39	2,32																	
		14,16	14,48	QA2-PQG	2,49	2,37																	
		16,60	16,93	QA2-PQG	2,14	1,85																	
		18,00	18,43	QA2-PQG	2,22	1,97																	
F-B19-18	PK64+355,00	2,20	2,70	ARQ4	1,97	1,61		22,09	90,6	37	19	18				12	88,55	83,73	34				
		3,70	4,00	ARQ4	2,04	1,71		19	91,59														
		5,40	5,50	ARQ4	1,97	1,6		23,13	93,38	67	29	38				0	99,9	98,8	72				
		10,60	10,90	ARQ4	2,02	1,72		17,17	84,13							1	99,25	90	52				
		23,20	23,50	QA2-PQG	1,83	1,53		19,62	71,01	60	21	39				1	99,39	95,55	70				
		28,00	28,35	MA	2,14	1,73		23,46		62	25	37				1	99,97	99,89	70				
F-88-11	PK64+586,07	3,65	4,00	ARQ4	2,03	1,69		19,95	91	51,46	17,95	33,51	100,00	93,26	98,87	-74,47	90,00	84,47	25,00				38,78
		5,65	5,85	ARQ4	2,02	1,63		24,40	100	40,79	20,65	20,14	100,00	95,75	93,34	-89,17	98,00	91,17	32,00				35,86
		8,13	8,57	ARQ4	2,15	1,89		14,10	88	36,83	16,70	20,13	100,00	97,32	94,02	-86,06	98,00	88,06					
		10,00	10,40	ARQ4	2,24	1,97		13,70	99	36,19	18,00	18,19	100,00	92,62	88,92	-71,75	92,00	79,75					
		14,00	14,30	ARQ4	2,25	1,99		13,03	98	33,62	18,05	15,57	100,00	90,02	68,65	-43,01	90,00	53,01					
F-87-11	PK64+732,46	6,00	6,30	ARQ4	2,18	1,98		9,96	74	43,03	21,90	21,13	100,00	88,04	65,05	-46,76	90,00	56,76					
		12,60	12,90	ARQ4	2,03	1,74		16,81	82	42,13	22,25	19,88	100,00	99,64	98,66	-98,46	100,00	98,46					
		14,00	14,40	ARQ4	2,12	1,83		16,04	91							-15,00	70,00	45,00					
F-B20-18	PK64+930,00	3,45	3,85	ARQ4	1,92	1,62		17,99	76,16	59	26	33											
		5,35	5,85	ARQ4	1,95	1,68		16,13	74,03	48	21	27											
		8,00	8,50	ARQ4	2,12	1,55		36,15	100	60	26	31				15,31	84,69	81,31	40				
		29,70	30,10	ARQ4	2,15	1,8		18,85	100	32	21	11											
		33,00	33,45	ARQ4	2,13	1,79		18,98	100	47	24	23				3,15	96,85	95,29	38		Traces	0,35	34,48
		39,30	40,00	ARQ4	2,19	1,9		15,48	99,23	42	23	19				3,46	96,54	93,74	42				
F-86-11	PK65+102,11	5,30	5,75	ARQ4	2,15	1,83		17,86	100	42,57	21,05	21,52	100,00	99,30	96,06	-93,02	100,00	93,02	46,00		0,50	0,02	25,02
		8,00	8,45	ARQ4	2,14	1,83		17,09	97	36,24	18,15	18,09	100,00	82,50	78,23	-52,26	80,00	72,26	20,00		0,03	0,06	27,10
		11,50	12,00	ARQ4	2,22	1,93		15,02	100	34,55	20,00	14,55	100,00	99,62	94,14	-78,11	100,00	78,11					27,52
F-77-10	PK65+179,41	2,20	2,52	ARQ4	2,06	1,68		22,40	99,52	46,93	21,10	25,83	98,72	97,41			98,00	96,77	36,00				28,36
		5,78	6,10	ARQ4	1,95	1,57		24,65	91,98	47,06	23,65	23,41											
		9,40	9,88	ARQ4	2,15	1,82		17,90	99,90	53,52	22,30	31,22											21,84
		16,20	16,55	ARQ4	2,17	1,86		16,57	98,62														
F-85-11	PK65+397,51	1,75	2,00	ARQ4	2,22	1,98		11,72	88	28,26	17,85	10,41	94,17	83,29	63,95	-33,58	82,00	51,58	16,00		0,14	0	35,03
		19,50	20,00	ARQ4	2,19					44,48	19,30	25,18	100,00	78,89	74,14	-49,87	80,00	69,87	27,00				
F-76-10	PK65+853,69	5,40	5,60	ARQ4	2,12	1,85		15,15	88,31	35,83	17,85	17,98	94,21	86,09			95,00	83,88	22,00		0,28	0,04	60,46
		6,9	7,25	ARQ4	2,11	1,76		20,25	100,00	41,82	28,95	12,87	95,00	83,89			95,00	81,93	26,00				
		10,7	11,10	ARQ4	2,00	1,59		25,30	98,38	46,26	21,90	24,36											37,11
F-74-10	PK68+648,35	2,37	2,60	ARQ4	1,91	1,60		18,83	74,32	44,53	21,20	23,33	82,73	71,24			88,00	67,69	22,00				62,97
		6,50	6,85	ARQ4	2,15	1,86		15,31	92,00	53,58	24,15	29,43											
		12,13	12,43	ARQ4	1,96	1,59		23,69	91,11	64,27	25,00	39,27											
		15,83	16,13	ARQ4	2,10	1,80		16,95	90,83	56,36	23,50	32,86											
		18,70	19,10	ARQ4	2,20	1,91		14,73	96,70	37,91	19,65	18,26											42,95

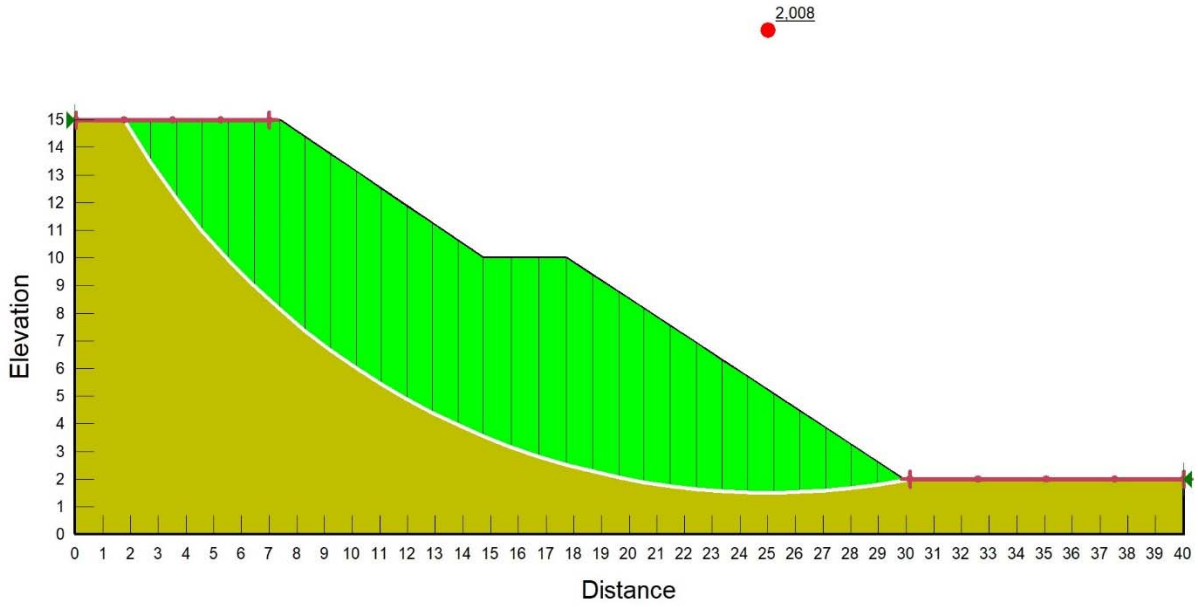
ANNEXE 4 : TERRASSEMENTS

Figures des résultats de stabilité du talus établi par le logiciel Geostudio

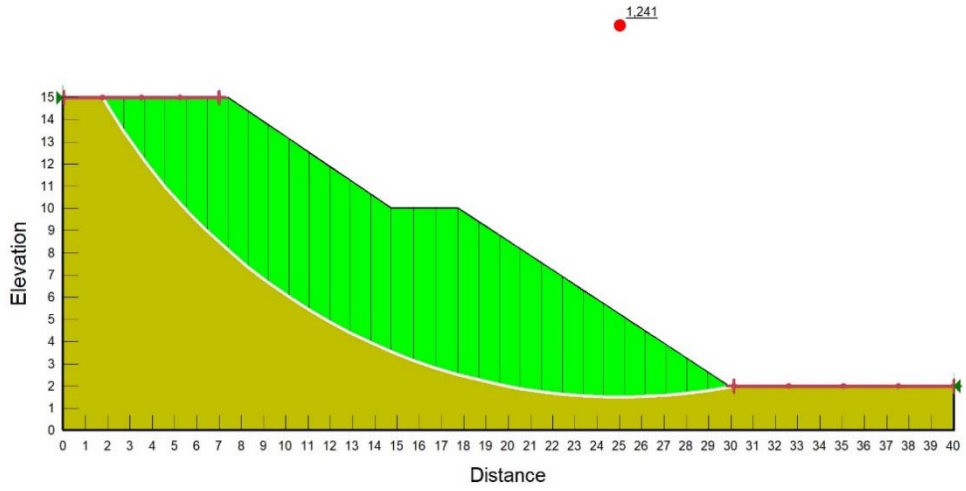
Cas de déblai :



Court terme

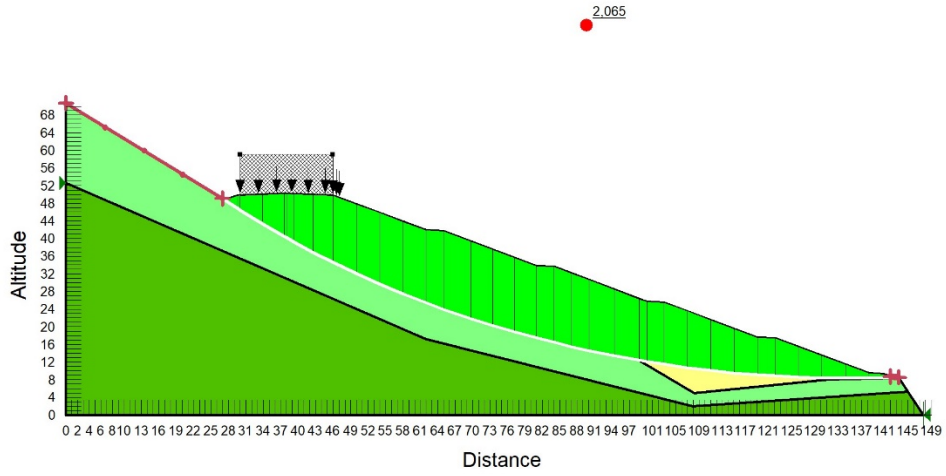


Long terme

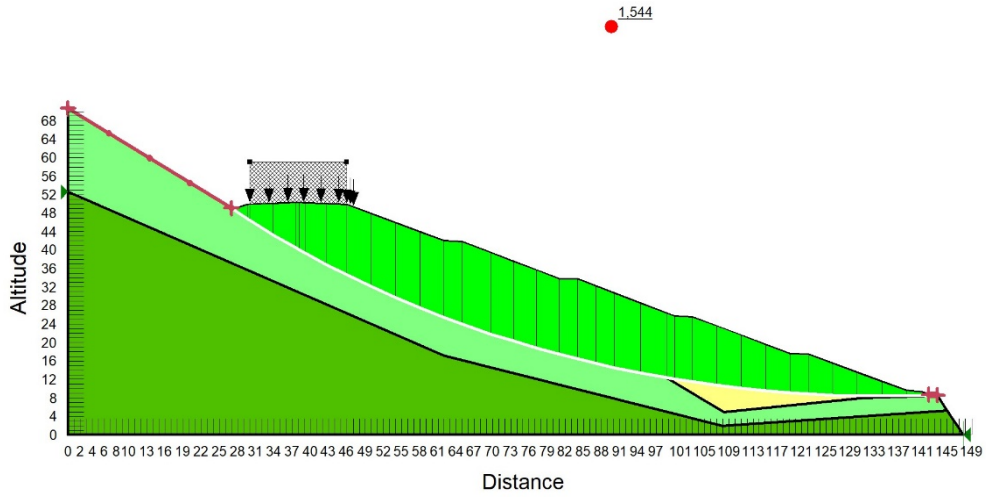


Sismique

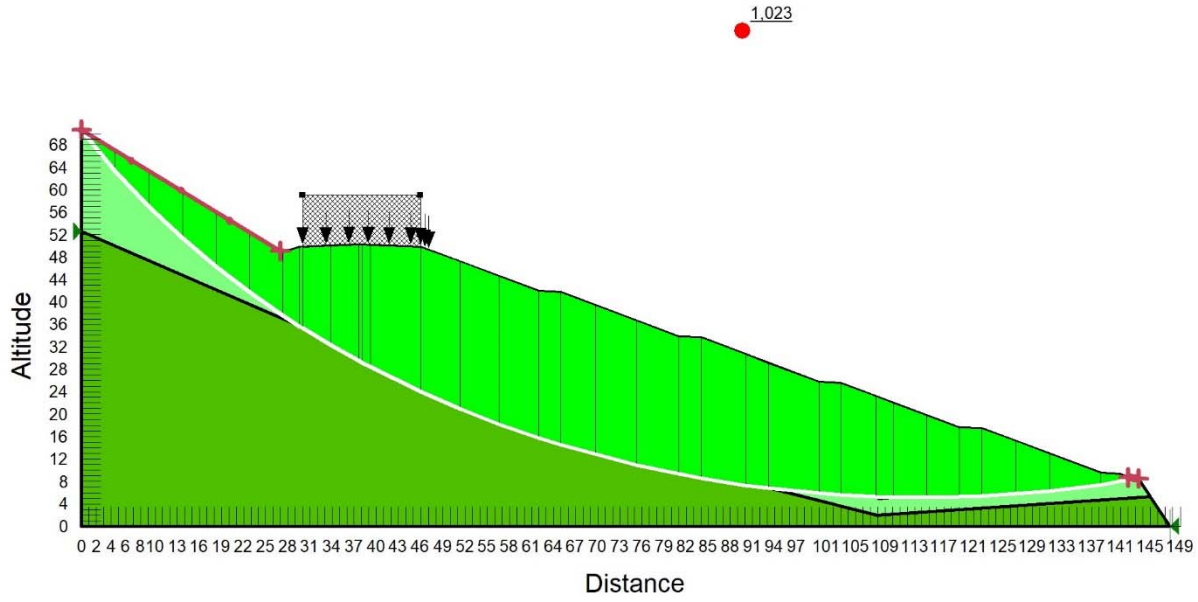
Cas de Remblai



Court terme



Long terme


1,023
Altitude
Distance
0 2 4 6 8 10 13 16 19 22 25 28 31 34 37 40 43 46 49 52 55 58 61 64 67 70 73 76 79 82 85 88 91 94 97 101 105 109 113 117 121 125 129 133 137 141 145 149
0 4 8 12 16 20 24 28 32 36 40 44 48 52 56 60 64 68

Sismique

ANNEXE 5.1 étude hydrologique et hydraulique : Les caractéristiques des bassins versants

num	PK	L	H_{max}	H_{min}	H_{moy}	ΔH	P	A (ha)	C
1	55+614	3441	641.6	542.9	592,25	98,7	3.8	356.53	0.67
2	55+809	318	559.8	550.1	554,95	9,7	4.1	8.9	0.69
3	56+451	1530	565.2	548.1	556,65	17,1	1.5	85.00	0.69
4	56+574								
5	56+940	696	553.3	548.6	550,95	4,7	0.9	29.01	0.69
6	57+258	589	544.5	538.1	541,3	6,4	1.5	43.16	0.69
7	58+808	91	542.3	531.4	536,85	10,9	16.0	6.26	0.82
8	59+158	1800	592.5	511.6	552,05	80,9	6.0	183.77	0.73
9	59+487	168	553.9	528.8	541,35	25,1	19.9	2.79	0.73
10	59+816	223	580.1	523.9	552	56,2	33.6	8.08	0.73
11	59+946	103	578.7	556.3	567,5	22,4	28.9	1.07	0.69
12	60+197	118	574.8	526.0	550,4	48,8	55.3	1.22	0.69
13	60+389	902	601.1	510.5	555,8	90,6	13.4	53.84	0.72
14	60+624	306	557.6	516.8	537,2	40,8	17.8	6.50	0.71
15	61+025	1021	604.5	518.9	561,7	85,6	11.2	31.64	0.69
16	61+408							61700.42	
17	62+562	253	574.6	504.6	539,6	70	36.9	7.56	0.74
18	62+661	530	573.1	518.7	545,9	54,4	13.7	13.46	0.75
19	62+844	227	573.8	506.7	540,25	67,1	39.4	3.87	0.75
20	63+011	459	575.0	516.5	545,75	58,5	17.0	12.62	0.77
21	63+242	285	571.3	497.9	534,6	73,4	34.3	4.58	0.74
22	63+426	274	581.8	507.6	544,7	74,2	36.1	8.83	0.74
23	63+776	216	566.8	534.5	550,65	32,3	19.9	5.18	0.76
24	64+012	235	568.3	525.9	547,1	42,4	24.0	3.84	0.74
25	64+118	241	567.1	522.5	544,8	44,6	24.7	6.72	0.73
26	64+476	210	559.3	511.3	535,3	48	30.4	7.44	0.72
27	64+631	187	558.5	533.4	545,95	25,1	17.9	2.68	0.74
29	65+201	277	552.6	524.1	538,35	28,5	13.7	10.42	0.78
30	65+757	117	534.0	532.8	533,4	1,2	1.39	1.40	0.70
31	66+425	650	538.6	529.3	533,95	9,3	1.9	27.31	0.71
32	67+351	159	535.0	523.0	529	12	10.11	7.11	0.70
33	67+872	1034	546.0	512.7	529,35	33,3	4.3	50.79	0.70
34	68+623	1464	530.5	496.3	513,4	34,2	3.1	103.78	0.70
35	69+382	2958	531.6	498.3	514,95	33,3	1.5	242.90	0.69
36	69+878	382	512.5	486.0	499.25	26,5	9.2	11.89	0.74

ANNEXE 5.2 étude hydrologique et hydraulique :

Calcul des débits des bassins versant

pk	L	Hmax	Hmin	deltaH	Hmoy	S (ha)	S(km2)	P(m/m)	Tc(h)	I(mm/h)	Cr	Q(m3/s)
55+614	3441	641,6	542,9	98,7	592,25	356,53	3,565	0,038	1,230	41,09	0,67	27,29
55+809	318	559,8	550,1	9,7	554,95	8,9	0,089	0,041	0,187	156,5	0,69	2,67
56+451	1530	565,2	548,1	17,1	556,65	85	0,850	0,015	0,956	49,15	0,69	8,01
56+574												
56+940	696	553,3	548,6	4,7	550,95	29,01	0,290	0,009	0,721	60,04	0,69	3,34
57+258	589	544,5	538,1	6,4	541,3	43,16	0,432	0,015	0,681	62,53	0,69	5,18
58+808	91	542,3	531,4	10,9	536,85	6,26	0,063	0,16	0,170	167,5	0,82	2,39
59+158	1800	592,5	511,6	80,9	552,05	183,77	1,838	0,06	0,700	61,32	0,73	22,87
59+487	168	553,9	528,8	25,1	541,35	2,79	0,028	0,199	0,170	167,5	0,73	0,95
59+816	223	580,1	523,9	56,2	552	8,08	0,081	0,336	0,170	167,5	0,73	2,75
59+946	103	578,7	556,3	22,4	567,5	1,07	0,011	0,289	0,170	167,5	0,69	0,34
60+197	118	574,8	526	48,8	550,4	1,22	0,012	0,553	0,170	167,5	0,69	0,39
60+389	902	601,1	510,5	90,6	555,8	53,84	0,538	0,134	0,254	125,9	0,72	13,57
60+624	306	557,6	516,8	40,8	537,2	6,5	0,065	0,178	0,170	167,5	0,71	2,15
61+025	1021	604,5	518,9	85,6	561,7	31,64	0,316	0,112	0,213	142,5	0,69	8,65
61+408												
62+562	253	574,6	504,6	70	539,6	7,56	0,076	0,369	0,170	167,5	0,74	2,60
62+661	530	573,1	518,7	54,4	545,9	13,46	0,135	0,137	0,170	167,5	0,75	4,70
62+844	227	573,8	506,7	67,1	540,25	3,78	0,038	0,394	0,170	167,5	0,75	1,32
63+011	459	575	516,5	58,5	545,75	12,62	0,126	0,17	0,170	167,5	0,77	4,52
63+242	285	571,3	497,9	73,4	534,6	4,58	0,046	0,343	0,170	167,5	0,74	1,58
63+426	274	581,8	507,6	74,2	544,7	8,83	0,088	0,361	0,170	167,5	0,74	3,04
63+776	216	566,8	534,5	32,3	550,65	5,18	0,052	0,199	0,170	167,5	0,76	1,83
64+012	235	568,3	525,9	42,4	547,1	3,84	0,038	0,24	0,170	167,5	0,74	1,32
64+118	241	567,1	522,5	44,6	544,8	6,72	0,067	0,247	0,170	167,5	0,73	2,28
64+476	210	559,3	511,3	48	535,3	7,44	0,074	0,304	0,170	167,5	0,72	2,49

64+631	187	558,5	533,4	25,1	545,95	2,68	0,027	0,179	0,170	167,5	0,74	0,92
65+201	277	552,6	524,1	28,5	538,35	10,42	0,104	0,137	0,170	167,5	0,78	3,78
65+298												
66+757	117	534	532,8	1,2	533,4	1,4	0,014	0,0139	0,170	167,4	0,7	0,46
66+425	650	538,6	529,3	9,3	533,95	27,31	0,273	0,019	0,481	79,98	0,71	4,31
67+351	159	535	523	12	529	7,11	0,071	0,1011	0,170	167,4	0,7	2,32
67+872	1034	546	512,7	33,3	529,35	50,79	0,508	0,043	0,436	85,75	0,7	8,47
68+623	1464	530,5	496,3	34,2	513,4	103,78	1,038	0,031	0,734	59,24	0,7	11,96
69+382	2958	531,6	498,3	33,3	514,95	242,9	2,429	0,015	1,616	33,85	0,69	15,77
69+878	382	512,5	486	26,5	499,25	11,89	0,119	0,092	0,170	167.4	0,74	4,10

ANNEXE 5.3 : étude hydrologique et hydraulique ;

calcul des débits de saturation

pk	N	Ouvrage prévus	Ø (m)	h (m)	b (m)	S_m (m^2)	P_m (m^2)	R_h (m)	K_s	Q (m^3/s)	Qs (m^3/s)
55+614	1	Dalot	-	2.5	5	12.5	7.5	1.25	70	27.29	101,53
55+809	2	Buse	-	1.5	1.5	2.25	4.5	0.50	70	2.67	6,50
56+451	3	Dalot	-	2	2.5	5	6.5	0.77	70	8.01	29,38
56+574	4	Dalot	-	2	2.5	5	6.5	0.77	70	3.34	6,50
56+940	5	Buse	1.5	-	-	1.77	4.71	0,38	70		
57+258	6	Dalot	-	1.5	1.5	2.25	4.5	0.50	70	5.18	20,78
58+808	7	Dalot	-	1.5	1.5	2.25	4.5	0.50	70	2.39	9,92
59+158	8	Viaduc									
59+487	9	Buse	1.5	-	-	1.77	4.71	0.38	70	0.95	6,50
59+816	10	Dalot	-	1.5	1.5	2.25	4.5	4.5	70	2.75	9,92
59+946	11	Buse	1.5	-	-	1.77	4.71	0,38	70	0.34	6,50
60+197	12	Buse	1.5	-	-	1.77	4.71	0.38	70	0.39	6,50
60+389	13	Dalot	-	2	2.5	5	6.5	0.77	70	13.57	29,38
60+624	14	Dalot	-	1.5	1.5	2.25	4.5	0.50	70	2.15	9,92
61+025	15	Dalot	-	2	2.5	5	6.5	0.77	70	8.65	29,38
61+408	16	Viaduc									
62+562	17	Dalot	-	1.5	1.5	2.25	4.5	0.50	70	2.60	9,92
62+661	18	Viaduc									
62+844	19	Buse	1.5	-	-	1.77	4.71	0.38	70	1.32	6,50
63+011	20	Dalot	-	1.5	1.5	2.25	4.5	0.50	70	4.52	9,92
63+242	21	Dalot	-	1.5	1.5	2.25	4.5	0.50	70	1.58	9,92
63+426	22	Viaduc									
63+776	23	Buse t	1.5	-	-	1.77	4.71	0,38	70	1.83	6,50
64+012	24	Buse	1.5	-	-	1.77	4.71	0.38	70	1.32	6,50
64+118	25	Dalot	-	1.5	1.5	2.25	4.5	0,50	70	2.28	9,92
64+476	26	Dalot	-	1.5	1.5	2.25	4.5	0.50	70	2.49	9,92
64+631	27	Buse	1.5	-	-	1.77	4.71	0.38	70	0.92	6,50
65+201	28	Viaduc									
65+298	29	Buse	1.5	-	-	1.77	4.71	0.38	70		6.50
65+757	30	Buse	1.5	-	-	1.77	4.71	0.38	70	0.46	6,50
66+425	31	Dalot	-	2	2.5	5	6.5	0.77	70	4.31	29,38
67+351	32	Dalot	-	1.5	1.5	2.25	4.5	0.50	70	2.32	9,92
67+872	33	Dalot	-	2	2.5	5	6.5	0.77	70	8.47	20,78
68+623	34	Dalot	-	2	2.5	5	6.5	0.77	70	11.96	20,78
69+382	35	Dalot	-	2	2.5	5	6.5	0.77	70	15.77	29,38
69+878	36	Dalot		1.5	1.5	2.25	4.5	0.50	70	4.10	9,92

ANNEXE 5.4 étude hydrologique et hydraulique; vérification des conditions d'auto curage

Pk	N	Ouvrage prévus	Q (m^3/s)	Qs (m^3/s)	Vps (m/s	Q=0.1Qps		Q=0.01Qps	
						V (m/s)	V>0.6 (m/s)	V (m/s)	V>0.3 (m/s)
55+614	1	**Dalot**	27,29	101,53	5,74	2,75	**vérifiée**	1,43	**vérifiée**
55+809	2	**Buse**	2,67	6,50	2,89	1,41	**vérifiée**	0,72	**vérifiée**
56+451	3	**Dalot**	8,01	29,38	5,88	2,43	**vérifiée**	1,29	**vérifiée**
56+574	4	**Dalot**		6,50	1,30	0,68	**vérifiée**	0,35	**vérifiée**
56+940	5	**Buse**	3,34				**vérifiée**		**vérifiée**
57+258	6	**Dalot**	5,18	20,78	4,16	1.75	**vérifiée**	0.79	**vérifiée**
58+808	7	**Dalot**	4,10	9,92	4,41	1,83	**vérifiée**	0,83	**vérifiée**
59+158	8	**Viaduc**							
59+487	9	**Buse**	2,34	6,50	3,67	1,32	**vérifiée**	0,69	**vérifiée**
59+816	10	**Dalot**	5,60	9,92	4,41	1,92	**vérifiée**	1,10	**vérifiée**
59+946	11	**Buse**	1,36	6,50	3,67	0,98	**vérifiée**	0,69	**vérifiée**
60+197	12	**Buse**	1,87	6,50	3,67	1,02	**vérifiée**	0,69	**vérifiée**
60+389	13	**Dalot**	13,55	29,38	5,88	2,98	**vérifiée**	1,56	**vérifiée**
60+624	14	**Dalot**	3,78	9,92	4,41	1,80	**vérifiée**	0,83	**vérifiée**
61+025	15	**Dalot**	8,65	29,38	5,88	2,59	**vérifiée**	1,29	**vérifiée**
61+408	16	**Viaduc**							
62+562	17	**Dalot**	5,63	9,92	4,41	1,87	**vérifiée**	0,97	**vérifiée**
62+661	18	**Viaduc**				0,00			
62+844	19	**Buse**	3,73	6,50	3,67	1,46	**vérifiée**	0,69	**vérifiée**
63+011	20	**Dalot**	6,19	9,92	4,41	2,24	**vérifiée**	1,17	**vérifiée**
63+242	21	**Dalot**	3,97	9,92	4,41	1,62	**vérifiée**	0,83	**vérifiée**
63+426	22	**Viaduc**							
63+776	23	**Buse t**	3,64	6,50	3,67	1,60	**vérifiée**	0,80	**vérifiée**
64+012	24	**Buse**	3,12	6,50	3,67	1,46	**vérifiée**	0,69	**vérifiée**
64+118	25	**Dalot**	4,46	9,92	4,41	1,82	**vérifiée**	0,83	**vérifiée**
64+476	26	**Dalot**	5,06	9,92	4,41	1,85	**vérifiée**	0,97	**vérifiée**
64+631	27	**Buse**	2,23	6,50	3,65	1,28	**vérifiée**	0,69	**vérifiée**
65+298	29	**Buse**		6,50	3,67	1.01	**vérifiée**		**vérifiée**
65+757	30	**Buse**	0,56	6.50	3,67	1,06	**vérifiée**	0,69	**vérifiée**
66+425	31	**Dalot**	4,31	6,50	5,88	2,12	**vérifiée**	1,11	**vérifiée**
67+351	32	**Dalot**	3,23	29,38	4,41	1,83	**vérifiée**	0,83	**vérifiée**
67+872	33	**Dalot**	8,48	9,92	4,16	2,03	**vérifiée**	1,03	**vérifiée**

68+623	34	**Dalot**	11,96	20,78	4,16	2,25	**vérifiée**	1,16	**vérifiée**
69+382	35	**Dalot**	15,77	20,78	5,88	3,11	**vérifiée**	1,56	**vérifiée**
69+878	36	**Dalot**	4,60	29,38	4,41	2,16	**vérifiée**	1,10	**vérifiée**

ANNEXE 6 : PROFIL EN TRAVERS TYPE

