

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
فرنسيس جانسون

Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson



Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

**Etude APD du dédoublement de la voie, et
rectification du tracé pour augmenter la vitesse à
160 km/h de la ligne ferroviaire Beni Mansour –
Bejaia, du PK 61+000 au PK 71+900 avec la
conception de la gare El Kseur**

Présenté par :

RABAHI FERIAEL
ABADOU AMIRA

Encadré par :

Mme MESSAOUDENE ASMA
Mr FEDGHOUC FERHAT

Promotion 2023/2024

ملخص

هذه المذكرة عبارة عن دراسة أولية مفصلة لمقطع سكة حديدية من مشروع ازدواجية وتعديل الخط الرابط بين بني منصور وبجاية بهدف رفع السرعة الى 160 كلم/ سا تحديدا من النقطة الكيلومترية 61+000 الى النقطة الكيلومترية 71+900 بالإضافة إلى تصميم وتهيئة محطة القصر.

تمت هذه الدراسة وفقا لمعايير الاتحاد الدولي لسكك الحديدية (UIC) وتوصيات الشركة الوطنية للسكك الحديدية (SNTF) ولقد تم انجاز تصاميم هذه الدراسة باستعمال البرامج الهندسية التالية : Covadis 16 ، Geostudio

RESUME

Ce mémoire est une étude avant-projet détaillé (APD) d'un tronçon de voie ferrée du projet de doublement et de rectification de la ligne reliant Beni Mansour à Béjaïa, dans le but d'augmenter la vitesse à 160 km/h, plus précisément de la point kilométrique 61+000 au point kilométrique 71+900. De plus, elle comprend la conception et l'aménagement de La gare El kseur.

Cette étude a été réalisée conformément aux normes de l'Union internationale des chemins de fer (UIC) et aux recommandations de la Société nationale des chemins de fer (SNTF).

Les conceptions de cette étude ont été réalisées à l'aide de logiciels : Covadis 16, Geostudio

ABSTRACT

This thesis is a detailed preliminary study of a railway section within the Project for doubling and realigning the line connecting Beni Mansour to Béjaïa. The goal is to increase the speed to 160 km/h, specifically from kilometer point 61+000 to kilometer point 71+900. Additionally, it includes the design and layout of the El Kseur station.

This study was conducted in accordance with the standards of the International Union of Railways (UIC) and the recommendations of the National Railway Company (SNTF).

The designs for this study were created using software : Covadis 16, Geostudio

REMERCIEMENT :

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

Au terme de cette étude, qu'il nous soit permis de témoigner toute notre reconnaissance et nos Sincères remerciements à tous ceux qui ont participé d'une manière ou une autre à l'élaboration de ce travail.

Nos remerciements s'étendent également à notre encadrante **Mme MESSAOUDENE.A** qui a contribué pleinement à notre formation, pour l'orientation, ses précieux conseils, ses remarques judicieuses, et la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon.

Nous tenons à remercier notre Co-encadrant **Mr FEDGHOUCHE. F**, qui nous a ouvert ses portes, pour son suivie, ses orientations, ses précieux conseils.

Nos plus sincères remerciements vont également à **Mr OUALI.A**, chère ingénieur pour son aide, sa disponibilité, sa patience, pour son amabilité et sa gentillesse et ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.

Nous tenons à remercier aussi le personnel de GCB qui nous ont aidé durant la période de stage.

On remercie tous les membres de jury qui ont bien voulu accepter de lire ce travail et de l'évaluer.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Enfin, on remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicace

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :

A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.

A mon très cher père, pour ses encouragements, son soutien, surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.

*A mes merveilleuses Chers sœurs AMEL, SABRINA, SOUADÉ qui ont toujours été une source de soutien et d'encouragement inestimables pour moi.
A mes Chers frères qui ont toujours été un pilier de force et de soutien dans ma vie.*

A ma toute famille

À mon ami exceptionnel, OUISSEM, qui a marqué ma vie de son amitié sincère, de son soutien indéfectible et de sa joie de vivre contagieuse

A mes tous chers amis de l'école notionnel supérieur des travaux publics.

En fin je remercie mon binôme, AMIRA, j'ai été ravie de travailler à tes côtés, je te remercie de m'avoir toujours remonté le moral, les moments difficiles et heureux

Rabahi Ferial

Dédicace

Je dédie ce mémoire

À mes **Chers Parents**,

C'est grâce à vous que j'ai pu réaliser ce projet .Vous avez cru en moi même quand j'avais des doutes, et vous m'avez offert tout ce dont j'avais besoin pour réussir. Merci d'avoir été là, chaque jour, avec votre soutien inconditionnel et votre amour sincère, vos encouragements constants et vos sacrifices m'ont permis de franchir chaque étape de ce parcours avec confiance .Ce travail est le fruit de vos efforts autant que des miens.

A ma sœur **SAMIRA** et mon frère **ABD ALGHANI**,

Merci pour votre aide et vos encouragements et vos sourires

A mon binôme **FERIEL**,

J'ai le plaisir de travailler avec toi, nous avons eu des moments que nous n'oublierons jamais, je te souhaite que de la réussite dans ta vie.

A mes sœurs que ma mère n'a pas mis au monde,

BESMA, CHERIFA et **RANIA** mes chéris merci pour votre amour, votre soutien, vos conseils.

Aux amis que le temps ne ramènera jamais,

MADINA, WARDA, HIBA et **OUMNIA**, je vous aime énormément

A tous l'équipe administrative de **L' ENSTP**.

A tous mes camarades de l'école **Promos DIB 2024**.

ABADOU AMIRA

ABRÉVIATION

SNTF : Société Nationale des Transports Ferroviaires.

UIC : Union Internationale des Chemins de fer.

RPOA : Règlement Parasismique des Ouvrages d'Art.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

ONM : Office National de la Météorologie.

TCM : Tableaux de Cumuls annuels.

A.P.D : Avant-Projet Détaillé.

PK : Point kilométrique.

CW : Chemin Willaya.

RN : Route Nationale

NPHE : Niveau des Plus Haut Eaux.

TN : Terrain Naturel.

BV : Bassin versant

IDF : Intensité - Durée – Fréquence.

Qps : Débit pleine section.

VPs : Vitesse pleine section.

H/V : Horizontal / Vertical.

PR : Puit de reconnaissance.

SC : Sondage Carotté.

B.V : Bâtiment Voyageurs.

ADV : Appareil De Voie.

GF : Garage Franc

Lu : Longueur Utile.

ERTMS : Européen Railways Traffic Management System.

SOMMAIRE :

INTRODUCTION GÉNÉRALE :	1
CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE	3
INTRODUCTION :	3
I.1 DÉFINITION DE L'OPTIMISATION DE LA GÉOMETRIE :	3
I.2 LES OBJECTIFS DE L'OPTIMISATION DE LA GÉOMETRIE :	3
I.3 LES FACTEURS LIÉS A L'OPTIMISATION DE LA GÉOMETRIE FERROVIAIRE :	3
I.4 LES TECHNIQUES D'OPTIMISATION DE LA GÉOMETRIE FERROVIAIRE :	3
I.5. IMPACTS D'OPTIMISATION DE LA GÉOMETRIE FERROVIAIRE :	5
I.6 LES MATÉRIAUX INNOVANTS ET L'OPTIMISATION DE LA GEOMETRIE FERROVIAIRE	6
CONCLUSION :	6
CHAPITRE II : PRÉSENTATION DU PROJET	7
INTRODUCTION :	7
II.1. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE :	7
II.1.1. RELIEF :	7
II.1.2. CLIMAT :	8
II.1.3. SISMICITÉ :	8
II.2. APERÇU SUR LA LIGNE EXISTANT :	9
II.2.1. CARACTÉRISTIQUES DE LA LIGNE EXISTANT :	9
II.3. PRÉSENTATION DU PROJET ÉTUDIÉ :	11
II.4. OBJECTIF DE PROJET :	12
II.5. LES CARACTÉRISTIQUES DE PROJET :	12
II.5.1. CARACTÉRISTIQUES DE BASE :	12
II.5.2. CARACTÉRISTIQUES DE LA VOIE :	12
II.5.3. CARACTÉRISTIQUES DE LA SUPERSTRUCTURE :	13
CONCLUSION :	13
CHAPITRE III : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE	14
INTRODUCTION :	14
III.1.LES RAILS :	14
III.1.1ASSEMBLAGE DES RAILS :	15
III.2.LES ATTACHES :	15
III.3.LES TRAVERSES :	16
III.4.LES APPAREILS DE VOIE :	16
III.5. LE BALLAST :	16

CONCLUSION.....	17
CHAPITRE IV : ETUDE GÉOMÉTRIQUE.....	18
INTRODUCTION :	18
IV.1 LE TRACÉ EN PLAN :	18
IV.1.1 CONDITIONS ET RÈGLES A RESPECTER DANS LE TRACE EN PLAN :	18
IV.1.2. CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES :	19
IV.1.3. APPLICATION SUR LE PROJET :	19
IV.1.4.1 DESCRIPTION DE TRACÉ :	21
IV.1.4.2 LES CONTRAINTES LE LONG DU TRACÉ :	22
IV.1.5 CALCUL D'AXE :	23
IV.1.5.1 EXEMPLE DE CALCUL D'AXE :	23
IV.2 LE PROFIL EN LONG :	26
IV.2.1. LES ÉLÉMENTS DE COMPOSITION DU PROFIL EN LONG :	26
IV.2.1.1. LA DÉCLIVITÉ :	26
IV.2.1.2. LES CERCLES :	26
IV.2.2 Les RÈGLES A RESPECTER DANS LE PROFIL EN LONG	27
IV.2.3. APPLICATION SUR LE PROJET :	27
IV.2.4. DESCRIPTION DU PROFIL EN LONG :	27
CONCLUSION :	28
CHAPITRE V : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE	29
INTRODUCTION :	29
V.1. ÉTUDE HYDROLOGIQUE :	29
V.1.1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE :	29
V.1.2. LES CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES ET PLUVIOMÉTRIQUES :	30
V.1.2.1 CLIMAT :	30
V.1.2. 2 TEMPÉRATURE.....	30
V.1.2. 3 LES PRÉCIPITATIONS.....	31
V.1.2. 4 LE VENT :	33
V.1.3. LES CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES BASSINS VERSANTS...33	
V.1.4 CALCUL DE DÉBIT MAXIMAL DANS LES BASSINS (DÉBIT DE CRUE) :	35
V.1.5 TEMPS DE CONCENTRATION	35
V.1.6 COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT :	36
V.2. ÉTUDE HYDRAULIQUE :	38
V.2. 1 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES TRANSVERSAUX :	38
V.2.1.1 DIMENSIONNEMENT DES BUSES :	39

V.2.1.2 DIMENSIONNEMENT DES DALOTS :	41
V.2.2 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES LONGITUDINAUX :	44
CONCLUSION :	47
CHAPITRES VI : ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE	48
INTRODUCTION :	48
VI. 1. ÉTUDE GÉOLOGIQUE :	48
VI.1.1. APERÇU GÉOLOGIQUE RÉGIONALE	48
VI.1.2. APERÇU GÉOLOGIQUE LOCAL :	48
VI.1.3. RISQUES GÉOLOGIQUES :	50
VI.2. ÉTUDE GÉOTECHNIQUE :	50
VI.2.1. PROGRAMME D'INVESTIGATION GÉOTECHNIQUE :	50
VI.2.1.1.LOT TRACÉ :	51
VI.2.1.2. LOT OUVRAGES	54
VI.2.1.3 RÉSULTATS DES ESSAIS AU LABORATOIRE :	55
VI.2.4. EMPRUNT ET CARRIÈRE :	58
VI.2.4. 1. EMPRUNT	58
VI.2.4. 2. CARRIÈRE	58
CONCLUSION :	58
CHAPITRES VII :ASSISE FERROVIAIRE	59
INTRODUCTION :	59
VII.1. LES COUCHES D'ASSISE FERROVIAIRE :	59
VIII.1.1 LE BALLAST :	60
VIII.1.1.1 ROLE DE BALLAST :	60
VIII.1.2 SOUS COUCHE :	60
VIII.1.2.1 ROLE DE SOUS COUCHE :	60
VII.1.3 LA PLATE-FORME :	60
VII.1.3.1 DÉFINITION DE LA PLATE-FORME :	60
VII.1.3.2 DÉFINITION DE PORTANCE DE LA PLATE-FORME :	61
VII.1.3.3 CLASSES DE PORTANCE DE LA PLATE-FORME :	61
VII.1.3.4. PLATE-FORME PROPOSÉE	61
VII.1.3.5. COUCHE DE FORME :	61
VII.2. CALCUL DES ÉPAISSEURS MINIMALES DES COUCHES D'ASSISE	62
CONCLUSION :	62
CHAPITRES VIII : PROFIL EN TRAVERS	63
INTRODUCTION :	63

VIII.1. LES ÉLÉMENT DU PROFILS EN TRAVERS :	63
VIII.2. LE PROFILS EN TRAVERS DU PROJET D'ÉTUDE :	63
VIII.3.LES CUBATURES :	64
CONCLUSION :	64
CHAPITRE IX : TERRASSEMENT ET OUVRAGES.	65
INTRODUCTION :	65
IX.1. LES TERRASSEMENTS :	65
IX. 1.1 DÉCAPAGE :	65
IX. 1.2 REMBLAI :	65
IX.1.2.1. CONDITIONS DE RÉALISATION DES REMBLAIS :	65
IX.1.3 DÉBLAI :	66
IX.1.3.1 CONDITIONS D'EXCAVATION DE DÉBLAI	66
IX.1.4 PENTES ET TALUS :	66
IX.1.5. LA STABILITÉ :	66
IX.1.6. COMPACTAGE :	69
IX.1.7. TASSEMENT :	69
IX.2. LES OUVRAGES :	69
IX.2.1. OUVRAGE D'ART :	69
IX.2.2. RÉTABLISSEMENT ROUTIER :	70
IX.2.3. LES OUVRAGES HYDRAULIQUES :	70
CONCLUSION :	70
CHAPITRE X :CONCEPTION ET AMENAGEMENT DE LA GARE	71
INTRODUCTION :	71
X.1. TYPE DE GARE :	71
X.2. CONCEPTION GENERALE DE LA GARE :	71
X.2.1. ETUDE DE PLAN DE MASSE DE LA GARE :	71
X.2.2. CARACTERISTIQUE DE LA GARE MODERNE :	71
X.2.3. INSTALATION DE BASE DE LA GARE :	72
X.3.CARACTERSTIQUE DES ELEMENTS DE LA GARE DU PROJET D'ETUDE :	73
X.3.1. LE GARAGE FRANC :	73
X.3.2. LONGEUR UTILE D'UNE VOIE DE STATIONNEMENT :	73
X.3.3. MARGE DE GLISSEMENT A L'AVANT DES SIGNAUX :	74
X.4.CARACTÉRISTIQUES DES DISPOSITIFS DE LIAISON :	74
X.4.1 LES APPARIELES DE VOIE :	74
X.5. CARACTERISTIQUE GEOMETRIQUE DE LA GARE D'EL KSEUR :	75

X.6. DECLIVITE DANS LA GARE :	77
X.7. L'ASSAINISEMENT DANS LA GARE :	77
X.7.1. L'ASSAINISSEMENT LONGITUDINAL :	77
X.7.2.L'ASSAINISSEMENT TRANSVERSALE :	77
CONCLUSION :	77
CHAPITRE XI : SIGNALISATION FERROVIAIRE.....	78
INTRODUCTION :	78
XI.1. ROLE DE LA SIGNALISATION :	78
XI.2 SYSTEME DE SIGNALISATION :	78
XI.2.1SYSTEME D'ENCLenchement ELECTRONIQUE :	78
XI.2.2 POSTE DE CONTROLE CENTRALISE (PCC) :	78
XI.2.3 LES SIGNAUX :	79
XI.2.3.1 SIGNAUX DE FEUX :	79
XI.2.3.2 LES SIGNAUX DE PANNEAUX :	79
XI.2.4 SYSTEME DE PROTECTION DE TRAIN :	81
XI.3 LA SIGNALISATION DANS LA GARE :	82
CONCLUSION :	82
CHAPITRE XII : ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT	83
INTRODUCTION :	83
XII.1. LES OBJECTIFS DE L'ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT :	83
XII.2. APERÇU GÉNÉRAL :	83
XII.3. ANALYSE DE L'ÉTAT INITIALE DE LA ZONE D'ÉTUDE :	83
XII.3.1. MILIEU PHYSIQUE :	83
XII.3.2. MILIEU HUMAIN :	84
XII.3.3. MILIEU BIOLOGIQUE :	84
XII.3.4. PAYSAGE ET PATRIMOINE :	85
XII.4. LES IMPACTS POSITIFS :	85
XII.5. IDENTIFICATION ET ÉVALUATION DES IMPACTS NÉGATIFS PRÉVISIBLES DU PROJET AVEC LES MESURES D'ATTÉNUATION :	86
CONCLUSION :	88
CHAPITRE XIII : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF	89
CONCLUSION GÉNÉRALE:.....	91

Liste des tableaux

Tableau N° I.01: les techniques d'optimisation de la géométrie ferroviaire.	4
Tableau N°I .02 : Matériaux traditionnels utilisés pour la construction et la maintenance des chemins de fer.	5
Tableau N° II.01: les ouvrages existant au niveau de tronçon à étudier.	9
Tableau N° II.02 : les passages existant au niveau de tronçon à étudier.....	11
Tableau N°III. 01 : Caractéristiques de rail du type UIC 54.....	14
Tableau N°III.02 : Récapitulatif des types d'attaches existantes :.....	15
Tableau N°IV.01 : Vitesse des trains maximale	19
Tableau N°IV.02: Paramètres géométriques de tracé en plan (SNTF).....	19
Tableau N°IV.03 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé	21
Tableau N°IV.04 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé(suite).....	21
Tableau N°IV.05:Tableau descriptif de tracé	21
Tableau N°IV.06: Liste des obstacles à franchir.	22
Tableau N°IV.07 : Longueur minimale des déclivités selon référentiel technique de SNTF...26	
Tableau N°IV.08: Valeurs de Rayon vertical minimale selon référentiel technique de SNTF 27	
Tableau N°IV.09: Paramètres géométriques de profil en long.	27
Tableau N°VI.01: Températures moyennes mensuelles.....	30
Tableau N°VI.02: Ajustement à une loi normale des pluies annuelles (fréquences humides) 31	
Tableau N°V.03: Les précipitations mensuelles.....	32
Tableau N°V.04: Pluies Max. journalières (en mm)	32
Tableau N°V.05: Valeurs du paramètre « a » et « b » selon les fréquences.....	33
Tableau N°V.06: Les caractéristiques morphologiques des bassins versants	34
Tableau N°V.07: Coefficient de ruissellement	36
Tableau N°VI.08: Les débits de crue retenus pour une période de 100 ans.	37
Tableau N°V.09: vérification des ouvrages busée à projeter.....	40
Tableau N°V.10: Tableau récapitulatif des dimensions des dalots avec les vérifications des conditions d'auto-curage.....	42
Tableau N°V.11: Tableau récapitulatif des dimensions des dalots avec les vérifications des conditions d'auto-curage (suite).	43
Tableau N°V.12: Liste des ouvrages projetés.....	43
Tableau N°V.13: Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai.....	46
Tableau N°V.14: Dimensionnement du fossé proposé.	48
Tableau N°VI.01 : La géologie traversée par le tronçon de PK 61+000 au PK 71+900.....	48

Tableau N°VI.02 : Programme d'investigation de Lot tracé (puits de reconnaissance)	52
Tableau N°VI.03 : Tableau Programme d'investigation de Lot tracé (sondage carotté)	52
Tableau N°VI.04 : Programme d'investigation de Lot tracé (pénétration dynamique)	53
Tableau N°VI.05: Coupes lithologiques des puits de reconnaissances	53
Tableau N°VI.06 : Programme d'investigation de Lot ouvrage.....	54
Tableau N°VI.07 : Résumé des résultats des essais de laboratoire réalisés sur les échantillons des sondages carotté.....	55
Tableau N°VI.08 : Résumé des résultats des essais de laboratoire réalisés sur les échantillons des Puits de reconnaissance.	56
Tableau N°VI.09 : Résumé des résultats des essais pénétromètre dynamique.....	56
Tableau N°VII.01: Fuseau de contrôle de la granulométrie du ballast.....	59
Tableau N°VII.02 : La classe la portance de la plate-forme.....	61
Tableau N°VII.03: Dimensionnement de la couche d'assise.....	62
Tableau N°VII.04 : Structure de la voie	62
Tableau N°VIII.01 : Les éléments du profil en travers.....	63
Tableau N°VIII.02: Les cubatures des couches d'assise.	64
Tableau N°VIII.03 : Les cubatures des terrassements.	64
Tableau N°IX.01 : Caractéristique des matériaux	67
Tableau N° IX.02 : Résultats du calcul de stabilité pour le remblai.....	68
Tableau N°IX.03 : Résultats du calcul de stabilité pour le remblai.....	69
Tableau N°IX.03 : Ponts rail projeté	70
Tableau N° IX.04 : Passages supérieurs de projet.	70
Tableau N° X.01 : Les installations existantes dans la gare	72
Tableau N°X.02 : Distances du GF calculé pour notre cas.....	73
Tableau N° X.03 : longueurs utiles utiliser pour la gare de El 'Kseur	74
Tableau N°X.04 : Longueurs de marge de glissement en fonction de la vitesse	74
Tableau N° XI.01 : Les risques liés aux circulations ferroviaires.	78
Tableau N° XI.02 : Les différents types de feu existants	79
Tableau N° XI.03 : Les différents types de panneaux existants.....	80
Tableau N° XI.04 : Signaux implantés dans le projet.....	81
Tableau N°XII.01 : Identification des impacts négatifs avec les mesures d'atténuation.....	86
Tableaux N °XIII.01 : Devis quantitatif et estimatif	89

Liste des figures :

Figure N°II.01 : localisation de la willaya de Bejaia	7
Figure N°II.02 : Carte de zonage sismique de l'Algérie avec l'implantation du projet	8
Figure N° II.03 : localisation de projet	11
Figure N°III.01 : Rail Vignole Type 54.....	14
Figure N°III.03 : Travers en Béton Type 440.....	16
Figure N°III.04 : Appareil de Voie	16
Figure N°III.05 : les caractéristiques des appareils de voie de projet.....	17
Figure N° IV.01 : élément de tracé en plan	18
Figure N°IV.02 : Caractéristiques principales d'une courbe avec les raccordements.....	23
Figure N°V.01 : Localisation du bassin Versant de l'Oued Soummam (15)	29
Figure N°V.02 : Étages bioclimatiques de la zone d'étude.	30
Figure N°V.03 : Variation des températures moyennes mensuelles	31
Figure N°V.04 : Variation des précipitation mensuelles	32
Figure N°V.05 : La délimitation des bassins versants sur les cartes d'état-major.	33
Figure N°V.6 : Coupe transversale d'une buse Ø1500.....	41
Figure N°V.7 : Coupe transversale d'un dalot 2m×2m.	43
Figure N°V.8 : Coupe transversale d'un Fossé de forme trapézoïdal.	47
Figures N°VI.01 : formation géologique sur le tronçon d'étude	49
Figures N°VI.02 : Le tronçon d'étude sur la Carte Géologique à l'échelle 1/500.000.....	50
Figures N° VI.03 : Position des emprunts le long de tronçon.	58
Figure N°IX.01: Stabilité des remblais (situation statique).....	67
Figure N°IX.02 : Stabilité de remblai (situation pseudo statique).....	68
Figure N°IX.03: Stabilité des remblais en présence de nappe phréatique (situation statique). 68	
Figure N° IX.04: Stabilité des remblais en présence de nappe phréatique (situation sismique)	68
Figure N°X.01 : heurtoir	72
Figure N°X.02 : Schéma du garage franc	73
Figure N°X.03 : Schéma illustratif de la longueur utile	74
Figure N° X.04 : l'Emplacement actuel et future de la Gare d'El Kseur	75
Figure N° X.05 : Schéma de la Gare d'El KSEUR	76
Figure N°XI.01 : Schéma du système ERTMS/ETCS Niveau 2.....	82

INTRODUCTION GÉNÉRALE :

Toute économie en développement est fondée sur l'infrastructure de transport dans le monde contemporain. Car elle joue un rôle important dans la facilitation du mouvement des personnes et des marchandises, contribuant ainsi à la croissance économique et au développement social. Parmi les différents modes de transport, le réseau ferroviaire se distingue des autres formes de transport par son importance stratégique et son potentiel de développement.

L'Avant-Projet détailler définit les détails techniques et esthétiques du projet à travers des plans détaillés, des estimations budgétaires, des calendriers de réalisation et des spécifications techniques. Avant la mise en œuvre du projet, ce processus permet de finaliser les choix techniques et architecturaux.

Le sujet de ce mémoire concentre sur l'un des projets clés de réseau ferroviaire algérien : l'étude APD du dédoublement de la voie et rectification de tracé de la ligne ferroviaire Beni Mansour - Bejaia.

Le but du dédoublement de la ligne ferroviaire entre Beni Mansour et Bejaïa est de moderniser et d'améliorer les conditions de transport ferroviaire dans la région, en incluant l'électrification de la ligne, l'ajout d'ouvrages d'art, la construction de nouveaux équipements roulants et l'amélioration des systèmes de signalisation et de télécommunication.

Le projet, qui fait partie du Programme Complémentaire du Soutien à la Croissance, vise à améliorer les conditions de transport et à favoriser les échanges commerciaux entre les régions du nord et du centre-est de l'Algérie.

Ce mémoire examine en détail les problèmes liés à ce projet, les solutions proposées et les implications potentielles pour l'avenir du réseau ferroviaire en Algérie. Nous espérons que notre travail contribuera à la création d'un réseau de transport plus efficace et plus sûr pour tous, et qu'il servira de référence pour d'autres projets similaires.

Le travail est organisé en treize chapitres de la manière suivante :

Les deux premiers chapitres s'intéressent aux : une recherche bibliographique et une présentation générale de projet.

Nous poursuivons dans le troisième et quatrième chapitre la superstructure de la voie et leur géométrie « tracé en plan et profil en long ».

Les chapitres cinq, six et sept sont consacrés pour l'étude géologique et géotechnique, l'étude hydrologique et hydraulique et le dimensionnement de la structure d'assise.

Les chapitres huit et neuf sont dédiés au profil en travers et pour le terrassement et les ouvrages, la conception de la gare se trouve au dix chapitre

Les chapitre onze et douze sont destiné pour la signalisation ferroviaire et l'étude d'impact de projet sur l'environnement.

Introduction Générale

Le dernier chapitre treize est destiné pour le devis estimatif quantitatifs.

Une conclusion générale, mettant en exergue les principaux points retenus durant cette étude, clôture de mémoire.



CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE



Étant donné que le projet de modernisation de la ligne ferroviaire reliant Beni Mansour – Bejaia, objet de notre étude, est un projet de dédoublement et rectification de tracé, nous avons consacré cette partie de la recherche bibliographique sur **l'optimisation de la géométrie des voies ferrées et les matériaux utilisés dans la construction des voies**.

INTRODUCTION :

Pour garantir la sécurité, l'efficacité et le confort des systèmes ferroviaires, il est essentiel d'optimiser la géométrie des voies ferrées. Cela implique de mener des recherches sur les profils longitudinaux et transversaux des voies, ainsi que d'utiliser des techniques d'optimisation pour créer des tracés de voies plus efficaces. Aussi la recherche à des matériaux innovantes peuvent répondre aux exigences de cette optimisation.

I.1. DÉFINITION DE L'OPTIMISATION DE LA GÉOMETRIE :

Le processus d'optimisation de la géométrie ferroviaire englobe la conception et la construction des voies ferrées dans le but d'atteindre des performances optimales en termes de sécurité, de confort, de durabilité et d'efficacité globale.

I.2. LES OBJECTIFS DE L'OPTIMISATION DE LA GÉOMETRIE :

L'objectif de l'optimisation de la géométrie des voies ferrées est de réduire les contraintes et les charges, d'améliorer la sécurité et d'améliorer au maximum le confort des passagers.

I.3 LES FACTEURS LIÉS A L'OPTIMISATION DE LA GÉOMETRIE FERROVIAIRE :

Il existe de nombreux et divers facteurs associés à l'optimisation de la géométrie ferroviaire. Voici quelques exemples :

- ✓ **L'alignement** des voies ferrées est essentiel pour garantir un fonctionnement sûr. Donc, il est essentiel de procéder aux vérifications de l'alignement et du profil lors de l'installation des voies afin d'éviter les problèmes de sécurité et de maintenance.
- ✓ Le contrôle du **châssis** et **des bogies**, en effectuant des analyses géométriques, en optimisant et ajustant les charges de roues, afin de garantir une géométrie optimale et une maintenance efficace.
- ✓ **Les attaches élastiques** (e-clips) garantissent un alignement stable, préservant le rail en acier et les fixations des pressions élevées que peut générer le passage d'un train sur la voie.
- ✓ Les contraintes liées à **la signalisation** ferroviaire doivent être prises en compte lors de l'optimisation de la répartition des sillons ferroviaires

I.4 LES TECHNIQUES D'OPTIMISATION DE LA GÉOMETRIE FERROVIAIRE :

Le tableau ci-dessous présente les principales méthodes d'amélioration de la géométrie ferroviaire :

Tableau N°I. 01 : les techniques d'optimisation de la géométrie ferroviaire.

Technique	Description
L'Analyse et la Modélisation Informatique	- On utilise des logiciels spécialisés tels qu'Autocad, Civil 3D pour concevoir et modéliser les voies ferrées. La modélisation en trois dimensions des infrastructures ferroviaires permet de reproduire les conditions réelles et d'améliorer la géométrie des voies en prenant en compte les contraintes topographiques et environnementales. Donc, permet de repérer les problèmes potentiels avant la construction.
Techniques de relevé	- L'emploi de technologies de relevé de pointe, telles que le Lidar (Light Détection and Ranging) et le GPS de haute précision, permet de recueillir des informations topographiques précises pour la conception des voies. Donc, la géométrie des voies est régulièrement relevée, ce qui permet de repérer les déformations et les zones qui nécessitent des ajustements.
La Méthode de Réglage et de Nivellement	- La mise en place de machines de nivellement et de bourrage, telles que les dresseuses-bourreuses-niveleuses, permet de maintenir la géométrie optimale des voies en ajustant précisément la position des rails. - L'utilisation du bourrage mécanique, qui implique de compacter le ballast sous les traverses, permet d'améliorer la stabilité de la voie.
L'Analyse Dynamique	- La modélisation dynamique permet de comprendre l'impact sur la géométrie des voies en analysant les forces dynamiques et les vibrations engendrées par le passage des trains, ce qui permet de concevoir des structures plus robustes. - Les simulations de circulation offrent la possibilité de prévoir les déformations des voies en cas de charges répétées et de planifier des interventions de maintenance préventive.
L'Utilisation de Capteurs et de la Surveillance en Temps Réel	- Les capteurs de déformation et d'accéléromètres sont placés sur les rails et les traverses afin de repérer les déformations et les vibrations, offrant ainsi des informations en temps réel sur l'état des infrastructures. - Les drones dotés de caméras et de capteurs permettent d'effectuer une inspection rapide et efficace des voies, repérant les problèmes potentiels avant qu'ils ne deviennent critiques.
L'Optimisation des Courbes et des Pentes	- En optimisant les rayons de courbure et les transitions entre les courbes et les lignes droites, on réduit l'usure des rails et améliore le confort des passagers. - Lorsque les pentes et les rampes sont optimisées, cela diminue l'effort de traction requis pour les locomotives, ce qui améliore l'efficacité énergétique et réduit l'usure.
L'Utilisation de Matériaux Avancés	- Les rails fabriqués avec des aciers plus résistants permettent de prolonger leur durée de vie et de réduire les frais de maintenance. - Les traverses fabriquées à partir de matériaux composites présentent une résistance accrue aux intempéries et une durée de vie plus longue que les traverses en bois.

I.5 IMPACT DE L'OPTIMISATION DE LA GEOMETRIE FERROVIAIRE :

L'optimisation de la géométrie ferroviaire présente de nombreux avantages :

- ⇒ Un profil longitudinal soigneusement conçu garantit une vitesse constante du train et une utilisation optimale de sa puissance, en économisant en effet du temps et de la consommation d'énergie, optimisant ainsi l'exploitation du train.
- ⇒ Les contours optimisés standardisent les charges sur les rails, minimisant l'usure des rails et prolongeant leur durée de vie
- ⇒ Améliorer la stabilité des trains dans toutes les conditions en optimisant les sections transversales.
- ⇒ La réduction des vibrations et des mouvements latéraux des trains contribuera à améliorer le confort des passagers
- ⇒ L'optimisation de la géométrie ferroviaire peut également réduire les risques de déraillement

I.6 LES MATÉRIAUX TRADITIONNELS UTILISÉ DANS LA CONSTRUCTION DES LIGNES DE CHEMIN DE FER :

La géométrie ferroviaire optimale nécessite l'emploi de différents matériaux traditionnels pour la construction et l'entretien des voies ferrées.

Tableau N°I 02 : Matériaux traditionnels utilisés pour la construction et la maintenance des chemins de fer.

Matériaux	Utilisation
Acier	Les rails utilisent principalement de l'acier en raison de sa résistance et de sa durabilité. En général, les rails contemporains sont réalisés en acier au carbone ou en acier allié, ce qui leur permet de supporter de lourdes charges et de résister à l'usure.
Bois	Les traverses (ou dormants) étaient traditionnellement construites en bois. Les bois fréquemment employés sont le chêne et le pin, traités avec des conservateurs afin de leur donner une longue durée de vie. Les traverses en bois présentent une certaine souplesse et sont simples à utiliser et à fixer.
Béton	Les traverses en béton sont de plus en plus appréciées, en particulier pour les lignes à grande vitesse. Elles sont plus stables, plus résistantes et demandent moins d'entretien que les traverses en bois.
Ballast	Le ballast est principalement composé de pierre concassée (granit, calcaire), qui sert à maintenir les traverses en position, à drainer l'eau et à absorber les vibrations. La stabilité de la voie est grandement influencée par le ballast.
Acier galvanisé et béton	La construction de ponts ferroviaires et de tunnels est fréquemment réalisée en utilisant de l'acier galvanisé ou du béton armé afin de garantir leur durabilité et leur résistance aux charges dynamiques.

Béton et briques	Les quais et les bâtiments qui sont liés aux gares sont généralement réalisés en béton, en briques ou en pierres afin de garantir leur longévité et leur capacité à supporter de grandes charges.
Aluminium	On retrouve parfois l'aluminium dans les éléments électriques, en particulier dans les systèmes de caténaires et de signalisation, en raison de sa légèreté et de sa conductivité électrique élevées.

I.7 LES MATÉRIAUX INNOVANTS ET L'OPTIMISATION DE LA GEOMETRIE FERROVIAIRE ;

Le secteur de l'industrie ferroviaire est toujours en évolution, ce qui a conduit à la recherche de nouveaux matériaux :

- **Dalles en béton avec rails intégrés¹** : Au lieu des voies traditionnelles sur ballast, certaines lignes ferroviaires à grande vitesse utilisent des dalles en béton avec des rails intégrés. Ces dalles offrent une meilleure stabilité, nécessitent moins d'entretien et améliorent la répartition des charges.
- **Matériaux composites²** : Les chercheurs explorent les matériaux composites (comme les polymères renforcés de fibres) pour les traverses de chemin de fer et d'autres composants de voie. Les composites offrent des rapports résistance-poids élevés, une résistance à la corrosion et une durabilité.
- **Aciers et alliages à haute performance** : sont des matériaux plus durables qui permettent de construire des structures plus légères et plus sophistiquées.
- **Matériaux auto-cicatrisants** : ces matériaux peuvent réparer automatiquement les fissures et les dommages, réduisant ainsi le besoin d'entretien.

L'utilisation de matériaux innovants dans la construction et l'entretien des infrastructures ferroviaires peut :

- Réduire le poids structurel, réduisant ainsi la consommation d'énergie et augmentant la vitesse des trains
- Résistance améliorée à la corrosion et à l'usure, prolongeant ainsi la durée de vie des infrastructures et réduisant les coûts de maintenance.
- Développer des solutions plus écologiques.

CONCLUSION :

En conclusion, La combinaison entre l'optimisation de la géométrie des voies et l'utilisation de matériaux innovants promettent un avenir radieux pour le transport ferroviaire.

Il est recommandé en Algérie de développer des normes de conception claire, ainsi l'investissement dans le développement des compétences des ingénieurs et des techniciens aux derniers pratiques en matière de la géométrie et la maintenance ferroviaire. Aussi la collaboration avec des partenaires internationaux qui ayant un réseaux ferroviaire développées pour bénéficier de leurs expériences.

¹ Innovation : les matériaux composites | Groupe SNCF (groupe-sncf.com) 02/05/2024

² Esa Industry | Les matériaux composites pour les trains. <https://gesaindustry.it/fr/les-materiaux-comp2osites-pour-les-trains> 02/05/2024



CHAPITRE II : PRÉSENTATION DU PROJET



CHAPITRE II : PRÉSENTATION DU PROJET

INTRODUCTION :

Le projet de dédoublement et modernisation de la ligne ferroviaire Béni Mansour Bejaia est considéré parmi les plus importants projets d'envergure en cours de réalisation qui vise à améliorer significativement le transport ferroviaire au niveau de la région.

II.1. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE :

La wilaya de Bejaïa couvre une superficie de 3 268 km². La population estimée au recensement de 2008 est de 912 577 habitants.

La wilaya de Bejaïa se trouve au nord-est de l'Algérie, dans la région de la Kabylie.

Elle est délimitée : à l'ouest par les wilayas de Tizi-Ouzou et Bouira ,au sud par les wilayas de Bouira et Bordj-Bou-Argeridj ,à l'est par les wilayas de Sétif et Jijel, et au nord par la mer Méditerranée.

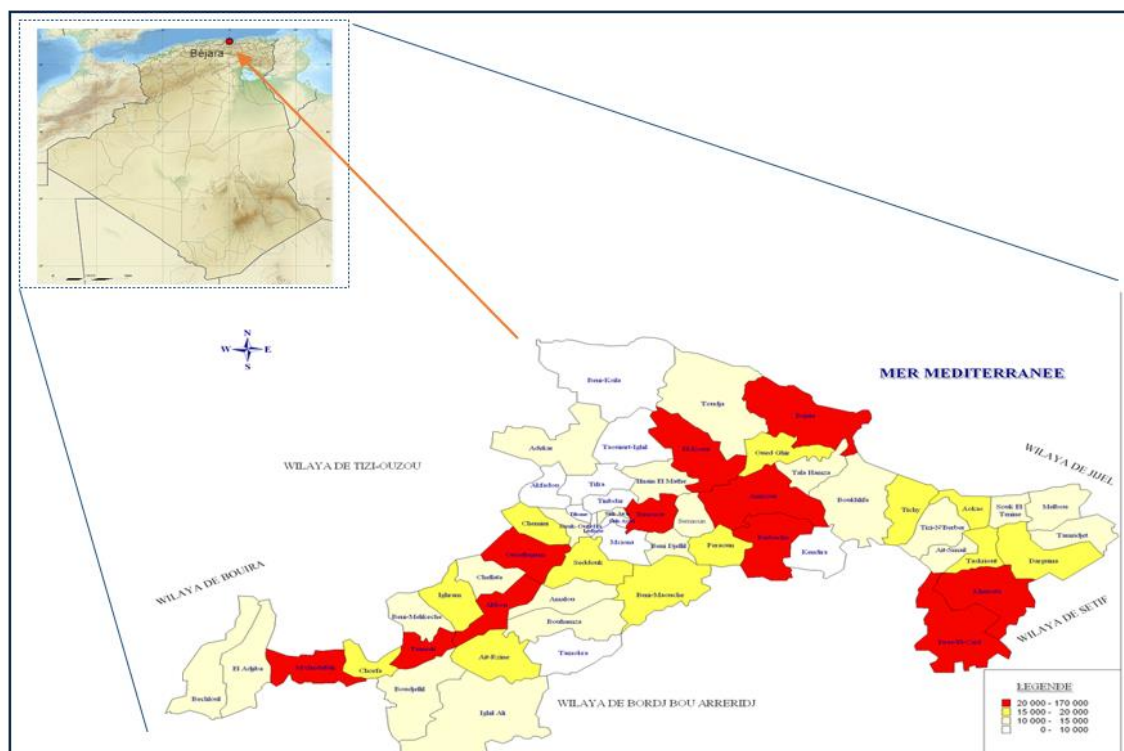


Figure N°II.01 : localisation de la wilaya de Bejaia

II.1.1. RELIEF :

La wilaya de Béjaïa, située au nord-est de l'Algérie, est caractérisée par un relief montagneux. À l'est et au sud-est, elle est bordée par les montagnes des Babors et des Bibans.

La région se divise en trois parties distinctes : une zone côtière avec des criques rocheuses et des plages de sable fin, des zones montagneuses à l'est et au sud-est, et une vallée au centre.

II.1.2. CLIMAT :

La wilaya bénéficie d'un climat tempéré de type continental, avec des hivers frais et douce caractéristique des zones méditerranéennes avec une température de 15 °C en moyenne, et des étés chauds mais acceptables rafraîchie par les vents marins, présente une température moyenne de 25 °C environ.

Elle est traversée par plusieurs oueds (rivières) en raison d'une forte pluviométrie « la pluviométrie enregistre en moyenne 670 à 1000 mm de pluie par an, (soit 88 à 90 jours de pluies) », dont les plus importants sont l'oued Soummam, l'oued Agrioun, l'oued Djemaa et l'oued Zitoun.

II.1.3. SISMICITÉ :

Le document technique réglementaire parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art (RPOA, 2008)¹ le territoire algérien est divisé en cinq (5) zones de sismicité croissante, soit :

- 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 RPOA2008 / version 2008 du ministère des travaux publics les règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art, la wilaya de Bejaia est classée zone « II.a » ; c'est-à-dire zone à sismicité moyenne.

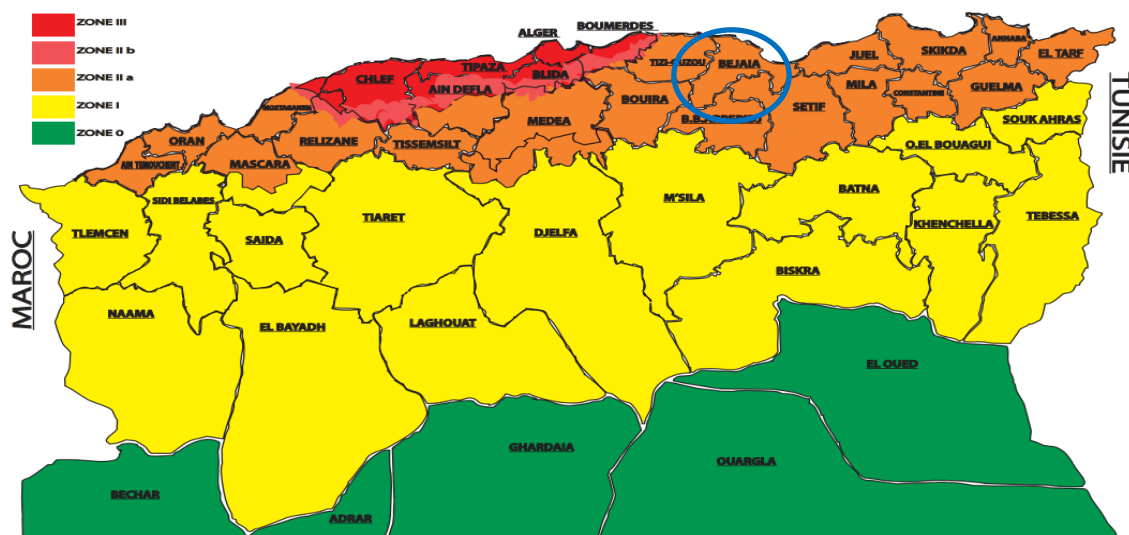


Figure N°II.02 : Carte de zonage sismique de l'Algérie avec l'implantation du projet

II.2. APERÇU SUR LA LIGNE EXISTANT :

La ligne ferroviaire Beni Mansour-Béjaïa est une ligne historique du réseau ferroviaire algérien qui relie la vallée de la Soummam à la ligne d'Alger à Skikda sur une distance de 88 km ,cette ligne relie la gare de Beni Mansour à celle de Béjaïa en parcourant la vallée de la Soummam. Elle a été mise en service en 1889.

II.2.1. CARACTÉRISTIQUES DE LA LIGNE EXISTANT :

La ligne est une ligne à voie unique à écartement standard et non électrifiée, avec une vitesse maximale de 80 km/h.

La ligne est de trafic mixte qui permet à la fois le trafic de voyageurs et de marchandises

Pour le tracé et le profil de la ligne existant :

La ligne traverse l'oued Soummam principalement sur sa rive gauche, sauf sur 15 km entre Sidi Aïch et El Kseur où elle passe sur la rive droite grâce à deux viaducs de 300 et 110 mètres avec un rayon minimal de 200m sur les tronçon difficile et une déclivité maximale de l'ordre 13‰ .

Les données collectées des ouvrage et passage existant dans la zone d'étude :

Tableau N° II.0 1: les ouvrages existant au niveau de tronçon à étudié.

N°	PK	Ouvrage	Illustration
01	61+633	Dalot 2x1.50m	
02	62+025	Dalot Ø =3000mm	
03	63+614	Dalot 1x1 m	
04	64+107,5	Viaduc métallique L=40m	
05	64+337	Viaduc métallique L=12m	
06	65+885	Dalot 1x1.50 m	

07	66+327	Dalot 2x1.50 m	
08	66+742	Dalot 1x1.50 m	
09	67+091	Dalot 1x1.50 m	
10	67+580	Dalot 1x1.50 m	
11	67+864	Viaduc métallique L=20m	
12	68+524	Dalot 1x1.50 m	
13	69+276	Dalot 1x1.50 m	
14	69+447	Dalot 1x1.50 m	
15	69+813	Pont en béton L=6m	
16	70+098	Pont en béton L=10m	
17	70+623	Dalot 1x1m	

Tableau N° II.02 : les passages existant au niveau de tronçon à étudier.

N°	PK	Illustration
01	61+645 Chemin	
02	63+080 Chemin	
03	64+850 Route	
04	69+825 Route	
05	69+650 Chemin	

II.3. PRÉSENTATION DU PROJET ÉTUDIÉ :

Le présent projet a pour objet l'étude d'APD (Avant-projet détaillé) d'un dédoublement de la voie et rectification de tracé pour augmenter la vitesse à 160km/h sur le tronçon du PK 61+000 au PK 71+900 de la ligne Beni Mansour/Bejaia avec la conception de la gare El Kseur.

Le tronçon étudié traverse le commun de EL Kseur et franchie ainsi deux Oued (l'Oued El Karachi 1 au PK 64+050 et l'Oued El Karachi 2 au PK 64+275).

Dans ce tronçon en trouve aussi deux embranchements au niveau de la Gare D'EL KSEUR / MITTAL STEEL ANNABA SPA au PK 61+369,20 et au 63+840,8).

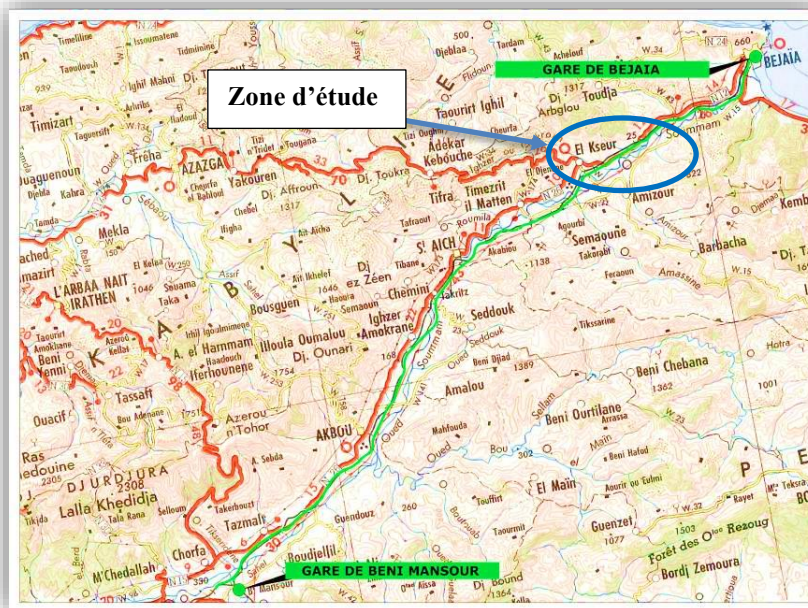


Figure N° II.03 : Localisation de projet

II.4. OBJECTIF DE PROJET :

- Augmentation de la vitesse et de la capacité : Le projet vise à augmenter la vitesse des trains de voyageurs à 160 km/h et des trains de marchandises à 100 km/h, ce qui permettra une circulation plus rapide et efficace des trains.
- La réduction des passages à niveau existants de 98 à zéro contribuera à renforcer la sécurité des opérations ferroviaire.
- L'augmentation la capacité marchande en montant de 2 trains par jours à 6 qui contribuera au développement socio-économique de la région.
- La réduction de la surcharge de trafic sur la route nationale RN 26, en atteindre 66 trains /jours / sens
- La modernisation des infrastructures par la construction de 55 ouvrages d'art, ainsi que l'installation de moyens de signalisation et de télécommunication modernes, permettront une mise à niveau des infrastructures ferroviaires pour répondre aux normes actuelles et améliorer l'efficacité du réseau.
- L'électrification de la ligne pour une exploitation plus écologique et efficiente du réseau ferroviaire, réduisant les émissions polluantes et les coûts opérationnels.

II.5.LES CARACTÉRISTIQUES DE PROJET :**II.5.1. CARACTÉRISTIQUES DE BASE :**

Longueur : environ 11 km

Caractéristiques géométriques selon les recommandations de la SNTF et les standards UIC.

Durant les travaux, il faudra maintenir le trafic ferroviaire de la ligne actuel.

Type de trafic : mixte

Mode traction : électrique et diesel

II.5.2. CARACTÉRISTIQUES DE LA VOIE :

- Écartement : La voie normale sera construite à écartement normal $e = 1435$ mm en alignement
- Gabarit : Le gabarit à dégager est celui des lignes à une vitesse normale, c'est-à-dire le gabarit GC de l'UIC 54 (Y compris caténaire en 25 KV).
- Charges à l'essieu :
 - Pleine voie 20 tonnes.
 - Ouvrages d'art 25 tonnes.
- Vitesses maximales :
 - Trafic voyageurs :160 km/h.
 - Trafic marchandises : 100 km/h.

- Plate-forme de voie :
 - La plate-forme pour voie double de largeur 14.40m.
 - Entre axe voie :5 m.
 - Distance axe voie - axe catenaire :3.25m.

II.5.3. CARACTÉRISTIQUES DE LA SUPERSTRUCTURE :

- Type de rails : En pleine voie et en gares, rail UIC 54
- Type de traverse :
 - Traverses bi-bloc en pleine voie.
 - Traverses en bois pour les appareils de voie.
- Attache : Attaches élastiques de type NABLA.
- Semelle : Semelle élastique en élastomère d'une épaisseur de 9 mm
- Appareils de voie :
 - UIC 54 500 1/12 avec une vitesse de 65km/h.
 - UIC 54 300 1/19 avec une vitesse de 40km/h.

CONCLUSION :

En conclusion de ce chapitre introductif dédié à la présentation du projet, il apparaît clairement que le dédoublement de la ligne ferroviaire entre Beni Mansour et Béjaïa revêt une importance stratégique majeure en particulier le soulagement du trafic de la RN26.en fournissant une vue d'ensemble des objectifs, du contexte et des implications de cette extension ferroviaire.

Cette étape préliminaire nous permet désormais d'explorer en profondeur les différentes dimensions techniques, économiques et sociales de ce projet dans les chapitres à venir.



CHAPITRE III : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE



CHAPITRE III : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

INTRODUCTION :

Les voies ferrées sont constituées d'un ensemble d'éléments amortisseurs élastiques et variables qui transfèrent les charges statiques et dynamiques des roues à la plateforme. Les rails d'une voie classique sont soutenus par des traverses, qui sont posées sur du ballast de différentes épaisseurs.

Les voies sont constituées de plates-formes et de superstructures, elles-mêmes constituées de divers éléments dont les plus importants sont les rails, les traverses, les systèmes de fixation, les équipements de voie et le ballast. Nous vous donnons un aperçu de chaque élément dans ce chapitre.

III.1.LES RAILS :

Les rails sont des barres d'acier profilées qui guident et supportent les véhicules ferroviaires tels que les trains. Ils sont conçus pour offrir une surface lisse et stable sur laquelle les roues des trains peuvent rouler en toute sécurité et efficacité. Les rails modernes sont généralement de type vignoble, composés de différentes parties telles que le patin, le champignon et l'âme, chacune ayant un rôle spécifique dans le bon fonctionnement de la voie.

Pour notre projet : Le type de rail utilisé est l'**UIC-54 E1** avec écartement standard 1435 mm.

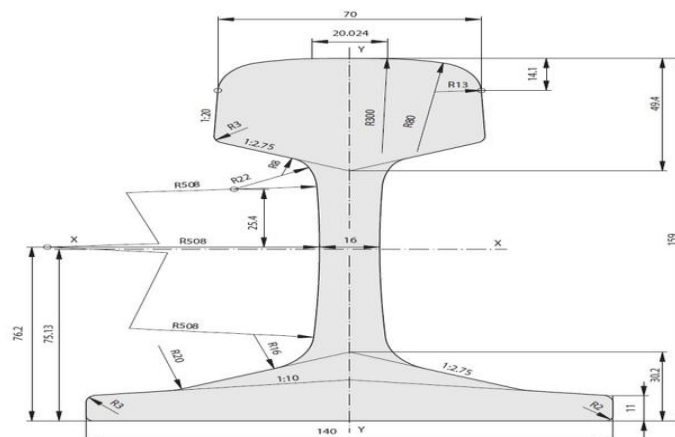


Figure N°III.01 : Rail Vignole Type 54

Tableau N°III. 01 : Caractéristiques de rail du type UIC 54

Caractéristique	Valeur
Poids	54.43kg/m
La section	69.77 cm ²
Moment d'inertie (axe x-x)	2337.9cm ⁴
Moment d'inertie (axe y-y)	419,2 cm ⁴
Résistance à la traction	R ≥ 880 N/mm ²
Allongement	R ≥ 10%
La dureté	260-300 HBW

Remarque : les rails sont généralement inclinés par rapport au plan de roulement avec une pente de 1/20, pour favoriser le centrage des roues du train.

III.1.1.ASSEMBLAGE DES RAILS :

Se réalise généralement par d'éclisses « pièce métallique fixée par des boulons sur les rails » et par des soudures des barres aluminothermiques ou électrique « LRS¹ ».

Pour notre projet : Le rail est livré en barres de 18 mètres, qui seront soudées électriquement sur chantier afin d'obtenir des barres de 288 mètres. Ces barres seront construites et soudées avec des soudures aluminothermiques en voie.

III.2.LES ATTACHES :

Les attaches de rail sont utilisées pour fixer les rails au sol de manière sécurisée. Il y a deux grandes catégories, à savoir rigide et souple, qui se divisent en plusieurs types.

Tableau N°III.02 : Récapitulatif des types d'attaches existantes

Type d'attache	Illustration
<u>Les attaches à clips :</u> Également connues sous clips de rail élastique, elles sont constituées d'une pince à ressort qui saisit le pied du rail et est fixée à la traverse à l'aide d'un boulon ou d'une vis spéciale.	
<u>Les attaches à vis :</u> Sont utilisées dans les traverses en béton et se composent d'un ancrage en acier encastré dans le béton lors de la construction.	
<u>Les fixations résilientes :</u> Sont conçues pour fournir un amortissement et une isolation supplémentaires entre le rail et la traverse, réduisant la transmission des vibrations et du bruit.	
<u>Les attaches directes :</u> Dans les systèmes de rails à fixation directe, le rail est directement fixé à la dalle de béton ou au tablier du pont sans traverses.	
<u>Les fixations de plaques :</u> Sont constituées d'une plaque d'acier qui est fixée à la traverse ou à la plaque de base à l'aide de vis ou de boulons, et le rail est ensuite fixé à la plaque à l'aide de clips.	

Pour notre projet : le type d'attache utilisée est attache élastique du type Nabla.

¹ **Le long rail soudé :** c'est une technique moderne de pose de voie conditionnés par des techniques de fabrication et de soudure, également connu sous le nom de barres longues. Cette méthode offre une meilleure résistance, stabilité et durabilité aux voies ferrées en combinant plusieurs rails de longueur normale pour former des sections plus longues.

III.3.LES TRAVERSES :

Les voies ferrées sont essentiellement constituées de traverses, qui servent de support aux rails. Ils sont généralement fabriqués en bois, en béton ou en acier et placés de chaque côté des rails de manière à ce qu'ils soient à une distance constante les uns des autres « travelages ».

Les traverses améliorent la stabilité et la durabilité de la voie en répartissant les charges des trains sur le ballast. En plus de soutenir les rails « maintient l'écartement entre les deux de rail et l'inclinaison du rail Vignole », les traverses réduisent les vibrations et les contraintes causées par le passage des trains. Les composants de la superstructure ferroviaire sont importants pour le bon fonctionnement et la sécurité du réseau ferroviaire.

Pour notre projet : le type de traverse utilisé est une traverse bibloc type B440, ces traverses sont écartées de 0,60 m entre eux.

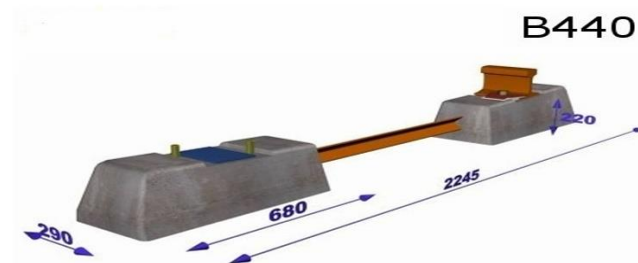


Figure N°III.03 : Travers en Béton Type 440

III.4.LES APPAREILS DE VOIE :

Les appareils de voie font référence aux équipements et aux structures utilisés dans la construction et le fonctionnement des voies ferrées. Ils comprennent divers éléments tels que les aiguillages, les croisements, les aiguillages en T, les appareils de dilatation, les appareils de raccordement, etc. Ces composants sont essentiels pour permettre la circulation des trains sur des voies multiples, pour changer de direction ou pour passer d'une voie à une autre. Les appareils de voie contribuent à la sécurité et à l'efficacité du réseau ferroviaire en permettant une gestion flexible du trafic et des itinéraires des trains.



Figure N°III.04 : Appareil de Voie

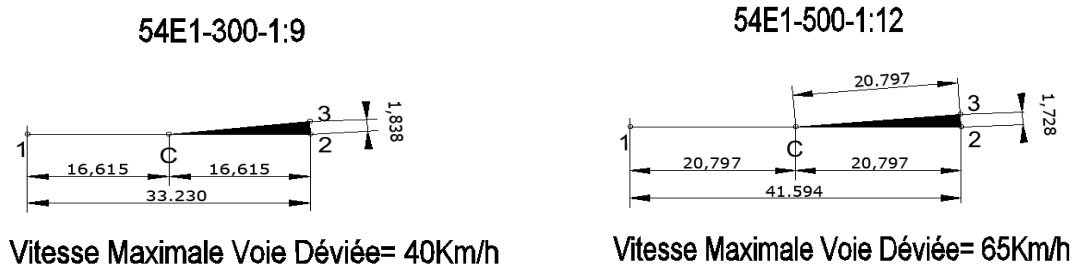


Figure N°III.05 : les caractéristiques des appareils de voie de projet

III.5. LE BALLAST :

Le ballast est un élément essentiel de la voie ferrée, faisant partie de la superstructure. Il s'agit d'un matériau granulaire, souvent constitué de pierres concassées ou de gravier, qui est placé sous les traverses pour stabiliser la voie et permettre le drainage.

Le ballast joue un rôle important en répartissant les charges des trains sur une plus grande surface, en absorbant les vibrations et en facilitant l'écoulement de l'eau. Cet élément est indispensable pour assurer la durabilité, la sécurité et la performance globale des voies ferrées.

CONCLUSION :

La superstructure de la voie ferrée, comprenant les rails, les traverses, les attaches et le ballast, joue un rôle essentiel dans la stabilité et la sécurité du réseau. Le choix de ces composantes est basé sur le groupe UIC (tonnage), la vitesse et le trafic.

Les performances optimales et la durabilité à long terme du système ferroviaire sont indispensables à sa conception et à sa maintenance rigoureuse.



CHAPITRE IV : ETUDE GÉOMÉTRIQUE



CHAPITRE IV : ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE

INTRODUCTION :

Au cœur de tout projet ferroviaire réside une phase essentielle : l'étude de géométrie de tracé. Cette étude revêt une importance capitale pour assurer la sécurité, l'efficacité et le confort des usagers, Elle vise à concilier les contraintes topographiques, les exigences de sécurité, les impératifs de performance et les normes réglementaires.

Dans le cadre de ce chapitre, nous explorerons en détail les différents aspects de la conception géométrique du tracé ferroviaire du dédoublement et rectification de tracé de la ligne ferroviaire reliant Beni Mansour à Béjaïa, tels que les courbes, les dévers, les pentes et les raccordements.

IV.1. LE TRACÉ EN PLAN :

La projection orthogonale sur un plan horizontal de l'axe d'une voie ferrée est appelée le tracé en plan. Il est généralement composé d'alignements droits, d'arcs de cercle et des courbes de raccordement progressives.

Ces composants sont destinés à améliorer les conditions de circulation, à éviter les obstacles naturels ou géologiques et à garantir des transitions fluides entre les différentes parties de la voie.

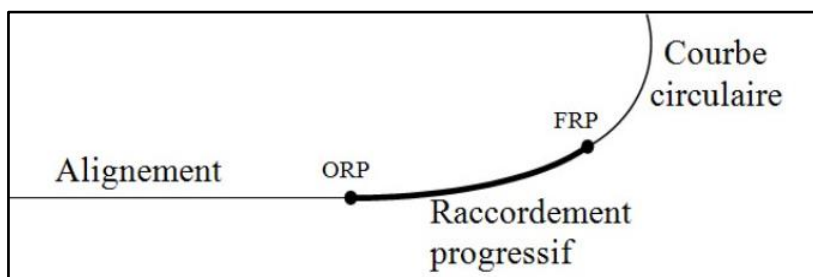


Figure IV.01 : élément de tracé en plan

IV.1.1. CONDITIONS ET RÉGLES A RESPECTER DANS LE TRACE EN PLAN :

- Suivre les recommandations de la SNTF en ce qui concerne les longueurs minimales des alignements et des courbes, ainsi que les valeurs des rayons minimum à respecter."
- Pour réduire les volumes de terrassement, il est recommandé de suivre les courbes de niveau.
- Prendre en compte les réseaux existants (électrique, gaz, eaux...).
- Il est préférable d'éviter de traverser des terrains agricoles, des zones forestières et des propriétés privées.
- Éviter les zones qui présentent des problèmes géologiques.
- Dans la mesure du possible, limiter autant que possible le franchissement des oueds et des routes pour éviter la construction d'ouvrages d'art. En cas de franchissement

inévitables, il doit être effectué perpendiculairement à la ligne d'écoulement ou aux endroits les plus étroits.

- Réduire au minimum les problèmes des talus :

Talus en déblai (la présence de nappe, des terrains plastiques ou la présence de roche fissurée).

Talus en remblais (évitez les terrains instables et les sols compressibles).

IV.1.2. CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES :

Le tracé en plan est défini par deux vitesses, vitesse des trains voyageurs (Vv, vitesse rapide) et vitesse des trains marchandises (Vm, vitesse lent).

Tableau N°IV.01 : Vitesse des trains maximale

Vitesse voyageurs Vv	160 km/h
Vitesse marchandises Vm	100km/h

Ces deux vitesses permettent d'établir les paramètres géométriques suivants qui sont fixés par les recommandations de la SNTF :

Tableau N°IV.02: Paramètres géométriques de tracé en plan (SNTF ²)

Paramètres	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Devers maximum D (mm)	160	180
Insuffisance de devers I (mm)	150	160
Excès de devers E (mm)	110	150
Longueur minimum des éléments de trace (m)	$V_{max}/2 = 80$	$V_{max}/3 = 54$
Rayon minimum en plan R (m)	$\frac{11.80 \times V_{max}^2}{d_{max} - E} = 980$	
Variation de dévers par rapport la longueur $\Delta d / \Delta L$ (mm/m)	$180/V = 1.125$	$216/V = 1.35$
Taux de variation de devers par rapport au temps $\Delta d / \Delta t$ (mm/s)	50	60
Taux de variation de l'insuffisance de devers par rapport au temps $\Delta I / \Delta t$ (mm/s)	75	90

NB :

- La limitation de l'insuffisance de devers **I** est 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'excès de devers **E** est pour éviter l'usure prématurée du rail intérieur dans les courbes (pour les circulations fret donc lentes).

IV.1.3. APPLICATION SUR LE PROJET :

Notre projet qui concerne le dédoublement et rectification de tracé de la ligne ferroviaire Beni Mansour -Bejaia du PK 61+000 au PK 71+900

Pour illustrer les différentes étapes de la détermination des dévers et des paramètres correspondant à notre tracé, on prend l'exemple de calcul suivant :

Le calcul est pour un rayon $R = 2000$:

- Dévers théorique : $dth = \frac{11,8 \times V_{max}^2}{R} = \frac{11,8 \times 160^2}{2000} = 151,04$
- Le coefficient de dévers : $C = 0.006 \times V_{max}^2 = 153,60$
- La valeur de C doit être un multiple de 15, donc dans ce cas on prend $C=165$.

$$0.5 < \frac{C}{0.118 \times V_{max}^2} < 0.7 \quad \rightarrow \quad 0.5 < \frac{165}{0.118 \times 160^2} = 0.55 < 0.7 \text{ vérifié}$$
- Dévers pratique : $dp = \frac{1000 \times C}{R} = \frac{1000 \times 165}{2000} = 82,5\text{mm}$, on prend $dp=90\text{mm}$.
- Insuffisance de dévers : $I = dth - dp = 151,04 - 90 = 61,04\text{mm} < I_{max}$.
- Excès de dévers : $E = dp - \frac{11,8 \times V_{min}^2}{R} = 90 - \frac{11,8 \times 100^2}{2000} = 90 - 59 = 31 \text{ mm} < E_{max}$.
- La longueur de clothoïde : $Lrp = \frac{dp}{(dd/dl)} = \frac{dp}{\frac{180}{V_{max}}} = \frac{90}{\frac{180}{160}} = 80 \text{ m}$.

Donc on prend $Lrp=90\text{m}$

- Le paramètre de clothoïde $A = \sqrt{R \cdot L} = \sqrt{2000 \times 90} = 424,26$.
- Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur : $\Delta d / \Delta l = \frac{dp}{Lrp} = \frac{90}{90} = 1\text{mm/m}$
- La variation d'insuffisance de dévers : $\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{\Delta I}{\Delta l} \times \frac{V_{max}}{3,6} = \frac{61,04}{90} \times \frac{160}{3,6} = 30,14 \text{ mm/s}$
- Limite de la variation de dévers par rapport au temps : $\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{\Delta d}{\Delta l} \times \frac{V_{max}}{3,6} = 44,44 \text{ mm/s}$.

Ci-dessous le tableau récapitulatif des rayons en plan établis pour le tronçon d'étude (PK 61+000 – PK71+900), avec longueurs de clothoïde correspondantes, aussi leurs dévers associés, ainsi que toutes les vérifications nécessaires notamment :

- ✓ Variation de dévers en fonction de la longueur de raccordement progressif Lrp .
- ✓ Variation de dévers en fonction du temps.
- ✓ Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps.

Pour $C=165$, $V_{max}=160\text{Km/h}$ et $V_{min}=100\text{Km/h}$ prennent les paramètres géométriques suivant :

Tableau N°IV.03 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé

	Rayon (m)	V max (Km/h)	V min (Km/h)	Dévers Voy	Dévers March	Dévers (mm)	Lrp (m)	A	I (mm)	I Max
Courbe N° 01	980	160	100	308,24	120,40	160	150	383,4	148,24	<150
Courbe N° 02	5500	160	100	54,92	21,45	40	40	469,04	14,92	<150
Courbe N° 03	2000	160	100	151,04	59	90	90	424,26	61,04	<150
Courbe N° 04	2000	160	100	151,04	59	90	90	424,26	61,04	<150
Courbe N° 05	1000	160	100	302,08	118	160	150	387,29	142,08	<150
Courbe N° 06	1000	160	100	302,08	118	160	150	387,29	142,08	<150
Courbe N° 07	2000	160	100	274,62	59	90	90	352,42	124,82	<150

Tableau N°IV.04: Tableau récapitulatif des paramètres du tracé (suite)

	E (mm)	E Max	$\Delta d/\Delta l$ (mm/m)	Con 1	$\Delta d/\Delta t$ (mm/s)	Con 2	$\Delta l/\Delta t$ (mm/s)	Con 3
Courbe N° 01	39,6	<110	1,06	<1,125	47,4	<50	43,92	<75
Courbe N° 02	18,54	<110	1	<1,125	44,44	<50	16,58	<75
Courbe N° 03	31	<110	1	<1,125	44,44	<50	30,14	<75
Courbe N° 04	31	<110	1	<1,125	44,44	<50	30,14	<75
Courbe N° 05	42	<110	1,06	<1,125	47,4	<50	42,09	<75
Courbe N° 06	42	<110	1,06	<1,125	47,4	<50	42,09	<75
Courbe N° 07	31	<110	1	<1,125	44,44	<50	30,14	<75

NB : Pour la situation de raccordement d'inflexion « courbe en S » est recommandé maintenir la variation linéaire de dévers $\Delta d/\Delta l$ et $\Delta l/\Delta t$.

IV.1.4.1. DESCRIPTION DU TRACÉ :

Le tracé de tronçon d'étude varie entre deux zones : des zones des dédoublement de la voie actuelle et des zones de rectification.

Pour notre tracé on a opté pour un tracé sans point de croisement entre les deux voies « la voie existante et la future voie » afin d'assurer la circulation de la voie existant au cours de réalisation de la voie future (phasage des travaux)

Tableau N°IV.05: Tableau descriptif de tracé

PK	Description
61+000 au 62+113	Il y a dédoublement de la voie actuelle par la droite et dans l'ensemble le tracé actuel est maintenu.
62+113 au 62+864	Rectification de l'actuelle courbe existante.
62+864 au 64+875	Il y a dédoublement de la voie actuelle par la droite et dans l'ensemble le tracé actuel est maintenu.
64+875 au 65+050	Rectification de l'actuelle courbe existante.
65+050 au 65+485	Il y a dédoublement de la voie actuelle par la droite de la voie existante.

65+485 au 66+414	Rectification du raccordement d'inflexion actuelle (courbe en « S »).
66+414 au 69+338	Il y a dédoublement de la voie actuelle par la droite et dans l'ensemble le tracé actuel est maintenu.
69+338 au 69+774	Rectification de l'actuelle courbe existante.
69+774 au 69+889	Il y a dédoublement de la voie actuelle par la droite.
69+889 au 71+900	Tracé en variante.

IV.1.4.2 LES CONTRAINTES LE LONG DU TRACÉ :

Les contraintes dans notre tracé en plan sont variées. Parmi celles-ci, on peut citer la topographie du terrain, les cours d'eau, les zones sensibles sur le plan environnemental, ainsi les infrastructures existantes et les réglementations locales et nationales.

Chaque contrainte exerce une influence sur la conception du plan et nécessite une analyse minutieuse pour trouver un équilibre entre les objectifs du projet et les limitations imposées.

Tableau N°IV.06: Liste des obstacles à franchir.

Obstacle à franchir	Point kilométrique	Solution proposé
Site archéologique	[61+025-61+200]	Protection
6 Piste	[61+175-71+775]	Aménagement (passage supérieure) ou suppression
Habitat	62+870	Suppression
CW21	63+041	Passage supérieure
Route RN 12	64+875 69+825	
Conduite d'eau Ø=1m	62+085 63+287 69+238 70+072 70+340	Déplacement ou protection par des gains en acier ou en béton.
Ligne électrique à haute tension	62+315 62+537 63+343 64+142 64+300 65+024 65+700 69+812	Déplacement ou protection
Oued Karachi 1	64+080	Ouvrage ferroviaire
Oued Karachi 2	64+300	
Oued Ou Zebboudj	66+283	Ouvrage hydraulique

IV.1.5. CALCULE D'AXE :

Cette procédure est cruciale pour définir le tracé d'un projet, déterminant le couloir par lequel la voie sera tracée. Elle consiste à calculer l'axe point par point, depuis le début jusqu'à la fin du tronçon, en indiquant leurs coordonnées ou orientations à l'aide d'un repère défini. On peut réaliser ce calcul en partant d'un point initial dont les coordonnées sont connues pour atteindre un deuxième point, exprimant ainsi leurs coordonnées ou orientations dans un repère fixe.

Le procédé de calcul consiste principalement à utiliser la courbe de clothoïde, c'est un élément géométrique spécifique qui se définit à l'aide de formules mathématiques approximatives.

Le calcul d'axe doit respecter les étapes suivantes :

- Évaluation des gisements
- Vérification de l'angle γ entre les positions
- Évaluation de l'angle τ
- Détermination de la tangente T
- Mesurément de la distance S_0K_{A1}
- Évaluation de la corde SL,
- Évaluation de l'absence de chevauchement,
- Évaluation de la taille de l'arc
- Détermination des coordonnées des points spécifiques.
- Détermination de l'angle polaire s,
- Évaluation de α
- Détermination de la longueur de l'arc
- Détermination des coordonnées des points spécifiques.

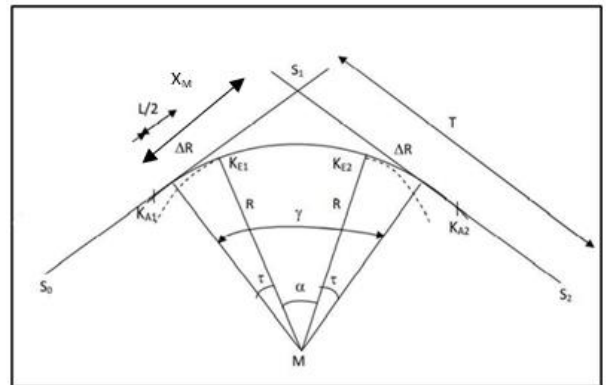


Figure N°IV.02 :
Caractéristiques principales d'une courbe avec les raccords

IV.1.5.1. EXEMPLE DE CALCUL D'AXE :

$$R = 980\text{m}$$

$$A = 383.4058\text{m}$$

$$S_0 (665388.6509 ; 4058921.9588)$$

$$S_1 (665613.1166 ; 4059235.1306)$$

$$S_2 (665977.1524 ; 4059362.1149)$$

1. Calcul de gisement :

$$|\Delta x_0| = |x_{S1} - x_{S0}| = 224.4657 \text{ m}$$

$$|\Delta y_0| = |y_{S1} - y_{S0}| = 313.1718 \text{ m}$$

$$|\Delta x_1| = |x_{S2} - x_{S1}| = 364.0358 \text{ m}$$

$$|\Delta y_1| = |y_{S2} - y_{S1}| = 126.9843 \text{ m}$$

D'où :

$$G_{S0S1} = \tan^{-1} \frac{|\Delta x_0|}{|\Delta y_0|} = 39.590 \text{ grad}$$

$$G_{S1S2} = \tan^{-1} \frac{|\Delta x_1|}{|\Delta y_1|} = 78.633 \text{ grad}$$

$$S_0S_1 = \sqrt{\Delta x_0^2 + \Delta y_0^2} = 385.3069 \text{ m}$$

$$S_1S_2 = \sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta y_1^2} = 385.5478 \text{ m}$$

2. Calcul de l'angle γ :

$$\gamma = G_{S1S0} - G_{S2S1} = 39.043 \text{ grad}$$

3. Calcul de l'angle τ :

$$\tau = \frac{L \times 200}{2R\pi} = 4.872 \text{ grad} \quad \text{avec :} \quad L = \frac{A^2}{R} = 150$$

4. Calcul de la tangente T :

$$T = X_m + (R + \Delta R) \cdot \text{tg}(\gamma/2) \quad \text{avec :} \quad X_m = \frac{L}{2} = 75 \quad \text{et} \quad \Delta R = \frac{L^2}{24R} = 0.9566 \text{ m}$$

$$T = 385.6003 \text{ m}$$

5. Calcul de la distance S_0K_{A1} :

$$S_0K_{A1} = S_0S_1 - T = 0.2934 \text{ m}$$

6. Calcul de la corde SL :

$$S_L = \sqrt{X_{KE}^2 + Y_{KE}^2} \quad \text{avec :} \quad X_{KE} = L = 150 \quad \text{et} \quad Y_{KE} = \frac{L^2}{6R} = 3.827$$

$$S_L = 150 \text{ m}$$

7. Vérification de non chevauchement :

$$\tau \leq \gamma/2 \quad \Rightarrow \quad 4.872 \leq 19.522 \quad \text{vérifié}$$

8. Calcul de l'angle polaire σ :

$$\sigma = \arctan (Y_{KE} / X_{KE}) = 1.624 \text{ grad}$$

9. Calcul de α :

$$\alpha = \gamma - 2. \tau = 29.299 \text{ grad}$$

10. Calcul de longueur de l'arc :

$$B = K_{E1}K_{E2} = \frac{\pi R (\gamma - 2\tau)}{200} = 451.0231 \text{ m}$$

11. Calcul des coordonnées des points singuliers :**• Le point K_{A1} :**

$$X_{KA1} = X_{S1} - T \cdot \sin G_{S1 S0} = 665613.1166 - 385.6003 \sin (39.590) = 665612.5340$$

$$Y_{KA1} = Y_{S1} - T \cdot \cos G_{S1 S0} = 4059235.1306 - 385.6003 \cos (39.590) = 4058921.7200$$

• Le point K_{A2} :

$$X_{KA2} = X_{S1} + T \cdot \sin G_{S2 S1} = 665613.1166 + 385.6003 \sin (78.633) = 665977.2013$$

$$Y_{KA2} = Y_{S1} - T \cdot \cos G_{S2 S1} = 4059235.1306 - 385.6003 \cos (78.633) = 4059107.996$$

• Le point K_{E1} :

$$X_{KE1} = X_{KA1} + S_L \cdot \sin (G_{S1 S0} + \sigma) = 665612.5340 + 150 \sin (39.590 + 1.624) = 665702.9997$$

$$Y_{KE1} = Y_{KA1} + S_L \cdot \cos (G_{S1 S0} + \sigma) = 4058921.7200 + 150 \cos (39.590 + 1.624) = 4059041.369$$

• Le point K_{E2} :

$$X_{KE2} = X_{KA2} - S_L \cdot \sin (G_{S1 S0} + \sigma) = 665977.2013 - 150 \sin (39.590 + 1.624) = 665886.7356$$

$$Y_{KE2} = Y_{KA2} + S_L \cdot \cos (G_{S1 S0} + \sigma) = 4059107.996 + 150 \cos (39.590 + 1.624) = 4059227.645$$

Commentaire : le calcul manuel est exact au calcul automatique de logiciel, avec une légère incertitude liée aux erreurs humaines d'arrondissement et à l'erreur numérique de logiciel.

IV.2. LE PROFIL EN LONG :

La projection horizontale de la cote de la file basse des rails des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé est appelée le profil en long « le profil longitudinale ». Il est composé par des déclivité uniformes reliées entre elles par des courbes circulaires.

Le profil en long joue un rôle essentiel dans la sécurité, la performance et la durabilité des infrastructures ferroviaires, ainsi sur le plan économique et technique du projet.

IV.2.1. LES ÉLÉMENTS DE COMPOSITION DU PROFIL EN LONG :

IV.2.1.1. LA DÉCLIVITÉ :

On appelle « déclivité » la tangente de l'angle qui fait le profil en long avec l'horizontale, elle prend le nom de « pente » pour une descente et « rampe » pour une monte.

Ces dernières doivent respectés les recommandations exigées par le référentiel du **SNTF** en raison de sécurité et de confort. Dont :

✓ En déclivité de longueur inférieure à 3 000 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‰.

✓ En déclivité de longueur supérieure à 15 000 m, la déclivité ne doit pas dépasser 13‰ et exceptionnellement 16‰.

Tableau N°IV.07 : Longueur minimale des déclivités selon référentiel technique de SNTF

Valeur minimale normale	V/2
Valeur minimale exceptionnelle	V/2,5

En générale, Un palier d'une longueur supérieur à 1200 m est utilisé pour l'implantation de la gare.

IV.2.1.2. LES CERCLES :

Lorsqu'un véhicule traverse un changement de déclivité, il est soumis à une accélération verticale soudaine aux points de transition, ce qui entraîne des oscillations dans la suspension du véhicule et perturbe le confort des passagers.

Cette accélération est donnée par la formule suivante : $A_v = \frac{v^2}{3,6^2 \times R_v}$

Pour une vitesse inférieure à 220 km/h la valeur maximale de cette accélération est de 0.22m/s² ($A_v \leq 0.05g$) (exceptionnellement 0.31m/s²) qui est une valeur de confort acceptable

en remplaçant les valeurs de A_v dans la formule : $R_v = \frac{v^2}{3,6^2 \times A_v}$, on trouve :

Tableau N°IV.08: Valeurs de Rayon vertical minimale selon référentiel technique de SNTF

Valeur minimale normale	$0.35V^2$
Valeur minimale exceptionnelle	$0.25V^2$

IV.2.2. LES RÉGLES A RESPECTER DANS LE PROFIL EN LONG :

- Adapter la ligne rouge au terrain naturel pour minimiser les travaux de terrassement.
- Equilibrer entre le volume des déblais et le volume des remblais.
- Eviter les hauteurs excessives des remblais.
- Eviter les angles sortant en déblai.
- Respecter la longueur minimale des éléments de profil en long, pour éviter les oscillations des véhicules dues aux variations successives des déclivités.
- Il est obligatoire de passer avec un profil en remblais dont la hauteur est supérieure à NPHE+0,5, dans les zones inondables.
- Eviter la coïncidence entre les rayons en profil en long et les raccordements progressifs (RP) « clothoïde » en tracé en plan (règle de coordination).

IV.2.3. APPLICATION SUR LE PROJET :**Tableau N°IV.09:** Paramètres géométriques de profil en long.

		Déclivité maximal				R _{min} (m)	L _{min} (m)
		L<3000	3000<L<15000	L>15000	Gares		
Formule	Normal	-	-	-	-	$0.35V^2$	V/2
	Exceptionnel	-	-	-	-	$0.25V^2$	V/2.5
Valeur	Normal	16‰	16‰ à 13‰	13‰	0‰	8960	80
	Exceptionnel	18‰	18‰ à 15‰	15‰	0‰	6400	64

Remarque : Pour tenir compte les bases de nivellement des bourreuses, la longueur minimale des raccordements de déclivité doit être de 30m.

IV.2.4. DESCRIPTION DU PROFIL EN LONG :

Le profil que nous avons élaboré est basé sur la ligne rouge de la ligne existante. Au niveau de la zone de dédoublement, nous avons essayé de maintenir les mêmes cotes ou d'être au-dessus d'une distance maximale de 40 cm. Notre profil comprend 16 segments droite d'une longueur minimale de 227 mètres, 5 raccordements circulaires par un rayon minimale de 10000 mètres et une déclivité maximale de 8,25 ‰.

Une fois que la différence algébrique des déclivités est inférieure à 2‰, un point de changement de pente est utilisé au lieu d'une courbe verticale selon la norme **IN 0272** ³.

NB : le tracé et le profil ont été réalisé à l'aide du logiciel COVADIS 16.0e et les éléments du tracé en plan et le profil en long sont annexés au présent document.

CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons examiné en détail les aspects géométriques du tracé ferroviaire et évaluer les éléments essentiels du tracé en plan et profil en long pour assurer la géométrie optimale qui garantir la sécurité, l'efficacité et le confort de la ligne tout en respectant les contraintes topographiques et environnementales.



CHAPITRE V : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE



CHAPITRE V : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE**INTRODUCTION :**

Dans ce chapitre, nous aborderons l'étude hydrologique et hydraulique, qui sont deux aspects essentiels dans l'étude globale de projet de dédoublement et rectification de tracé de la ligne ferroviaire entre Beni Mansour et Béjaïa.

Ces deux analyses revêtent une importance capitale car nous permettent de comprendre la dynamique des eaux (les caractéristiques des cours d'eau, les bassins versants et les débits des crues des oueds) dans la région de projet à étudier.

Ceci nous autorise de déterminer les ouvrages hydrauliques adéquats pour contrôler et gérer le débit d'apport, ainsi assurer la sécurité et la résilience de l'infrastructure ferroviaire face aux défis hydrologiques et hydrauliques.

V.1. ÉTUDE HYDROLOGIQUE :

L'étude hydrologique est une discipline scientifique qui se penche sur le mouvement, la distribution et la qualité de l'eau sur terre.

L'hydrologie concentre principalement sur les eaux de surface ainsi que les eaux souterraines, elle prend en compte les caractéristiques climatiques et pluviométriques de la région, analyser les débits, afin de comprendre la dynamique des eaux, prévenir les inondations et assurer la durabilité de ces ressources.

V.1.1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE :

Le tronçon de la ligne ferroviaire Beni Mansour / Bejaia du PK61+000 au PK71+900 est situé dans l'un de plus importants bassins hydrographiques de l'Algérie.

Le bassin versant de l'oued Soummam, c'est-à-dire, la vallée du Soummam qui est située au Nord-Est de l'Algérie.

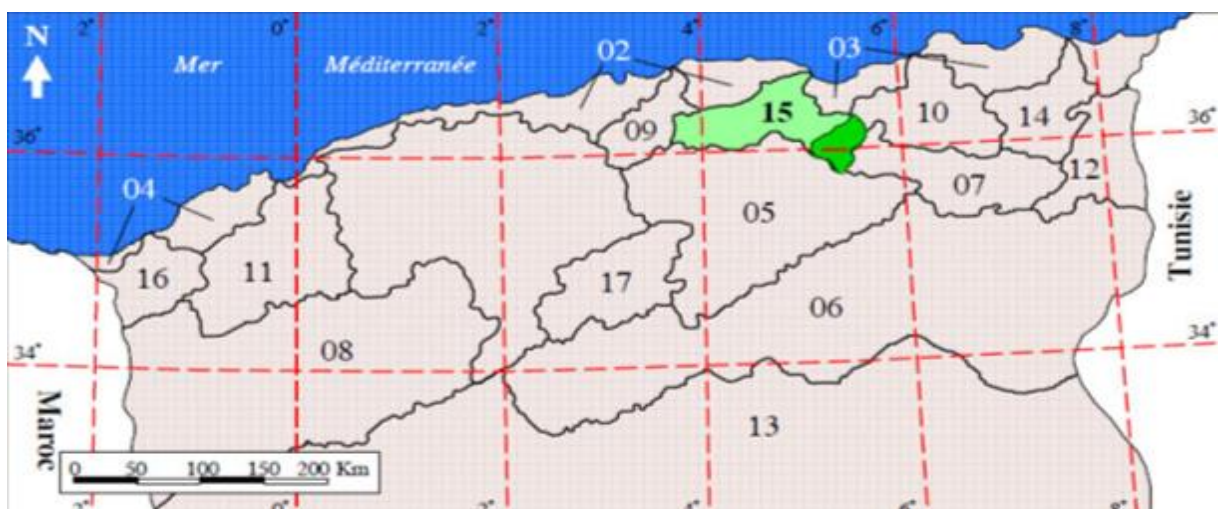


Figure N°V.01 : Localisation du bassin Versant de l'Oued Soummam (15)

V.1.2. LES CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES ET PLUVIOMÉTRIQUES :

Les données de la région d'étude ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources en eau (ANRH) et de l'Office National de la Météorologie (ONM), Il s'agit d'observations journalières reportées sur des tableaux de cumuls mensuels (TCM).

Nous avons travaillé sur les stations les plus proches et représentatives du tracé de tronçon étudié, ainsi que les plus fiables de cette zone « les stations de Sidi Aich et Bejaia 'Station Domain Dehas' »

V.1.2.1. CLIMAT :

La zone d'étude est caractérisée par un climat de type méditerranéen, avec étage bioclimatique humide et subhumide.

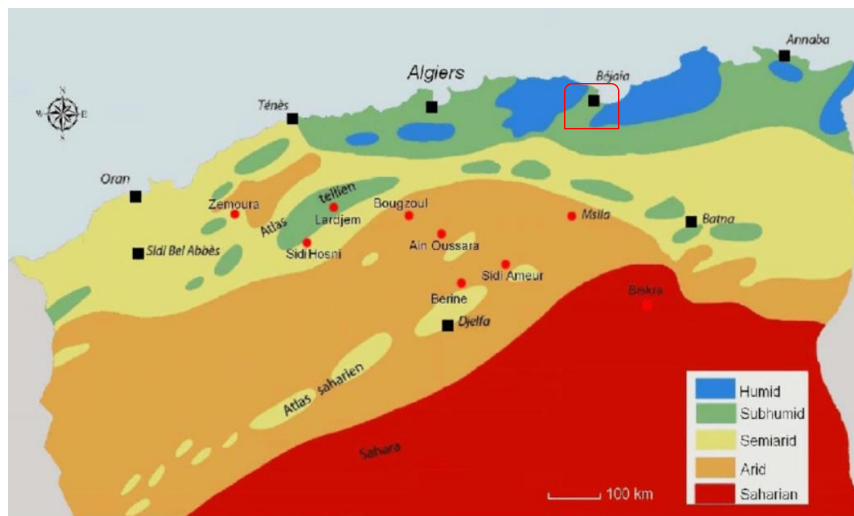


Figure N°V.02 : Étages bioclimatiques de la zone d'étude.

V.1.2.2 TEMPÉRATURE :

Les données des températures mesurées à la station Sidi Aich / Bejaia pour la période (1993-2003) sont illustrées dans le graphe ci-dessous

Tableau N°VI.01: Températures moyennes mensuelles

Source : ONM (en C°)

Station Sidi Aich /Bejaïa de 1993 à 2003

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
Tmoy (C°)	12,5	13,7	15,4	16,7	20,2	24,0	26,2	27,5	24,8	21,3	16,8	14,3	19,5

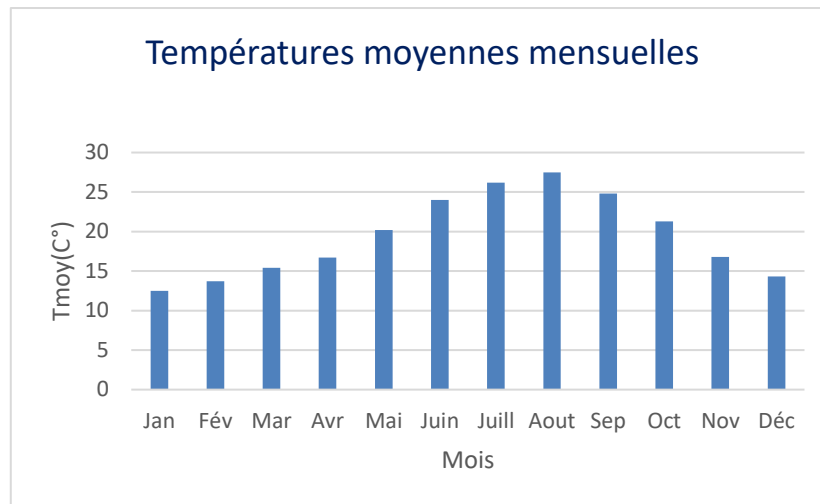


Figure N°V.03 : Variation des températures moyennes mensuelles

Le **tableau N°V.01** et la **figure N°V.03** : montrent que les températures sont relativement douces, la moyenne annuelle est de 19,48°C et les températures moyennes mensuelles varient entre 12,5°C en Janvier et 27,46°C en Août

V.1.2.3. LES PRÉCIPITATIONS

D'après la carte des pluies de l'Algérie du Nord de l'ANRH, la **pluie annuelle moyenne** dans la région de Beni Mansour est de **450 mm** et pour la région de Bejaia on prend en considération la valeur de **700 mm**.

- PLUIES ANNUELLES :**

Tableau N°V.02: Ajustement à une loi normale des pluies annuelles (fréquences humides)

Station Sidi Aich /Bejaïa de 1993 à 2003

Période de retour	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Fréquence	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99
P an Bejaia (mm)	1.123,8	1.213,5	1.287,5	1.370,8	1.426,4
P an Sidi Aich (mm)	615,0	673,7	722,2	776,8	813,2

- PRÉCIPITATIONS MENSUELLES :**

Le tableau N°VI.03 Et la figure N°VI. 04 : Révèlent que le mois de Décembre est le plus pluvieux avec un maximum de **153,5 mm** enregistré à la station à la station de Sidi Aich , en revanche le mois de juillet est considéré comme le plus sec avec un minimum de **1,9 mm** .

Tableau N°V.03: Les précipitations mensuelles

Source : ONM

Station Sidi Aich /Bejaïa de 1993 à 2003

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Août
P en mm	42,6	97,6	134,5	153,5	153,0	112,2	91,2	76,3	51,9	26,6	1,9	11,4
P en %	4,5	10,3	14,1	16,1	16,1	11,8	9,6	8,0	5,4	2,8	0,2	1,2

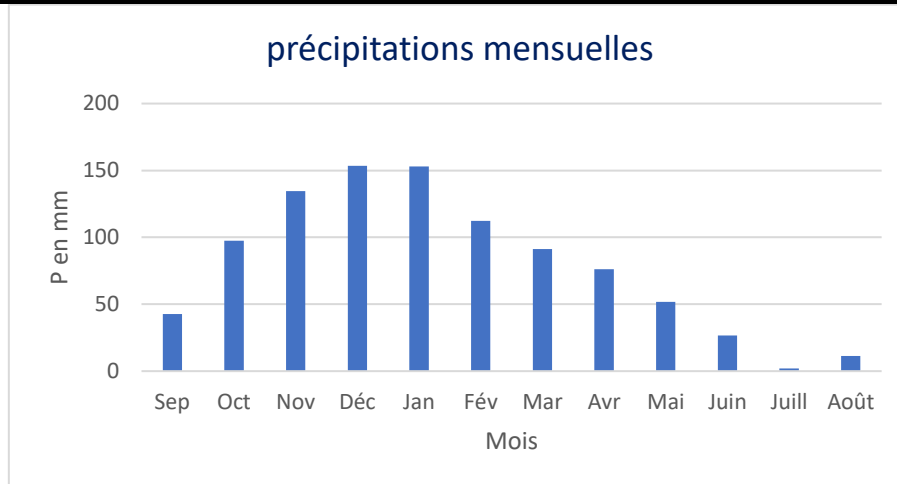


Figure N°V.04 : Variation des précipitation mensuelles

• PRÉCIPITATIONS JOURNALIÈRES

Pour se prémunir contre les dommages liés aux eaux, il est nécessaire d'étudier les précipitations maximales journalières annuelles. Théoriquement, ces valeurs extrêmes suivent une distribution statistique spécifique. En Algérie, il a été constaté que les précipitations maximales journalières annuelles sont conformes à la distribution de Gumbel.

Tableau N°VI.04: Pluies Max. journalières (en mm)

Source : ONM

Station Sidi Aich / Bejaïa de 1993 à 2003

Période de retour	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Fréquence	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99
Pmax Bejaia (mm)	96,1	112,0	127,3	147,1	162,0
Pmax Sidi Aich(mm)	55,5	64,8	73,6	85,1	93,6

• PLUIES DE COURTES DURÉES :

Pour le passage de pluies journalières maximales aux pluies de durées égales au temps de concentration, on passe par des lois Intensité – durée – fréquence.

La relation : Intensité - Durée – Fréquence (IDF) recherchée est de type : $I(t, T) = a(T) \times t^b$

- I : Intensité de pluie exprimée en mm/tr ;

- T : Période de retour exprimé en ans ;

- t : Temps exprimé en heures ;

- a et b : Paramètres de Montana.

Tableau N°VI.05: Valeurs du paramètre « a » et « b » selon les fréquences

Temps de Retour (T) ans	10	20	50	100
a	420,752	480,105	555,287	612,003
b	-0,63			

V.1.2.4. LE VENT :

Les vents dans la région d'étude sont calmes et soufflent avec une intensité annuelle moyenne enregistrée de 2,83 m/s.

VI.1.3. LES CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES BASSINS VERSANT

Avant le dimensionnement des ouvrages hydrauliques, il est nécessaire d'identifier dans les cartes d'état-major, à l'échelle de 1/50 000, toutes les lignes d'eau qui croisent le tracé, et délimiter les respectifs bassins versants de chaque ligne d'eau pour calculer débit de pointe de crue.

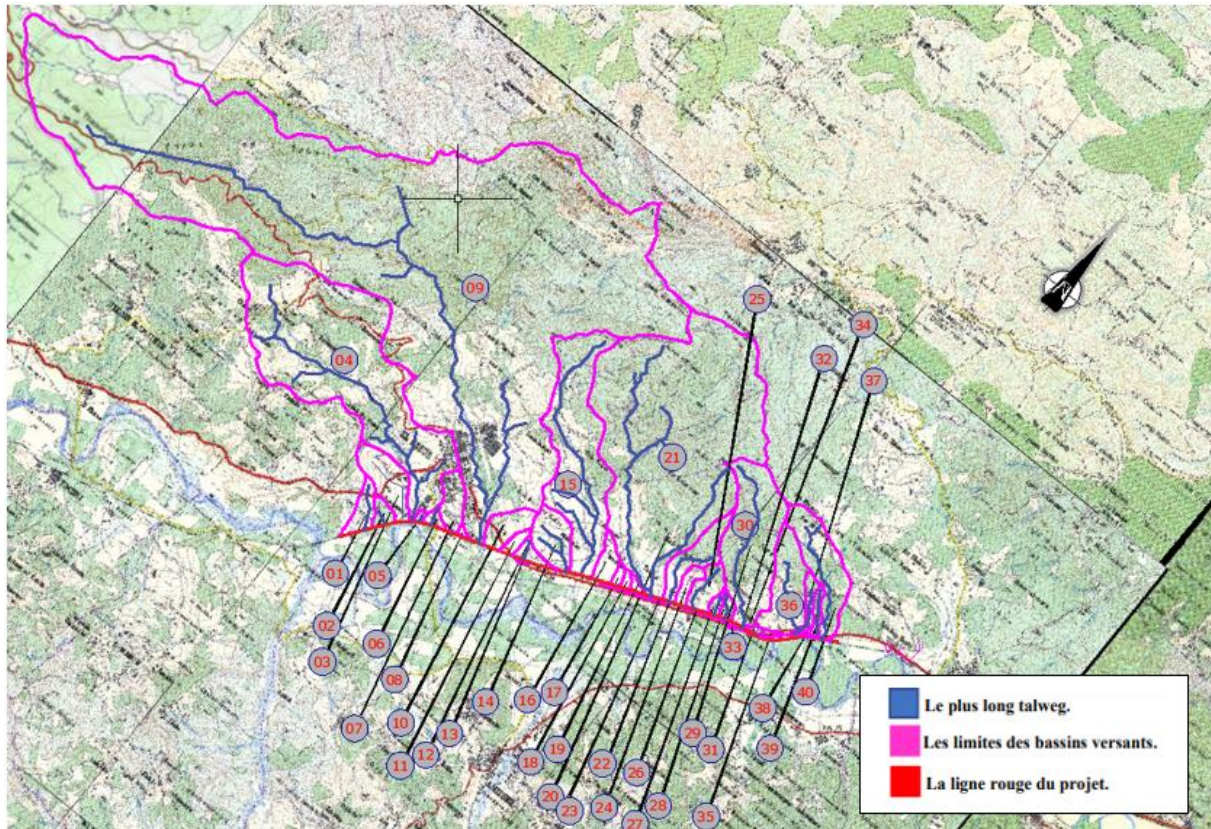


Figure N°V.05 : La délimitation des bassins versants sur les cartes d'état-major.

D'après le tracé des bassins versants, on a calculé de paramètres suivants :

- Surface – « S » ;
- Périmètre – « P » ;
- Altitude minimale et maximale du bassin versant « Hmin » et « Hmax » ;
- Longueur de l'oued principal – « L » ;
- Pente brute de l'oued principal « ΔH » ;

- Indices de pente moyenne « J »,
- Coefficient de compacité de Gravelius – « Kc ».

Tableau N°V.06: Les caractéristiques morphologiques des bassins versants

N° BV	PK	S (km ²)	P (Km)	L (Km)	Hmax (m)	Hmin (m)	Hmoy (m)	ΔH (m)	I (m/m)	kc
1	61+475	0,433	3,378	1,193	150	40	95	110	0,0922	1,45
2	61+925	0,191	1,948	0,646	95	37	66	58	0,0897	1,26
3	62+287	0,991	4,583	2,194	207	39	123	168	0,0765	1,30
4	62+460	10,502	18,209	7,387	720	37	378,5	683	0,0925	1,58
5	62+625	0,043	0,889	0,284	38	34	36	4	0,0141	1,21
6	62+892	0,125	1,712	0,605	45	34	39,5	11	0,0182	1,37
7	63+280	0,564	3,632	1,636	80	32	56	48	0,0293	1,36
8	63+575	0,036	1,261	0,357	60	40	50	20	0,0560	1,87
9	64+050	52,872	46,359	18,294	960	32	496	928	0,0507	1,80
10	64+275	0,589	3,273	1,321	125	32	78,5	93	0,0704	1,20
11	64+635	0,157	1,897	0,821	112	38	75	74	0,0901	1,35
12	64+925	0,230	2,657	1,029	105	28	66,5	77	0,0748	1,56
13	65+000	0,012	0,576	0,130	36	34	35	2	0,0153	1,48
14	65+900	0,915	4,169	1,639	141	25	83	116	0,0708	1,23
15	66+280	4,848	13,465	6,102	648	26	337	622	0,1019	1,73
16	66+713	0,361	2,805	1,179	75	23	49	52	0,0441	1,32
17	66+980	0,087	1,482	0,619	37	23	30	14	0,0226	1,42
18	67+200	0,0736	1,261	0,475	31	22	26,5	9	0,0189	1,31
19	67+445	0,0612	1,284	0,470	28	22	25	6	0,01277	1,46
20	67+600	0,050	2,337	1,126	23	19	21	4	0,0036	2,93
21	67+790	14,814	17,975	11,786	623	20	321,5	603	0,05116	1,32
22	68+000	0,016	0,860	0,375	22	19	20,5	3	0,008	1,92
23	68+220	0,906	5,820	2,661	449	22	235,5	427	0,1605	1,72
24	68+425	0,2406	2,463	1,045	115	21	68	94	0,0899	1,42
25	68+750	0,521	3,220	1,183	180	21	100,5	159	0,1344	1,26
26	68+800	0,111	1,648	0,672	104	21	62,5	83	0,1235	1,39
27	69+135	0,1323	1,688	0,687	100	21	60,5	79	0,11499	1,31
28	69+350	0,002	0,393	0,079	22	20	21	2	0,0253	2,48
29	69+500	0,400	2,093	1,022	22	19	20,5	3	0,0029	0,93
30	69+625	0,0144	0,508	0,117	20	19	19,5	1	0,0085	1,19
31	69+800	3,342	8,985	4,060	540	20	280	520	0,1281	1,39
32	69+850	0,0088	0,715	0,189	22	20	21	2	0,0106	2,15
33	69+975	0,0148	1,055	0,234	20	19	19,5	1	0,0043	2,45
34	70+100	0,559	1,072	0,346	85	21	53	64	0,1849	0,40
35	70+475	0,043	0,994	0,269	85	20	52,5	65	0,2416	1,35
36	70+810	1,5026	6,005	2,490	390	16	203	374	0,1502	1,38
37	71+100	0,253	3,322	1,588	165	17	91	148	0,0932	1,86
38	71+220	0,027	0,939	0,289	44	20	32	24	0,0830	1,61
39	71+380	0,1793	2,637	1,188	140	23	81,5	117	0,0985	1,76

40	71+625	1,678	7,160	3,180	404	18	211	386	0,1214	1,56
----	--------	-------	-------	-------	-----	----	-----	-----	--------	------

VI.1.4. CALCUL DE DÉBIT MAXIMAL DANS LES BASSINS (DÉBIT DE CRUE) :

- **Formule Rationnelle ($A < 20 \text{ km}^2$) :**

$$Q_a = \frac{C \times I \times A}{3,6}$$

- Q_a : Débit de crue de fréquence déterminée en m^3/s .
- C : Coefficient de ruissellement.
- I : Intensité de pluie en mm/h .
- A : Surface du bassin versant en Km^2 .

- **Formule de Mallet-Gauthier :**

$$Q_a = 2 \cdot k \cdot \log(1 + a \cdot P) \cdot \frac{S}{\sqrt{L}} \cdot \sqrt{1 + 4 \log T - \log S}$$

Q_a : Débit de crue de période de retour voulue (en m^3/s).

P : Précipitation moyenne interannuelle en m .

S : Superficie du bassin versant (Km^2).

T : Période de retour en années.

L : Longueur du talweg principal (Km).

a : Paramètre (facteur pluviométrique considéré moyennement) qui varie de 20 et 30. Il est pris généralement égal à **20** pour l'Algérie.

k : Paramètre (facteur pluviométrique considéré dans sa variabilité), compris entre 0.5 et 5, pour notre cas $k=1,5$.

VI.1.5. TEMPS DE CONCENTRATION :

Le calcul du temps de concentration a une grande influence sur l'évaluation des débits des crues, ce temps caractéristique d'un bassin versant dépend de l'étendue, de la forme et de la pente du bassin versant. Il est évalué à aide des formules usuelles acceptées par les autorités algériennes.

- ⇒ **Formule de Ventura : ($A < 5 \text{ km}^2$)**

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

T_c : Temps de concentration en heure.

S : Surface du bassin versant en km².

P : Pente moyenne du bassin versant en (m/m).

⇒ **Formule de Passini : (5 km² < A < 25 km²)**

$$tc = 0.108 \frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt{P}}$$

L : Longueur du cours d'eau principal en km.

S : Surface du bassin versant en km².

P : Pente moyenne du bassin versant en (m/m).

⇒ **Formule de GIANDOTTI : (A > 25 km²)**

$$tc = \frac{1,5L + 4\sqrt{S}}{0,8\sqrt{H}}$$

L : Longueur du cours d'eau principal en km.

S : Surface du bassin versant en km², et H = Hmoy – Hmin.

⇒ **Formule de TEMEZ :**

$$tc = 0,3 \left(\frac{L}{j^{0,25}} \right)^{0,76}$$

j: Pente moyenne du bassin versant en (m/m).

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

V.1.6. COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT :

C'est le rapport entre la hauteur d'eau ruisselée et la hauteur d'eau précipitée, il caractérise la capacité d'un bassin versant à ruisseler donc il dépend de : la nature de sol, la végétation et la pente de bassin versant.

Tableau N°V.07: Coefficient de ruissellement

Code	Nature de la couverture végétale	Terrains + sables Grossier			Ter argileux ou limoneux			Ter argileux		
		Moins de 5%	De 5 à 10%	De 10 à 30%	Moins de 5%	De 5 à 10%	De 10 à 30%	Moins de 5%	De 5 à 10%	De 10 à 30%
1	Bois	0,10	0,25	0,30	0,30	0,35	0,50	0,40	0,50	0,60
2	Pâturages	0,10	0,15	0,22	0,30	0,36	0,42	0,40	0,55	0,60
3	Culture	0,30	0,40	0,52	0,50	0,60	0,72	0,60	0,70	0,82
4	Zone urbain	0,40	0,50		0,55	0,65		0,65	0,80	

Hanbook of hydrology p 590

N.B : Pour une estimation précise de temps de concentration et de débit des bassins versants on a utilisé plusieurs formules de calcul, incluant « Ventura, Passini, Californien, Kirpich, Temez et Giandotti » pour le temps de concentration et les formule de « Turaza, Mac-Math, Burklier_Ziergler, Fuller II, Transition » pour le calcul de débit.

Suite à l'analyse des formules de calcul, le tableau retenu ci-dessous présent la meilleure estimation.

Tableau N°V.08: Les débits de crue retenus pour une période de 100 ans.

N° BV	PK	S Km ²	Cr	Tc (h)	I(t/Tc) (mm/h)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	
						Rationnelle	Mallet Gauthier
1	61+475	0,433	0,36	0,54	68,44	2,964	-
2	61+925	0,191	0,36	0,340	91,51	1,748	-
3	62+287	0,991	0,36	0,890	50,00	4,955	-
4	62+460	10,502	0,36	2,150	28,60	30,033	-
5	62+625	0,043	0,4	0,259	108,66	0,519	-
6	62+892	0,125	0,4	0,438	78,00	1,083	-
7	63+280	0,564	0,4	0,853	51,30	3,215	-
8	63+575	0,036	0,36	0,237	114,89	0,483	-
9	64+050	52,872	0,36	4,814	17,24	-	158,8
10	64+275	0,589	0,36	0,614	63,11	3,717	-
11	64+635	0,157	0,36	0,408	81,63	1,282	-
12	64+925	0,230	0,36	0,502	71,65	1,648	-
13	65+000	0,012	0,40	0,141	159,66	0,213	-
14	65+900	0,915	0,36	0,722	56,96	5,211	-
15	66+280	4,848	0,42	1,830	31,71	17,934	-
16	66+713	0,361	0,4	0,615	63,02	2,528	-
17	66+980	0,087	0,4	0,428	79,20	0,766	-
18	67+200	0,0736	0,4	0,362	88,02	0,720	-
19	67+445	0,0612	0,4	0,387	84,38	0,574	-
20	67+600	0,050	0,4	0,959	47,65	0,265	-
21	67+790	14,814	0,36	3,441	21,30	31,558	-
22	68+000	0,016	0,40	0,356	88,90	0,158	-
23	68+220	0,906	0,42	0,894	49,81	5,265	-
24	68+425	0,2406	0,36	0,490	72,71	1,749	-
25	68+750	0,521	0,42	0,499	71,89	4,370	-
26	68+800	0,111	0,42	0,330	93,30	1,208	-
27	69+135	0,1323	0,42	0,340	91,53	1,413	-
28	69+350	0,002	0,40	0,088	215,11	0,048	-
29	69+500	0,400	0,40	0,924	48,79	2,168	-
30	69+625	0,0144	0,40	0,145	156,51	0,250	-
31	69+800	3,342	0,42	1,286	39,61	15,442	-
32	69+850	0,0088	0,40	0,201	127,62	0,125	-
33	69+975	0,0148	0,40	0,280	103,37	0,170	-
34	70+100	0,559	0,42	0,185	134,56	8,776	-

35	70+475	0,043	0,42	0,145	156,73	0,786	-
36	70+810	1,5026	0,42	0,860	51,02	8,943	-
37	71+100	0,253	0,36	0,669	59,76	1,512	-
38	71+220	0,027	0,36	0,187	133,26	0,360	-
39	71+380	0,1793	0,36	0,531	69,13	1,239	-
40	71+625	1,678	0,42	1,079	44,23	8,660	-

V.2. ÉTUDE HYDRAULIQUE :

L'étude hydraulique réalisée est divisée dans les parties suivantes :

- Drainage Transversal, qui garantit à travers le dimensionnement des ouvrages hydrauliques, la continuité du ruissellement dans les lignes d'eau dont le trajet ait été interrompu par le tronçon,
- Drainage Longitudinal, qui a pour objectif de dimensionner les dispositifs (tranchées, fossés et collecteurs) qui permettent d'éloigner de la plateforme de la voie les eaux qui tombent sur elle et aussi ne pas permettre qu'elle soit atteinte par les eaux provenant de l'extérieur.

Remarque :

Avant l'étude de dimensionnement des ouvrages transversaux, il faut citer que notre projet d'étude c'est un projet de dédoublement et rectification de tracé donc il existe des ouvrages hydrauliques au niveau de la ligne existante (Voir **Chapitre II : Tableau N° II.01** les ouvrages existants au niveau de tronçon à étudier)

Après l'évaluation de l'état des infrastructures hydraulique existante et pour des raisons d'entretien et d'efficacité, nous avons constaté que le remplacement des infrastructures existantes par des nouvelles structures plus grandes, en particulier pour les buses et les dalots est nécessaire.

V.2.1. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES TRANSVERSAUX :

Dans le dimensionnement des ouvrages de drainage transversal, nous avons pris en compte les hypothèses suivantes :

- ⇒ Le drainage transversal a été dimensionné pour un débit de pointe de crue correspondant à une période de retour de $T = 100$ ans.
- ⇒ Le diamètre minimal des ouvrages hydrauliques devra être de 1500 mm, car nous considérons qu'il s'agit du diamètre minimal nécessaire pour le développement des travaux d'entretien à leur intérieur.

En utilisant la formule de **Manning-Strickler**, le débit maximal de la section pleine « saturation » de l'ouvrage est défini par :

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

Tel que :

Q_s : Débit de saturation de l'ouvrage.

K_s : Coefficient de rugosité, Pour le béton : $K_s = 70$.

S_m : Section mouillée.

P_m : Périmètre mouillé.

R_h : Rayon hydraulique.

I : Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m) « choisi en fonction de la topographie de terrain ».

Pour garantir le bon fonctionnement hydraulique des systèmes de drainage des ouvrages transversaux « buse et dalot », on doit assurer les **conditions d'auto-curage** suivant :

Condition 1 : La vitesse d'écoulement ne dépasse pas **4,00 m/s**.

Condition 2 : Pour $Q = 0,1 Q_{ps} \rightarrow$ la vitesse d'écoulement $V > 0,6$ m/s.

Condition 3 : Pour de $Q = 0,01 Q_{ps} \rightarrow$ la vitesse d'écoulement $V > 0,3$ m/s.

V.2.1.1. DIMENSIONNEMENT DES BUSES :

Le calcul hydraulique des ouvertures circulaires se fait en utilisant la formule de **Manning Strickler** à la saturation.

$Q_s = Q_{max}$ Avec : $S_m = \pi \cdot \frac{D^2}{4}$; $R_h = \frac{D}{4}$ d'où $D = 4^{5/8} \times \left(\frac{Q_{max}}{K_s \times \pi \times I^{1/2}} \right)^{3/8}$

Application numérique :

Prenons le BV N°7(PK 63+280) : $Q_{max} = 3,376$ m³/s avec $K_s = 70$ et $i = 0,01$ m/m.

$$D = 4^{5/8} \times \left(\frac{Q_{max}}{K_s \times \pi \times I^{1/2}} \right)^{3/8} = 4^{5/8} \times \left(\frac{3,376}{70 \times \pi \times 0,01^{1/2}} \right)^{3/8} = 1,178 \text{ m}$$

On choisit le diamètre commercial : $\varnothing = 1,5$ m.

$\Rightarrow$ **Vérification des conditions d'auto-curage :**

Calcul de débit plein section Q_{ps} pour la vérification des conditions d'auto-curage :

$$Q_{ps} = K_s \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} = K_s \times \pi \cdot \frac{D^2}{4} \times \frac{D}{4}^{2/3} \times I^{1/2}$$

$$Q_{ps} = 70 \times \pi \cdot \frac{1,5^2}{4} \times \left(\frac{1,5}{4} \right)^{2/3} \times 0,01^{1/2} = 6,4326 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$V_{ps} = \frac{Q_{ps}}{S_m} = \frac{6,4326}{1,7671} = 3,64 \text{ m/s}$$

$$R_q = \frac{Q_{max}}{Q_{ps}} = \frac{3,376}{6,4326} = 0,5248 \rightarrow R_v = 1,011 \rightarrow R_h = 0,515$$

$-V = Rv \times V_{ps} = 1,011 \times 3,64 = 3,68 \text{ m/s} < 4,00 \text{ m/s}$. $\rightarrow$ la condition 1 est vérifiée.

-pour $Rq=0,1 \rightarrow Rv=0,64 \rightarrow V = Rv \times V_{ps} = 0,64 \times 3,64 = 2,3296 \text{ m/s} > 0,6 \text{ m/s} \rightarrow$ la condition 2 est vérifiée.

-pour $Rq=0,01 \rightarrow Rv=0,32 \rightarrow V = Rv \times V_{ps} = 0,32 \times 3,64 = 1,1648 \text{ m/s} > 0,3 \text{ m/s} \rightarrow$ la condition 3 est vérifiée.

Donc les conditions d'auto-curage sont vérifiées.

Tableau N°V.09: vérification des ouvrages busée à projeter

N°BV	PK	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	D _{th} (mm)	Ø _{retenu} (mm)	V _{ps} (m/s)	Q _{ps} (m ³ /s)	R _q	V<4 (m/s)	V>0,6 (m/s)	V>0,3 (m/s)
1	61+475	2,964	1122	1500	3,64	6,4326	0,4608	3,56	2,33	1,16
2	61+925	1,748	920	1500	3,64	6,4326	0,2717	3,09	2,33	1,16
3	62+287	4,955	1360	2×1500	3,64	12,8652	0,3851	3,40	2,33	1,16
5	62+625	0,519	584	1500	3,64	6,4326	0,0807	2,18	2,33	1,16
6	62+892	1,083	769	1500	3,64	6,4326	0,1684	2,70	2,33	1,16
7	63+280	3,215	1157	1500	3,64	6,4326	0,4998	3,72	2,33	1,16
8	63+575	0,483	586	1500	3,64	6,4326	0,0751	2,14	2,33	1,16
11	64+635	1,495	868	1500	3,64	6,4326	0,2324	2,96	2,33	1,16
12	64+925	1,923	954	1500	3,64	6,4326	0,2989	3,17	2,33	1,16
13	65+000	0,213	418	1500	3,64	6,4326	0,0331	1,68	2,33	1,16
14	65+900	5,211	1386	2×1500	3,64	12,8652	0,4050	3,45	2,33	1,16
16	66+713	2,528	1057	1500	3,64	6,4326	0,3930	3,42	2,33	1,16
17	66+980	0,766	675	1500	3,64	6,4326	0,1191	2,45	2,33	1,16
18	67+200	0,720	660	1500	3,64	6,4326	0,1119	2,41	2,33	1,16
19	67+445	0,574	606	1500	3,64	6,4326	0,0892	2,25	2,33	1,16
20	67+600	0,265	454	1500	3,64	6,4326	0,0412	1,78	2,33	1,16
22	68+000	0,158	374	1500	3,64	6,4326	0,0246	1,53	2,33	1,16
23	68+220	5,265	1392	2×1500	3,64	12,8652	0,4092	3,46	2,33	1,16
24	68+425	1,749	921	1500	3,64	6,4326	0,2719	3,09	2,33	1,16
25	68+750	4,37	1298	1500	3,64	6,4326	0,6794	3,91	2,33	1,16
26	68+800	1,208	801	1500	3,64	6,4326	0,1878	2,79	2,33	1,16
27	69+135	1,413	850	1500	3,64	6,4326	0,2197	2,91	2,33	1,16
28	69+350	0,048	239	1500	3,64	6,4326	0,0075	1,06	2,33	1,16
29	69+500	2,168	998	1500	3,64	6,4326	0,3370	3,28	2,33	1,16
30	69+625	0,250	444	1500	3,64	6,4326	0,0389	1,76	2,33	1,16
32	69+850	0,125	342	1500	3,64	6,4326	0,0194	1,42	2,33	1,16
33	69+975	0,170	384	1500	3,64	6,4326	0,0264	1,56	2,33	1,16
35	70+475	0,786	682	1500	3,64	6,4326	0,1222	2,46	2,33	1,16
37	71+100	1,512	872	1500	3,64	6,4326	0,2351	2,93	2,33	1,16
38	71+220	0,360	509	1500	3,64	6,4326	0,0560	0,97	2,33	1,16
39	71+380	1,239	809	1500	3,64	6,4326	0,1926	2,81	2,33	1,16

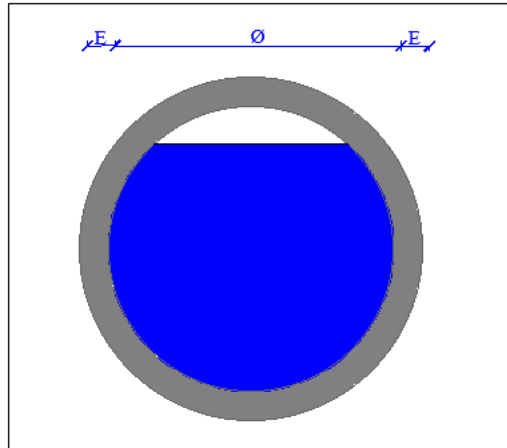


Figure N°V.06 : Coupe transversale d'une buse Ø1500

V.2.1.2 DIMENSIONNEMENT DES DALOTS :

Pour le dimensionnement d'un dalot rectangulaire, avec une hauteur de remplissage de

$$0.75 H : \quad Q_s = Q_{max}$$

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

$$= K_s \times (0,75 \cdot H \cdot B) \times \left(\frac{0,75 \cdot H \cdot B}{B + 1,5H} \right)^{2/3} \times I^{1/2}$$

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

$$H_{i+1} = \left[\frac{Q_{max}}{K_s \times I^{1/2}} \right]^{3/5} \times \frac{(B + 1,5H_i)^{2/5}}{0,75B} \quad \text{avec} \quad H_i = \left[\frac{Q_{max}}{K_s \times I^{1/2}} \right]^{3/5}$$

Application numérique :

Prenons le BV N°30(PK69+800) : $Q_{max}=15,442\text{m}^3/\text{s}$ avec $K_s=70$ et $i=0,01\text{m/m}$.

On prend $B=3\text{m}$, après le calcul itératif de l'équation précédente on obtient : $H = 1,365 \text{ m}$

On prend $H = 2.00 \text{ m}$

Donc les valeurs retenues pour la section de dalot sont : $B = 3.00 \text{ m}$; $H = 2.00 \text{ m}$.

$$\text{Alors : } P_m = 2(0,75 \cdot H) + B = 2 \times (0,75 \times 2) + 3 = 6\text{m}$$

$$S_m = (0,75 \cdot H) \times B = 0,75 \times 2 \times 3 = 4,5\text{m}^2.$$

$$R_h = S_m / P_m = 4,5 / 6 = 0,75$$

$$Q_s = K_s \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} = 70 \times 4,5 \times 0,75^{2/3} \times 0,01^{1/2} = 26\text{m}^3/\text{s}$$

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

$$H_c = \sqrt[3]{\frac{Qs}{g+B^2}} = \sqrt[3]{\frac{26}{9,81+3^2}} = 0,665 \text{ m} < 0,75 H = 1,5 \text{ m}$$

⇒ **Vérification de la vitesse :**

$$V_{\text{saturation}} = \frac{Q_{\text{max}}}{S_m} = \frac{15,442}{4,5} = 3,43 \text{ m/s} < 4,00 \text{ m/s.} \rightarrow \text{la condition de vitesse est vérifiée.}$$

⇒ **Vérification des conditions d'auto-curage :**

Afin d'assurer la durabilité de l'ouvrage, les vitesses d'écoulement sont évaluées pour un taux de remplissage de 1% et 10 % des débits pour tenir en compte les sucées liées à l'érosion des parois et à la stagnation des eaux.

$$Q_{ps} = 70 \times 6 \times 0,857^{2/3} \times 0,01^{1/2} = 37,894 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{ps} = \frac{Q}{S} = \frac{37,894}{6} = 6,316 \text{ m/s}$$

$$R_q = \frac{Q_{\text{max}}}{Q} = \frac{14,707}{37,894} = 0,388 \rightarrow R_v = 0,936 \rightarrow R_h = 0,432$$

$$-V = R_v \times V_{ps} = 0,936 \times 6,316 = 5,91 \text{ m/s} > 1 \text{ m/s}$$

-pour $R_q = 0,1 \rightarrow R_v = 0,64 \rightarrow V = R_v \times V_{ps} = 0,64 \times 6,316 = 4 \text{ m/s} > 0,6 \text{ m/s} \rightarrow$ la condition 2 est vérifiée.

-pour $R_q = 0,01 \rightarrow R_v = 0,32 \rightarrow V = R_v \times V_{ps} = 0,32 \times 6,316 = 2 \text{ m/s} > 0,3 \text{ m/s} \rightarrow$ la condition 3 est vérifiée.

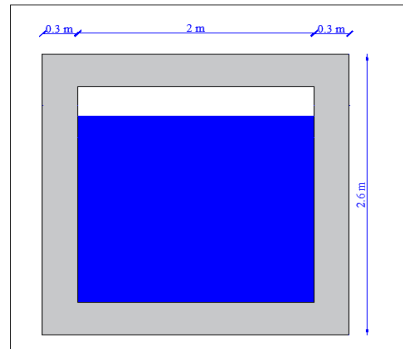
Donc les conditions d'auto-curage sont vérifiées.

Tableau N°V.10: Tableau récapitulatif des dimensions des dalots avec les vérifications des conditions d'auto-curage

N° BV	PK	Q ₁₀₀ m ³ /s	B x H Calculé	B x H Adopté	Q _{sat}	H _c < 0,75H	V _{sat} < 4m/s
4	62+460	30,033	3x1,693	(3x2) x2	52	0,665	3,34
15	66+280	17,934	3x1,521	3x2	26	0,665	3,9
21	67+790	31,558	3x1,754	(3x2) x2	52	0,665	3,50
31	69+800	15,442	3x1,365	3x2	26	0,665	3,43
34	70+100	8,776	2x1,328	2x2	14,94	0,725	2,93
36	70+810	8,943	2x1,347	2x2	14,94	0,725	2,98
40	71+625	8,660	2x1,315	2x2	14,94	0,725	2,89

Tableau N°V.11: Tableau récapitulatif des dimensions des dalots avec les vérifications des conditions d'auto-curage (suite).

N° BV	Qps (m ³ /s)	Vps (m/s)	Rq	Rv	V>0,6 (m/s)	V>0,3 (m/s)
4	75,78	6,32	0,396	0,942	4	2
15	37,89	6,32	0,473	0,985	4	2
21	75,78	6,32	0,416	0,954	4	2
31	37,89	6,32	0,407	0,949	4	2
34	21,37	5,34	0,411	0,952	3,4	1,7
36	21,37	5,34	0,419	0,956	3,4	1,7
40	21,37	5,34	0,405	0,947	3,4	1,7

**Figure N°V.07 :** Coupe transversale d'un dalot 2m×2m.**Tableau N°V.12 :** Liste des ouvrages projetés

N° BV	PK	Type d'ouvrage
1	61+475	Buse 1500
2	61+925	Buse 1500
3	62+287	2 Buse 1500
4	62+460	2 Dalot (3x2)
5	62+625	Buse 1500
6	62+892	Buse 1500
7	63+280	Buse 1500
8	63+575	Buse 1500
9	64+050	Pont rail L=35
10	64+275	Pont rail L=20
11	64+635	Buse 1500
12	64+925	Buse 1500
13	65+000	Buse 1500
14	65+900	Buse 1500
15	66+280	Dalot (3x2)
16	66+713	Buse 1500
17	66+980	Buse 1500
18	67+200	Buse 1500
19	67+445	Buse 1500
20	67+600	Buse 1500

21	67+790	2 Dalot (3x2)
22	68+000	Buse 1500
23	68+220	Buse 1500
24	68+425	Buse 1500
25	68+750	Buse 1500
26	68+800	Buse 1500
27	69+135	Buse 1500
28	69+350	Buse 1500
29	69+500	Buse 1500
30	69+625	Buse 1500
31	69+800	Dalot (3x2)
32	69+850	Buse 1500
33	69+975	Buse 1500
34	70+100	Buse 1500
35	70+475	Buse 1500
36	70+810	Dalot (2x2)
37	71+100	Buse 1500
38	71+220	Buse 1500
39	71+380	Buse 1500
40	71+625	Dalot (2x2)

V.2.2 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES LONGITUDINAUX :

Les eaux provenant des talus et des pentes adjacentes sont recueillies et acheminées vers la plateforme de la voie par le drainage longitudinal. Les fossés à un niveau donné assurent ce drainage en orientant les eaux vers les installations hydrauliques ou directement vers les lignes d'eau déjà existants.

Pour évaluer les surfaces à drainer, une étude a été réalisée, incluant des profils en travers et des caractéristiques du terrain naturel dans lequel le projet est implanté.

Dans le dimensionnement des ouvrages de drainage longitudinal, nous avons pris en compte les hypothèses suivantes :

- ⇒ Le coefficient de rugosité Strickler $K_s = 75$ (qui correspond à des fossés solidifiés, avec un revêtement en béton grossier).
- ⇒ La déclivité longitudinale des fossés en zone de déblai est identique à celle du profil en long de la voie. Il présente un profil trapézoïdal et une pente de 1/1.
- ⇒ La valeur de Q_a représente les trois débits à évacuer, à savoir la plate-forme et les talus.

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

- ⇒ Dans le cas le plus défavorable, les débits sont mesurés lorsque le remblai ou le déblai s'étend sur une longueur importante et avec une hauteur importante.
- ⇒ Chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle : $Q_a = \frac{C \times I \times A}{3.6}$.

NB : Le système de drainage longitudinal a été dimensionné pour une période de retour de 10 ans. « Paramètre de Montana ($a = 420,752$; $b = -0,63$) ».

On a effectué le calcul pour les cas défavorables suivant :

Cas de remblai : du PK 70+580 au PK 71+325 avec $L=745$ m et $H_{\max}=6.9$ m

- Calcule des surfaces :

Pour la **plate-forme** : $A = 7.2 \times L$

$$A = 7.2 \times 745 = 5364 \text{ m}^2 = \mathbf{0.005364 \text{ km}^2}$$

Pour les **Talus** : $A = 34620.2943 \text{ m}^2 = \mathbf{0.0346203 \text{ km}^2}$

- Le temps de concentration T_c (h) :

Formule de Ventura : $tc = 0.127 \sqrt{\frac{S}{P}}$ (On a une Superficie inférieure à 5 Km^2)

Pour la **plate-forme** : $T_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{0.005364}{0.05}} = 0.0416 \text{ h}$

Pour les **Talus** : $T_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{0.0346203}{1/2}} = 0.0334 \text{ h}$

- Calcul de l'intensité de pluie I (mm/h) : $I = a tc^{-b}$

Pour la **plate-forme** : $I = 420.752 \times (0.0416 \times 60)^{-0.63} = 236.46 \text{ mm/h}$

Pour les **Talus** : $I = 420.752 \times (0.0334 \times 60)^{-0.63} = 271.54 \text{ mm/h}$

Calcul de débit Q par la formule rationnel :

Pour la **plate-forme** : $Q_{PL} = \frac{0.7 \times 236.46 \times 0.005364}{3.6} = 0.247 \text{ m}^3/\text{s}$

Pour les **Talus** : $Q_{Talus} = \frac{0.5 \times 271.54 \times 0.0346203}{3.6} = 1.484 \text{ m}^3/\text{s}$

$$Q_{\text{Total}} = Q_{PL} + Q_{Talus} = \mathbf{1.73 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Cas de déblai : du PK 62+025 au PK 63+316 avec $L = 291$ m et $H_{\max} = 5.8$ m

- Calcule des surfaces :

Pour la **plate-forme** : $A = 7.2 \times L$

$$A = 7.2 \times 291 = 2095.2 \text{ m}^2 = \mathbf{0.0020952 \text{ km}^2}$$

Pour les **Talus** : $A = 10819.8577 \text{ m}^2 = \mathbf{0.0108199 \text{ km}^2}$

- Le temps de concentration T_c (h) :

Formule de Ventura : $tc = 0.127 \sqrt{\frac{S}{P}}$ (On a une Superficie inférieure à 5 Km^2)

Pour la **plate-forme** : $T_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{0.0020952}{0.05}} = 0.0259 \text{ h}$

Pour les **Talus** : $T_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{0.0108199}{1/2}} = 0.0187 \text{ h}$

○ Calcul de l'intensité de pluie I (mm/h) : $I = a t c^{-b}$

Pour la **plate-forme** : $I = 420.752 \times (0.0259 \times 60)^{-0.63} = 318.72 \text{ mm/h}$

Pour les **Talus** : $I = 420.752 \times (0.0187 \times 60)^{-0.63} = 391.32 \text{ mm/h}$

Calcul de débit Q par la formule rationnel :

Pour la **plate-forme** : $Q_{PL} = \frac{0.7 \times 318.72 \times 0.0020952}{3.6} = 0.134 \text{ m}^3/\text{s}$

Pour les **Talus** : $Q_{Talus} = \frac{0.5 \times 391.32 \times 0.0108199}{3.6} = 0.588 \text{ m}^3/\text{s}$

$$Q_{\text{Total}} = Q_{PL} + Q_{Talus} = 0.722 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tableau N°VI.13 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai

		En cas de remblais : L=745m et H_{max}=6.9m	En cas de déblais : L=291m et H_{max}=5.8m
Plateforme	A (km ²)	0.005364	0.0020952
	Cr	0.7	0.7
	P (m/m)	0.05	0.05
	Tc(h)	0.0416	0.0259
	I (mm/h)	236.46	318.72
	Q _{PL} (m ³ /s)	0.247	0.134
Talus	A (km ²)	0.0346203	0.0108199
	Cr	0.5	0.5
	P (m/m)	1/2	1/2
	Tc(h)	0.0334	0.0187
	I (mm/h)	271.54	391.32
	Q _{Talus} (m ³ /s)	1.484	0.588
Total	Q _{Total}	1.73	0.722

Pour le dimensionnement des fossés, on utilise la formule de **Manning-Strickler** :

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

Avec : $S_m = (b + z.h)$; $P_m = b + 2h \cdot \sqrt{1 + z^2}$ et $R_h = S_m / P_m$.

Tableau N°V.14: Dimensionnement du fossé proposé

B (m)	H (m)	Z (m)	S _m (m ²)	P _m (m)	R _h	I (m/m)	Q _s (m ³ /s)
0,7	0,7	1,5	1,225	3,224	0,379	0,002	2,15

En résumé, les différents types de fossés utilisés pour notre projet sont de forme trapézoïdale $B=0.7$; $H=0.7$ et Pente $=3/2$.

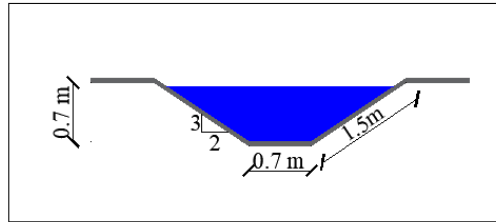


Figure N°V.08 : Coupe transversale d'un Fossé de forme trapézoïdal.

CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons collecté des données, analysé les précipitations, les caractéristiques des bassins versant et nous avons aussi pu évaluer les débit critique au niveau chaque cours d'eau associés.

Enfin, Cette étude hydrologique et hydraulique fournit des informations essentielles pour la gestion durable et efficace de l'eau dans la région d'étude.



CHAPITRE VI : ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE



CHAPITRES VI : ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

INTRODUCTION :

Les études géotechniques et géologiques sont des investigations menées sur le sol et les roches pour déterminer leurs caractéristiques mécaniques et physiques afin d'évaluer la capacité portant de sol et choisir la profondeur et le type de fondation ainsi de déterminer le problème potentiel de terrain.

Les études géologique et géotechnique sont essentielles aussi à la planification et à la réalisation de tout projet de construction, car elles permettent d'évaluer la stabilité du terrain et de garantir la sécurité et la durabilité des ouvrages.

VI. 1. ÉTUDE GÉOLOGIQUE :

Il est indéniable que l'étude géologique est essentielle et importante, et elle doit être effectuée très tôt avant toute étude afin de contribuer à la sélection du tracé, à la détection de ses points critiques et à une bonne connaissance de la nature du terrain qui servira de base pour le projet, dans le but de prévenir ou tout au moins réduire les éventuels problèmes qui pourraient survenir pendant la réalisation ou après.

VI.1.1. APERÇU GÉOLOGIQUE RÉGIONALE :

Cet espace d'étude constitue un couloir de direction approximative Sud-ouest/Nord-est, de près de 90 kilomètres de long, entre les villes de Beni Mansour (S-O) et de Bejaia (N-E), dans la partie centre-orientale du Nord de l'Algérie, dans une zone de confluence de la chaîne de l'Atlas Tellien et du littoral méditerranéen, constituée de terrains mésozoïques et cénozoïques, avec quelques zones de roches ignées très localisées.

VI.1.2. APERÇU GÉOLOGIQUE LOCAL :

Le tracé travers quatre formation géologique « Qt1, Mi, Qc, Qt2 » en fonction de point kilométrique, ces unité géologiques sont de l'âge Cénozoïque et de période Quaternaire.

Le tableau ci-dessous résume les informations géologiques de tronçon d'étude :

Tableau N°VI.01 : La géologie traversée par le tronçon de PK 61+000 au PK 71+900.

Localisation (Pk du projet)	Extension (m)	Unité géologique	Désignation / description
61+000-64+150	3150	Qt1	Graviers arrondis de nature calcaire, de diverses tailles et avec une matrice sable-boueuse ou limon-argileuse Terrasses moyennes
63+700-63+850	150	Mi	Marnes, calcaires, argile et conglomérats. Miocène inférieur.

64+150-67+900	3750	Qc	Dépôts de versant. Colluvial et glakis, cailloutis et limons
67+900-70+550	2650	Qt2	Graviers arrondis de nature calcaire, de diverses tailles et avec une matrice sable-boueuse ou limon-argileuse Terrasses moyennes. Terrasses élevées.
70+550-71+900	1350	Qt1	Graviers arrondis de nature calcaire, de diverses tailles et avec une matrice sable-boueuse ou limon-argileuse Terrasses moyennes

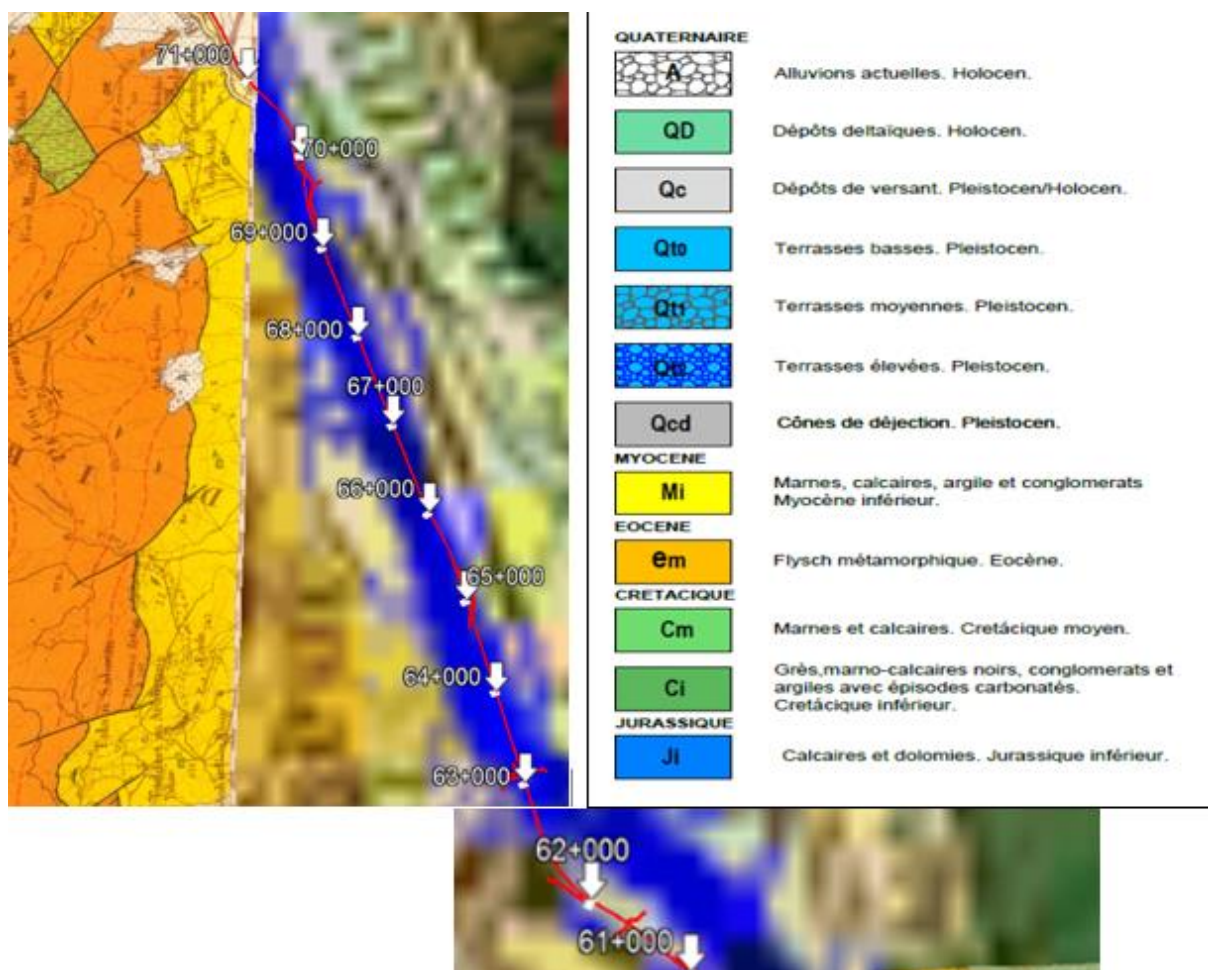


Figure N°VI.01 : formation géologique sur le tronçon d'étude

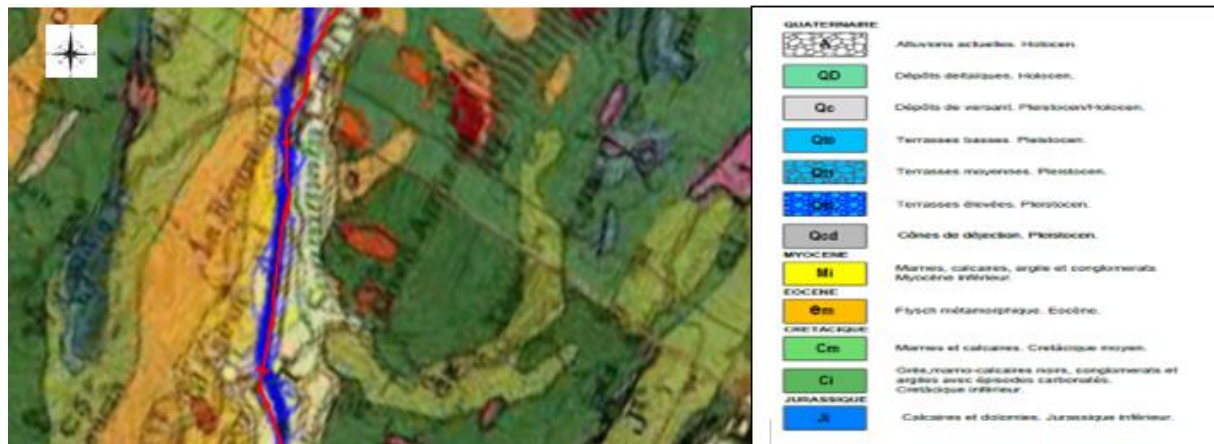


Figure N°VI.02 : Le tronçon d'étude sur la Carte Géologique à l'échelle 1/500.000

VI.1.3. RISQUES GÉOLOGIQUES :

- **Risque sismique modéré sur le tronçon d'étude :** Les accélérations sismiques de base sont comprises entre 0.8 m/s^2 (minimum) et 2.4 m/s^2 (maximum), avec une valeur moyenne de 1.6 m/s^2 .
- **Risque d'inondations et de flux de boues :** La situation géographique du couloir, dans la vallée de l'Oued Soummam, le rend susceptible d'être affecté par des inondations, des débordements et la formation de flux de boue en provenance des reliefs qui bordent la vallée au sud et au nord.
- **Risque de glissements de terrain :** la présence de terrains marneux, potentiellement altérables, sur des pentes fortes en suspens, peut entraîner des glissements de terrain.
- **Risque de phénomènes karstiques :** Les roches calcaires et dolomitiques peuvent subir des karstifications, pouvant entraîner la présence d'effondrements ou de tassements, tant sur le tracé général que dans les fondations des structures.

VI.2. ÉTUDE GÉOTECHNIQUE :

La géotechnique est une science empirique qui se fait en partie sur les données recueillies lors des essais en laboratoire et sur terrain. L'étude géotechnique du site s'est basée essentiellement sur la description géomorphologique et lithologique, l'interprétation des mouvements gravitaires et l'estimation des tassements, le recensement des gîtes à matériaux et en fin le dimensionnement de l'assise.

VI.2.1. PROGRAMME D'INVESTIGATION GÉOTECHNIQUE :

Il est nécessaire que le programme d'investigations géotechniques inclue :

- Un plan prévisionnel d'implantation des sondages et des essais, qui peut éventuellement être adapté sur place. Il est possible d'adapter la profondeur prévisionnelle des investigations en fonction des terrains rencontrés.
- Les différents types de sondages, de tests en cours et de matériel à utiliser.
- Les caractéristiques du système de mesure piézométrique et hydrogéologique.
- Les échantillons prélevés et la description des essais en laboratoire prévus.

- L'application des normes, des lois et des règlements.

Les programmes d'essais peuvent être ajoutés à un programme d'investigations sur site.

En laboratoire, on effectue les tests d'identification, les tests géomécaniques et géochimiques pour évaluer l'agressivité des milieux envers les ouvrages.

L'objectif du programme d'investigation géotechnique proposé pour le projet actuel est d'examiner le tracé prévu de la ligne ferroviaire Beni Mansour - Bejaia.

Le programme en question est constitué de deux parties distinctes : partie tracé et partie d'ouvrage.

VI.2.1.1.LOT TRACÉ :

Il est primordial de procéder à une analyse approfondie du sol et de ses caractéristiques géotechniques et morphologiques pour chaque déblai et remblai afin de choisir une structure d'assise adéquate.

L'objectif de cette étape est d'évaluer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques du sol actuel pour effectuer les tâches suivantes :

- Évaluer la capacité de support du sol afin de dimensionner la couche d'assise.
- Évaluer la possibilité d'utiliser le sol en tant que remblai ou en tant que couche de forme.

- **Puit de reconnaissance :**

Un puit de reconnaissance est une technique de reconnaissance géotechnique qui implique des forages dans le sol afin de prélever des échantillons et évaluer les caractéristiques du sol. Les puits de reconnaissance peuvent être effectués avec diverses machines, en fonction de la profondeur et de la nature du sol.

Dans le cas de notre projet on a effectué **dix puits** de reconnaissance à l'aide d'une pelle mécanique et leur profondeur a atteint environ **3.0 m**, en moyenne

- **Les essais au laboratoire :**

Sont des prélèvements de terrain d'échantillons de sol ou de roche, puis des tests au laboratoire dans des conditions contrôlées. Les tests permettent d'obtenir des données sur les caractéristiques physiques et mécaniques des sols et des roches.

Les essais prévus pour les échantillons prélevés sont les suivants :

Essais physiques :

- Analyse granulométrique ((NF P 94 056,057)
- Mesure de la teneur en eau naturelle (NF P 94 050)
- Mesure de densités (NF P 94 054)
- Détermination des limites d'Atterberg (WL, WP et IP) (NF P 94 051)

Essais mécaniques :

- Essai de cisaillement rectiligne (UU) (NF P 94 071),
- Essai de compression à l'œdomètre (XP P 94 090-1),
- Essai de gonflement libre à l'œdomètre (XP P 94 091)).
- Essai Proctor

Analyses chimiques :

- Carbonates (CaCO_3) et Sulfates (SO_4^{2-})
- Teneur en matière organique MO (NF P 94 055)

Tableau N°VI.02 : Programme d'investigation de Lot tracé (puits de reconnaissance)

	Pk	Type d'ouvrage	H (m)	Essai in situ	Profondeur	Essai au laboratoire
PR01	61+180	Déblai	0.6	1 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche.	3m	- Analyse granulométrique - Mesure de la teneur en eau naturelle - Mesure de densités - limites d'Atterberg - cisaillement rectiligne (UU) - compression à l'œdomètre - gonflement libre à l'œdomètre - Proctor - Analyse chimique
PR02	62+140		0.7		3m	
PR06	67+155		0.2		3m	
PR08	69+160		0.3		3m	
PR03	63+160	Remblai	3.6		3m	
PR04	63+270		4.0		3m	
PR05	66+155		1.7		3m	
PR07	68+160		0.4		3m	
PR09	70+155		0.3		3m	
PR10	71+155		5.5		3m	

Tableau N°VI.03 : Tableau Programme d'investigation de Lot tracé (sondage carotté)

	PK	Type d'ouvrage	H _{remblai} m	Essai in situ	Profondeur	Essai au laboratoire
SC01	61+650	Déblai	0.6	Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intacts	15m	- Analyse granulométrique - Mesure de la teneur en eau naturelle - Mesure de densités - limites d'Atterberg - cisaillement rectiligne (UU) - compression à l'œdomètre - gonflement libre à l'œdomètre - Proctor - Analyse chimique
SC03	64+110		0.1		15,5m	
SC04	64+910		0.8		20m	
SC05	67+880		0.3		35m	
SC02	63+080	Remblai	2.1		15m	
SC06	69+600		0.2		15m	
SC07	71+800		0.7		15m	

Tableau N°VI.04 : Programme d'investigation de Lot tracé (pénétration dynamique)

	Pk	Type d'ouvrage	H (m)	Essai in situ	La profondeur
PD01	61+180	Déblai	0.6	Essai de pénétration dynamique BORRO	8m
PD02	62+140		0.7		8m
PD06	67+155		0.2		8m
PD08	69+160		0.3		8m
PD03	63+160	Remblai	3.6		6m
PD04	63+270		4.0		5m
PD05	66+155		1.7		1.4m
PD07	68+160		0.4		8m
PD09	70+155		0.3		8m
PD10	71+155		5.5		3.8m

Tableau N°VI.05 : Coupes lithologiques des puits de reconnaissances

	PK	Profondeur(m)	La lithologie
PR01	61+180	0.00 - 1.00	Terre végétale
		1.00 - 3.00	Limons argileux avec présence de blocs et de racines
PR02	62+140	0.00 - 1.00	Terre végétale
		1.00 - 3.00	Limons argileux avec présence de racines d'arbres
PR03	63+160	0.00 - 1.00	Terre végétale
		1.00-3.00	Argiles limoneuses brune légèrement graveleuse et légèrement compactes avec présence de niveaux à coquillages et à cailloux
PR04	63+270	0.00 - 1.20	Terre végétale
		1.20 - 3.00	Argiles limoneuses brune
PR05	66+155	0.00 - 1.50	Terre végétale
		1.50 - 3.00	Limons argileux légèrement sableux avec présence de racines d'arbres
PR06	67+155	0.00 - 1.60	Terre végétale
		1.60 - 3.00	Argiles limoneuses grises riche en débris végétaux
PR07	68+160	0.00 - 1.00	Terre végétale
		1.00 - 3.00	Argiles limoneuses plastiques grises avec débris de coquillages
PR08	69+160	0.00 - 1.20	Terre végétale
		1.20 - 3.00	Argiles limoneuses grises avec débris de végétaux et niveaux sableux brunâtres
PR09	70+155	0.00 - 0.80	Terre végétale
		0.80 - 3.00	Argiles grises avec débris de végétaux et de coquilles
PR10	71+155	0.00 - 1.00	Terre végétale
		1.00 - 3.00	Argiles limoneuses grises avec débris de végétaux et niveaux sableux

VI.2.1.2. LOT OUVRAGES

Les essais prévus pour les échantillons prélevés de Lot ouvrages sont les suivants :

Essais In situ :

- Essai au pénétromètre dynamique type Barro

Essais de laboratoire :**Essais d'identification physiques :**

- Analyse granulométrique (NF P 94 056,057),
- Mesure de la teneur en eau naturelle ((NF P 94 050),
- Mesure de densités (NF P 94 054),
- Détermination des limites d'Atterberg (WL, WP et IP) (NF P 94 051).

Analyses chimiques :

- Analyses chimiques sommaires : insolubles, carbonates (CaCO_3), sulfates (SO_4^{2-}),
- Teneur en matière organique MO (NF P 94 055).

Essais mécaniques :

- Essai Proctor, Essai CBR,
- Essai de cisaillement rectiligne (NF P 94 071),
- Essai de compression à l'œdomètre (XP P 94 090-1),
- Essai de gonflement libre à l'œdomètre (XP P 94 091).

Tableau N°VI.06 : Programme d'investigation de Lot ouvrage.

Localisation	Type d'ouvrage	Essais in situ	Profondeur	Essais de laboratoire
61+639	Passage supérieure PISTE N°01	SC01	15m	-Analyse granulométrique -Teneur en eau. -Limite d'Atterberg. -Essai Proctor. - Essai CBR. -Analyse chimique. -Essais œdométriques. -Essais cisaillement rectiligne
63+041	Passage supérieure CW21 N°02	SC02	15m	
64+080	Pont rail Oued El Karachi1	SC03	15m	
		PR04	03m	
		PD04	Refus	
64+300	Pont rail Oued El karachi2	SC04	15m	
		PR04	03m	
		PD04	Refus	
64+875	Passage supérieure RN12 N°03	SC04	15m	
69+825	Passage supérieure RN12 N°04	SC05	15m	

VI.2.1.3 RÉSULTATS DES ESSAIS AU LABO RATOIRE :

Tableau N°VI.07 : Résumé des résultats des essais de laboratoire réalisés sur les échantillons des sondages carotté

SC N°	Prof	Wn %	Limite d'Atterberg			Densité		Granulométrie		Caillement		RC Bar	Analyse chimique			Classification	
			WL	WP	IP	Y _{app} (t/m ³)	Y _d (t/m ³)	%<2mm	%<80um	C' kpa	Φ' (°)		SO ₄ ⁻	CO ₃ Ca	MO	GTR	UIC 719R
01	2,00-2,30	15,7	42,3	21,5	20,8	2,10	1,82	100	83	54	30,3	-	1,18	-	-	A2h	QS1
	9,00-9,40	15,6	39,2	18,4	20,8	2,14	-	100	81	88	26,3	-	1,14	-	-		
02	3,15-3,50	12,1	32,8	19,4	13,4	2,10	1,87	100	78	-	-	2,30	2,19	-	-	A2	QS1
	6,10-6,50	17,4	41,3	19,7	21,6	2,06	-	100	92	-	-	-	-	-	-		
	13,00-13,50	21,6	41,2	21,4	19,8	2,06	-	100	88	-	-	2,50	-	-	-		
03	2,60-2,75	14	26,8	12	14,8	2,06	1,75	92	45	64	35,3	-	1,97	-	4,63	A2th	QS1
	3,00-3,45	-	29,1	14,6	14,5	-	-	92	57	-	-	-	-	-	-		
	12,00-12,45	-	39,6	17,7	21,9	-	-	100	94	-	-	-	-	-	-		
	13,70-14,00	20,4	46,5	19,4	27,1	2,11	-	100	99	-	-	3,50	1,14	13,22	-		
04	4,45-4,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A3	QS0
	12,50-12,95	-	46,4	18,6	27,8	-	-	100	98	-	-	-	-	-	-		
	16,00-16,50	18,1	38,8	17	21,8	2,14	-	100	100	-	-	6,10	0,89	-	-		
05	10,20-10,50	27,8	40,4	17,8	22,6	1,96	1,53	99	95	-	-	0,8	1,88	-	-	A2th	QS1
	32,10-32,60	21,5	29,1	16	13,1	2,03	-	99	82	-	-	1	-	-	-		
06	3,45-4,00	21	27,9	14	13,9	1,94	-	100	85	-	-	-	2,81	-	-	A2th	QS1
	10,50-11,00	21,9	32,6	17	15,6	1,97	-	100	97	-	-	1,20	-	-	-		
07	3,00-3,45	-	44,4	17,3	27	-	-	100	94	-	-	-	-	-	-	A3	QS0
	6,00-7,00	11,7	44,6	16,6	28,1	2,01	1,80	100	90	48	28,3	-	0,47	-	-		
	12,00-12,45	-	40,7	15	25,7	-	-	98	90	-	-	-	-	-	-		

Tableau N°VI.08 : Résumé des résultats des essais de laboratoire réalisés sur les échantillons des Puits de reconnaissance.

Puit	Prof (m)	Granulométrie			Limite d'Atterberg			Proctor modifié		CBR _{95%}	Classification	
		D _{max}	%<2mm	%<80um	W _L	W _P	I _P	W _{OPM} %	ρ _{OPM} (t/m ³)		GTR	UIC719R
PR01	3	<50mm	99	77	36,2	17,8	18,4	12	1,93	3,5	A2	QS1
PR02	3	<50mm	-	-	-	-	-	-	1,86	2,2	A3	QS0
PR03	3	<50mm	100	80	22	-	-	12,8	1,99	2,1	A1h	QS1
PR04	3	<50mm	-	-	-	-	-	-	1,94	-	A3th	QS0
PR05	3	<50mm	100	98	30,3	20,3	10	14	1,92	3,5	A1th	QS1
PR06	3	<50mm	26	8	28,1	13,7	14,4	5,2	2,22	6,2	A2th	QS1
PR07	3	<50mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PR08	3	<50mm	-	-	-	-	-	9,4	1,92	2,5	A2th	QS1
PR09	3	<50mm	100	99	30,2	15,1	15,1	12,1	1,91	7,7	A2th	QS1
PR10	3	<50mm	-	-	-	-	-	12,3	1,90	6,9	A2th	QS1

Tableau N°VI.09 : Résumé des résultats des essais pénétromètre dynamique

Désignation	PK	Prof max	Qd (Bar)
PD-01	61+180	8,0	75
PD-02	62+140	8,0	45
PD-03	63+160	6,0	90
PD-04	63+270	5,0	50
PD-05	66+155	1,4	150
PD-06	67+155	8,0	60
PD-07	68+160	8,0	90
PD-08	69+160	8,0	120
PD-09	70+155	8,0	35
PD-10	71+155	3,8	50

○ OBSERVATIONS ET INTERPRÉTATIONS :

Selon les résultats observés dans les tableaux précédent :

- ⇒ Une distribution granulométrique principalement **fine**, on observe que la fraction fine a un comportement principalement plastique avec les valeurs de **WL** et **IP** relativement **élevées** ce qui implique un nombre élevé d'échantillons à être classifiés en tant que **A2** selon la classification **GTR LCPC/SETRA**. « **Sol argilo-limoneuses, avec présence de la fraction sable** »,
- ⇒ Dans la section du tracé entre les PK 63 + 000 et PK 71+900, où la proximité de l'Oued Soummam est un facteur déterminant. On a un état hydrique plus élevé (**th**),
- ⇒ Selon le sol plus ou moins fins, la masse volumique sèche maximale (ρ_{dmax}) des échantillons du sol testé, varie entre les 1.86 et 2.22 t/m³,
- ⇒ Les valeurs de cohésion (**C**) et angle de frottement (**ϕ'**) se sont révélées cohérentes avec la nature des terrains principalement cohésifs, mais avec des angles relativement élevés, cependant ajustés au type de sol en question, avec des valeurs de cohésion à varier entre les 48kPa et les 88kPa, et angle de frottement entre les 26.3° et 35.3°,
- ⇒ Les sols investigués au long du tracé de la ligne ferroviaire sont des sols majoritairement de fins à très fins et plastique, par conséquent, avec faible capacité de résistance tel qu'on a confirmé par les essais **CBR**.
- ⇒ Selon la classification **UIC**, on enregistre une claire dominance des sols de moyenne à faible qualité (**QS1**), secondés par les sols de très faible qualité (**QS0**), en conjugaison totalisant 100% des échantillons de sols testés. Tel que mentionné déjà pour les autres classifications, ce fait est dû à la présence significative de **sols argilo-limoneux, parfois légèrement sablonneux**.

○ UNITÉS GÉOTECHNIQUES :

En se basant sur la nature des sols rencontrés et les essais de laboratoire, les formations traversées par le tracé dans le tronçon étudié sont :

Les **argiles** grises et brunes parfois limoneuses, graveleuses et caillouteuses par endroits. Cette formation est rencontrée au niveau de PK61+000 au PK71+900.

○ CONTRAINTES GÉOTECHNIQUES :

Zone inondable : dans la section entre le PK 66+000 à 70+000, il y a des records d'inondations, donc il est recommandé de passer avec un profil en remblais dont la hauteur est supérieure à NPHE + 0.5m, Ces remblais doivent être protégés par des enrochements latéraux avec dimensions 63-200mm, avec l'ajout d'un dispositif anti-contaminant (géotextile avec fonctions de séparation et filtre) entre le corps du remblai et les enrochements.

Qualité de sol impropre QS0 : pour les zones classées QS0 il est recommandé de point de vue géotechnique, le renforcement de la plateforme par une substitution de purge.

VI.2.4. EMPRUNT ET CARRIERE :

VI.2.4. 1. EMPRUNT

Pour notre tronçon d'étude, il existe seulement (7) emprunts dans une distance inférieure à 7 km tout le long du tracé.

Les emprunts P25, P30 formation géologique **Qt2**, et les emprunts P26, P27, P28, P29, P31 sont de formation géologique **Qc**.

NB : A partir des études Géologiques et Géotechniques, la plus partie de l'excavation peut être **utilisable** comme Noyau de Remblai. Cependant les besoins de ce matériel sont supérieurs à la quantité disponible et pourtant il faudra ramener des emprunts la différence de matériau.

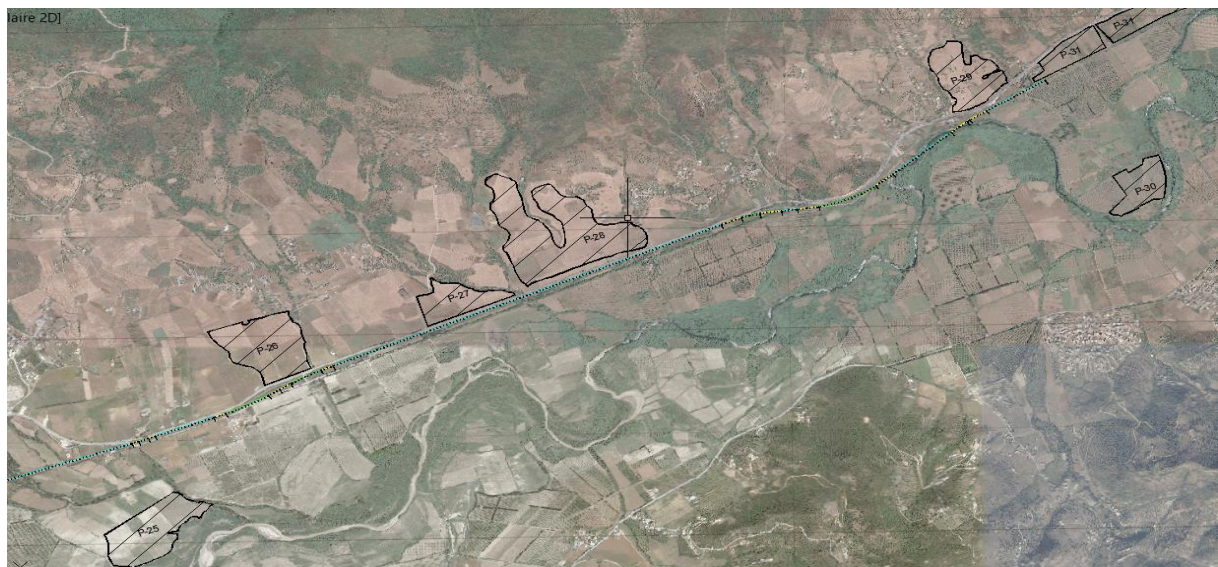


Figure N°VI.03 : Position des emprunts le long de tronçon.

VI.2.4.2. CARRIERE :

Pour la disponibilité de matériaux : provenant de la fragmentation de roches des zones aux alentours du couloir, et le gisement rocheux (gravière) qui est localisé en dehors de notre de tronçon.

CONCLUSION :

En conclusion, notre étude géologique et géotechnique permis d'identifier les caractéristiques de sol et de mieux comprendre leur comportement, ces informations et connaissances sont essentielles dans la conception et la construction de notre ligne ferroviaire (cela nous apparaît clairement dans les informations de l'utilisation de matériaux et la classification de sol de PST).



CHAPITRE VII : ASSISE FERROVIAIRE



CHAPITRES VII : ASSISE FERROVIAIRE.

INTRODUCTION :

L'assise ferroviaire représente la base sur laquelle repose l'infrastructure ferroviaire, c'est un élément principal dans le bon fonctionnement de la voie.

Dans ce chapitre, nous explorerons en détail les différents aspects de l'assise ferroviaire, notamment sa conception, ses couches, et la méthode de son dimensionnement.

VII.1.LES COUCHES D'ASSISE FERROVIAIRE :

Les couches d'assise ferroviaire sont : la couche de ballast qui la partie supérieure de l'assise, la sous couche qui se trouve sous le ballast et la couche de forme (si rapportée), ces couches travaillent ensemble comme un seul bloc pour résister aux contraintes induit par le trafic ferroviaire.

La définition de la nature et les épaisseurs de ces couches dépend fondamentalement des aspects suivants :

- Type d'exploitation ferroviaire, notamment le type de compositions, leur tonnage par axe, la charge annuelle de circulation dans la ligne et la vitesse maximale de circulation.
- Caractéristiques des matériaux de voie utilisés, notamment le type de rail, le type et l'épaisseur du ballast, le type de traverses et fixations et la séparation utilisée pour la colocation des traverses.
- Nature, capacité de charge, état hydrique, perméabilité et conditions hydrologiques et hydrogéologiques des sols qui constituent la plate-forme, qui supporte le tassement de la superstructure de la voie.

VIII.1.1. LE BALLAST :

Le ballast est un granulat avec 100% de surface des grains est entièrement concassée.

La couche de ballast est un élément essentiel dans la structure d'assise ferroviaire, donc :

- Le ballast doit avoir des qualités de haute résistance au choc et d'usure et il ne devra pas contenir des matières comme les matériaux organiques, métaux ou plastiques.
La résistance à la fragmentation Los-Angeles soit de : $LA \leq 40\%$.
La résistance à l'usure Micro Deval soit de : $MDE \leq 25\%$
La dureté : pour notre cas le coefficient de la dureté relative globale $DRG > 18$.
- La granulométrie du ballast devra être comprise entre 22.4 mm et 63 mm avec environ de la moitié de gros éléments (à partir de 40 mm) « voir **Tableau N°VII.01** ».

Tableau N°VII.01: Fuseau de contrôle de la granulométrie du ballast.

Point singulier des fuseaux	Dimension des mailles carrées	Valeur du fuseau de contrôle
D max	63	Passant 100%
D	50	$70\% \leq \text{passant à D} \leq 99\%$
Tamis intermédiaire	40	$30\% \leq \text{passant} \leq 65\%$
	31,5	$1\% \leq \text{passant} \leq 25\%$
d	22.4	Passant $\leq 3\%$

VIII.1.1.1.ROLE DE BALLAST :

Les principales fonctions du ballast, avec les éléments structuraux de la ligne de chemin de fer, sont les suivantes :

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

VIII.1.2.SOUS COUCHE :

La sous couche est une couche en grave propre bien graduée (0/31,5), cette couche constitue un intermédiaire entre la couche de ballast et la plateforme.

La sous couche peut être mono ou multicouche (couche de sous ballast et couche de fondation).

La sous couche de ballast doit avoir les caractéristiques suivantes :

La valeur de propreté $VB_g \leq 1$, un coefficient de forme $A \leq 25\%$ et un $LA + MDE \leq 40$

Remarque : s'il y'a lieu une couche anti-contaminatrice on utilise des feuille géotextile ou géomembrane.

VIII.1.2.1.ROLE DE SOUS COUCHE :

- Amélioration de la capacité portante et répartition optimisée des charges : La sous-couche renforce la capacité portante de la voie en distribuant efficacement les charges ferroviaires.
- Amélioration des propriétés vibratoires : La sous-couche contribue à réduire les vibrations engendrées par les trains, ce qui améliore le confort la sécurité.
- Prévention de la contamination entre la plateforme et le ballast
- Protection contre l'érosion.
- Facilitation du drainage des eaux de pluie : La sous-couche assure une évacuation efficace l'écoulement des eaux de pluie.

VII.1.3.LA PLATE-FORME :**VII.1.3.1.DÉFINITION DE LA PLATE-FORME :**

La plate-forme de la voie constitue l'élément de support de la superstructure de la voie ferrée, de laquelle elle reçoit, à travers la couche de ballast, les tensions dues à la circulation des compositions. Elle correspond à la limite supérieure de la couche de sous-ballast, son comportement étant directement lié aux caractéristiques de la couche de sous-ballast et de l'ensemble de couche de fondation plus couche de forme.

Elle est constituée dans le cas de remblai par des terres rapportées, et dans le cas de déblai par le sol naturel.

VII.1.3.2.DÉFINITION DE PORTANCE DE LA PLATE-FORME :

Pour classer les plateformes, il convient :

- D'apprécier la qualité de chaque sol composant la plateforme,
- D'apprécier la qualité de la plateforme complète : couche de forme + sol sous-jacent

VII.1.3.3. CLASSES DE PORTANCE DE LA PLATE-FORME :

Selon le code UIC719R ⁵, trois types de plate-forme (correspondantes à trois classes de capacité de support) :

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

Tableau N°VII.02 : La classe la portance de la plate-forme

Qualité du sol support	Classe de la Plate-forme	Couche de forme	
		Qualité	Épaisseur min(m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0,5
	P2	QS3	0,35
	P3	QS3	0,5
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0,35
QS3	P3	QS3	-

Norme UIC 719R p.34

VII.1.3.4.PLATE-FORME PROPOSÉE :

La classe des qualités du sol support le plus souvent rencontré le long du tracé est en majorité **QS1**, et les prescriptions fournies par les UIC, nous recommandons l'utilisation d'une plateforme de type **P3**, donc on doit tenir compte dans le dimensionnement des caractéristiques spécifiques du sol (**QS3**) « le choix de ce type de plateforme est afin d'éviter les problèmes des sols argileux ».

VII.1.3.5.COUCHE DE FORME :

Si on considère que la qualité du sol est **QS1**, d'après les caractéristiques géologiques et géotechniques et que la capacité portante requise pour la plateforme est **P3** (bonnes conditions), il en résulte **0,5 m** d'épaisseur pour la couche de forme en utilisant la norme **UIC 719 R**.

VII.2.CALCUL DES ÉPAISSEURS MINIMALES DES COUCHES D'ASSISE :

Le dimensionnement de cette épaisseur est fait à partir de la formulation qui est indiquée dans le code **UIC 719R** ⁵

$$e \geq E + a + b + c + d + f + g$$

Tableau N°VII.03: Dimensionnement de la couche d'assise

	Description	Application
E	Dépend de la capacité portant de la plate-forme selon les types P1, P2 et P3	La plateforme projetée pour notre projet est une bonne capacité portante groupe P3 , ainsi le coefficient E aura une valeur de 0,45 m
a	Dépend des groupes de classification du trafic selon la norme UIC 714 R.	$40.000 \text{ t/j} < T_f = 56.722,5 \text{ t/jour} < 80.000 \text{ t/j}$ donc le groupe de trafic fictif est Groupe 3 avec vitesse de 160km/h . Le coefficient a aura une valeur de -0,05
b	Dépend du type de traverse et de sa longueur.	Pour une traverse bibloc B440, avec $L=2,245 \text{ m}$ $b = (2,50 - L)/2 = \mathbf{0,1275 \text{ m}}$
c	Dépend du cas de dimensionnement	Pour notre projet, le cas de dimensionnement usuel donc le coefficient c aura une valeur nulle
d	Dépend des charges à l'essieu pour la superstructure.	Les charges à l'essieu de la superstructure sont fixées par le cahier de charges en 200 KN , donc la valeur d est nulle
f	Dépend de la capacité portant et la vitesse	Pour notre projet, la ligne du vitesse 160km/h et du plateforme P3 donc la valeur f est nulle
g	Dépend des besoins de géotextile de la couche de forme	Il n'est pas nécessaire disposer un géotextile et par conséquent la valeur g est nulle
e	$0,45 - 0,05 + 0,1275 + 0 + 0 + 0 + 0 = \mathbf{0,5275 \text{ m}}$	

NB : selon la fiche UIC 719-R pour une vitesse comprise entre 120 km/h et 200 km/h l'épaisseur normal de ballast sous traverse est 30 cm.

Pour les ouvrages d'art l'épaisseur normale de ballast sous traverse est 35 cm.

Tableau N°VII.04 : Structure de la voie.

Couches	Épaisseur (cm)	Matériaux
Ballast	30	GK (grave concassée)
Sous-couche	25	Grave propre
Couche de forme de type QS3	50	GNT

CONCLUSION :

En conclusion, l'assise ferroviaire joue un rôle important dans la stabilité et la durabilité de la ligne ferroviaire, que ce soit le ballast, le sous ballast ou les couches inférieurs chaque composant contribue à garantir un réseau ferroviaire fiable.



CHAPITRE VIII : PROFIL EN TRAVERS



CHAPITRES VIII : PROFIL EN TRAVERS

INTRODUCTION :

Le profil en travers d'une ligne de chemin de fer correspond à la section transversale de cette dernière en suivant un plan vertical perpendiculaire. Souvent, on utilise une échelle de 1/100 pour les profils en travers.

Le dessin d'un grand nombre de profils en travers est nécessaire pour un projet ferroviaire, Afin d'éviter de rapporter chaque dimension ,nous commençons par créer un profil. Chaque zone est singulière, connue sous le nom de **profil type** et inclut toutes les dimensions et tous les détails de la construction.

VIII .1. LES ÉLÉMENT DU PROFILS EN TRAVERS :

En chemin de fer, le profil en travers types doit contenir tous les éléments suivants :

Tableau N°VIII.01 : Les éléments du profil en travers

Éléments de superstructure	• La distance entre les axes des voies. • Le type de rail utilisé et la valeur de l'écartement de chaque voie. • Le type des traverses utilisées. • La valeur du dévers maximale en courbe.
Éléments d'infrastructure	• Les épaisseurs et la nomination et les pentes de chaque couche. • La pente latérale de la plate-forme.
Éléments du talus	• La pente de chaque talus. • Les ouvrages de consolidation.
Éléments d'assainissement	• Le type et dimension du fossé des drains ou les ouvrages d'assainissements

VIII.2. LE PROFILS EN TRAVERS DU PROJET D'ÉTUDE :

Le profil en travers de référence en pleine voie, correspondant à un profil pour voie **double**, avec écartement de la voie **1,435m** et un entraxe de **5 m**, Il présente une largeur de plateforme de **14,40 m** soit en déblai soit en remblai.

La superstructure est formée par des rails **54E1** et des traverses **bibloc** en béton armé B440 (ancienne VAXU31), sur ballast dont l'épaisseur minimal est de **0,30 m** sous le rail de rangée basse.

La plateforme de la voie, à partir du fond de déblai ou de la surface nivelée du top de remblai, est formée par des couches continues de couche de forme d'épaisseur **50 cm**, et de sous ballast d'épaisseur **25 cm** en chapeau de chinois centré, avec des inclinaisons transversales de **5%**.

Dans les zones de remblais et déblais les talus ont été définis avec l'inclinaison de 1/2 (V/H), étant prévue la pose de fossés longitudinaux de pied de talus.

Les caractéristiques géométriques des profils transversaux type de référence prennent en compte les gabarits nécessaires pour la future électrification (caniveaux des câbles et appuis de poteau porte-caténaires).

Remarque :

- **Pour la zone inondable** : l'ajout de des enrochements latéraux, avec géotextile anti-contaminant au tour du noyau de remblai
- **Pour la zone qui présente une qualité de sol impropre QS0** : exécution d'une purge de 0,5m minimum et l'ajout d'une géogrille

VIII.3.LES CUBATURES :

L'ensemble des travaux de terrassement sont appelés mouvements des terres leur but principal est de modifier la forme du terrain naturel afin qu'il puisse être utilisé pour des travaux en général.

Ces mesures sont indispensables et souvent observées sur les profils en longs et les profils en travers.

La transformation de la forme du terrain naturel implique deux étapes : la première consiste à ajouter des terres (remblai) et la deuxième consiste à enlever des terres (déblai).

L'évolution des cubes de déblais et des remblais que comporte-le projet afin d'obtenir une surface uniforme et parallèlement sous adjacente à la ligne de projet est connu sous le nom de (les cubatures des terrassements).

Pour notre projet, nous avons utilisé le logiciel Covadis pour effectuer le calcul automatique des cubatures de terrassement.

Tableau N°VIII.02: Les cubatures des couches d'assise.

Couche	Ballast	Sous ballast	Couche de forme
Volume (m ³)	44881,00	39153,70	78438,50

Tableau N°VIII.03 : Les cubatures des terrassements.

Volume de déblai (m ³)	Volume de remblai (m ³)
151110,20	176076,20

CONCLUSION :

Le profil en travers fournit une vue complète de la superstructure (rails 54 E1, traverses bloc B440, ballast 30 cm d'épaisseur), de l'infrastructure (plateforme de largeur 14,4m, talus 1/2 V/H, système drainage) et du terrain environnant ce qui facilite les choix concernant la construction, la sécurité et l'efficacité de l'infrastructure. En outre, il ajoute des aspects environnementaux pour diminuer l'empreinte écologique.



CHAPITRE IX :
TERRASSEMENT ET
OUVRAGES



CHAPITRE IX : TERRASSEMENT ET OUVRAGES**INTRODUCTION :**

Le terrassement est une étape cruciale de la construction de tous projets ferroviaires, il englobe les travaux de nivellement, excavation, remblaiement aussi la préparation de sols pour la réalisation de projets.

Les ouvrages sont des éléments essentiels pour toutes lignes ferroviaires, ils comprenant les ponts, les passages à niveau, supérieur et inférieur et autres structures qui permettant le franchissement des obstacles naturels ou artificiels.

Dans ce chapitre, nous explorons ces deux aspects en détails.

IX.1.LES TERRASSEMENTS :**IX.1.1. DÉCAPAGE :**

Le décapage c'est une opération de préparation de terrain qui consiste à enlever la couche superficielle de terre végétale d'un terrain.

Selon les résultats de l'étude géologique et géotechnique, les épaisseurs moyennes de décapage pour notre tronçon d'étude entre 0,20 m et 0,50 m.

IX.1.2. REMBLAI :

Le remblai c'est l'ajout des matériaux pour élever le niveau du terrain ou remplir les cavités, en d'autres termes il correspond à l'ensemble des terre rapportées sur le terrain.

⇒ En fonction des caractéristiques topographiques de la zone traversée, et face aux contraintes géométriques on a constaté que : la plupart des remblais qu'il faut construire présentent des hauteurs relativement petites, inférieures ou égales à 4m au l'axe et atteignant une hauteur maximale on les talus entre 5m et 6m.

IX.1.2.1. CONDITIONS DE RÉALISATION DES REMBLAIS :

Pour réaliser un remblai de qualité qui soit sûr, stable et durable on doit respecter les conditions suivantes :

- ⇒ **Respect des normes et réglementations** : pour garantir leur qualité et la durabilité de remblai, Il est impératif de respecter les normes et réglementations en vigueur concernant la construction de remblais
- ⇒ **Choix du matériau de remblai** : Utiliser des matériaux appropriés car les matériaux de mauvaise qualité peuvent conduire à des glissements de terrain des tassements, ou d'autres problèmes.
- ⇒ **Compactage adéquat** : Le remblai doit être correctement compacté pour éviter les tassements différentiels et assurer une bonne stabilité. « Le remblai doit être réaliser par couche ».
- ⇒ **Drainage efficace** : pour éviter l'accumulation d'eau, qui peut affaiblir le remblai et entraîner des glissements de terrain, on doit prévoir une pente transversale minimale.

Enfin au cours de la réalisation de remblai l'existence d'une surveillance géotechnique constante est nécessaire pour détecter tout problème potentiel et prendre les mesures adéquates.

IX.1.3. DÉBLAI :

Le déblai consiste à retirer les terres « sols » lors des travaux de terrassement, en d'autres termes c'est l'action d'enlever des terres pour mettre le terrain de niveau.

IX.1.3.1. CONDITIONS D'EXCAVATION DE DÉBLAI :

- ⇒ L'évaluation du site est obligatoire pour identifier les éventuels obstacles, dangers ou problèmes environnementaux.
- ⇒ L'utilisation des équipements appropriés pour le déblai en fonction du type de matériau à enlever, de la topographie du site...
- ⇒ Pour mener à bien le processus de déblai de manière efficace et sécurisé, un personnel qualifié et expérimenté est nécessaire
- ⇒ Pour éviter toute contamination environnementale et se conformer aux réglementations locales les matériaux déblayés doivent être disposés correctement.
- ⇒ Le respect des normes de sécurité sur le chantier, l'utilisation d'équipements de protection individuelle assurer la sécurité au cours de la réalisation de déblai.

IX.1.4. PENTES ET TALUS :

La pente du talus dépend du :

- Type de sol : les sols cohérents ont une meilleure stabilité que les sols pulvérulents.
- La hauteur du remblai ou du déblai,
- Et des charges appliquées.

Selon le référentiel technique de SNTF chapitre 07.2.2 « OUVRAGES EN TERRE »⁹, les pentes souvent utilisées exprimées en fraction base (V) sur hauteur (H), sont ;

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

Pour notre projet : Les remblais et les déblais sont projetés en considérant un talus **1V :2H**.

IX.1.5. LA STABILITÉ :

La cohésion C et l'angle de frottement interne ϕ' , le poids spécifique γ , les méthodes de calcul appropriées prennent en compte la pente du terrain, la charge appliquée ainsi les conditions environnementales sont des facteurs clés dans l'étude de stabilité.

Pour évaluer la stabilité de talus, on a utilisé **logiciel Geostudio 2018 R2** et on a travaillé par la méthode d'équilibre limite « Morgenstern-Price (1965) »

Cette vérification consiste à calculer le facteur de sécurité globale pour les différentes positions de cercles de rupture.

La sécurité est suffisante quand le calcul de stabilité présente coefficients de sécurité minimaux suivant :

- $F_s \geq 1.5$ à long terme
- $F_s \geq 1.3$ à court terme
- $F_s \geq 1.0$ situation accidentel (séisme).

⇒ **Cas remblai** : le calcul de stabilité concerne les grands remblais avec des hauteurs importantes ($h \geq 6$ m),

Dans notre cas on prend en considération que le de remblai de Pk 70+625 au Pk 70+770.

Pour les calculs, on a utilisé les caractéristiques suivantes :

Surcharge sur la plateforme : 30 KN/m^2 .

Niveau de nappe phréatique : 1m

Tableau N° IX.01 : caractéristique des matériaux

	C'	ϕ'	γ
Pléistocène/Holocène colluvial	20	27	19
Noyau et partie inférieure du remblai	10	30	20
Partie supérieure de terrassement	0	35	20

Pour la vérification dans le cas pseudo-statique, considérant $A=0.25g$. Les résultats des simulations sont schématisés dans les Figures suivantes :

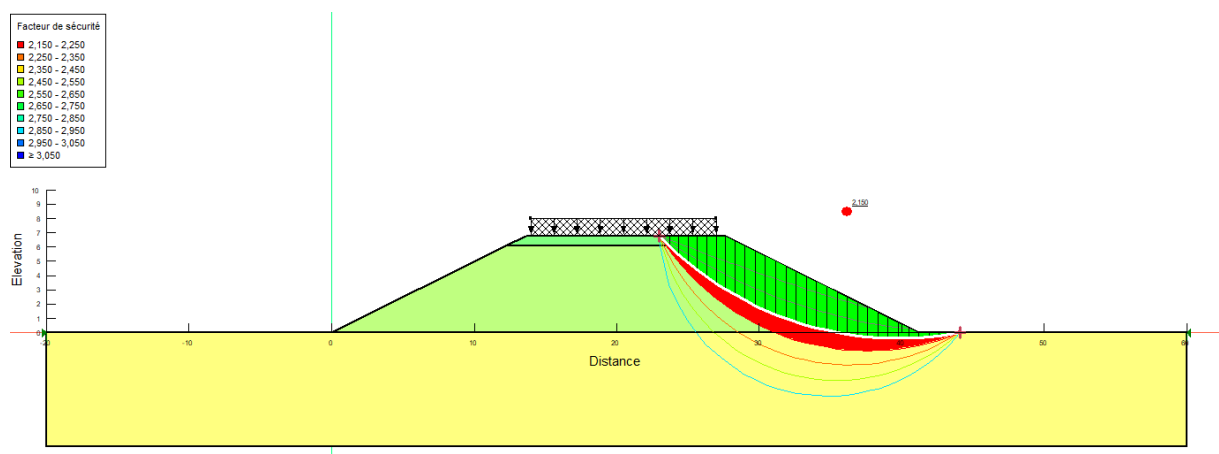


Figure N° IX.01: Stabilité des remblais (situation statique)

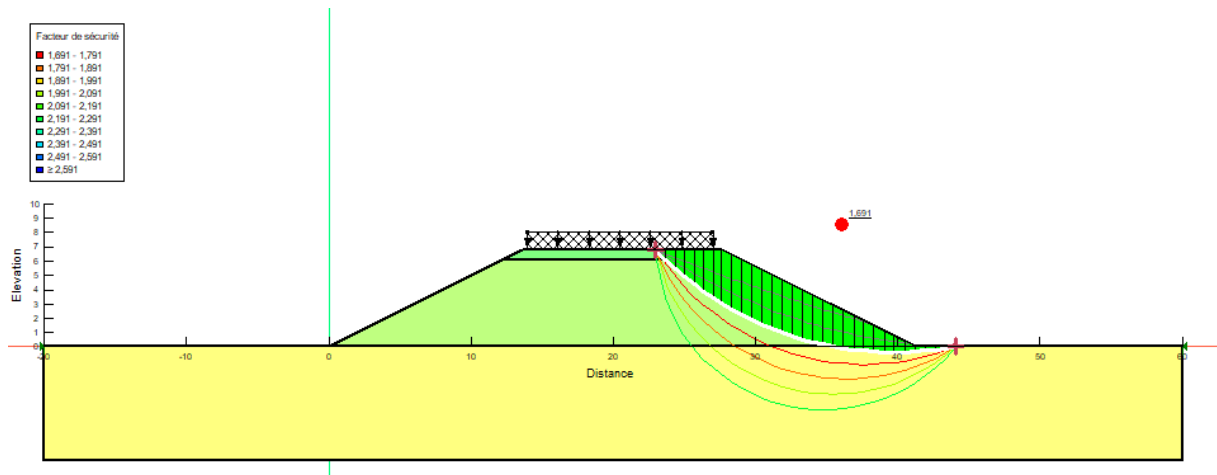


Figure N° IX.02 : Stabilité de remblai (situation pseudo statique)

Tableau N°IX.02 : Résultats du calcul de stabilité pour le remblai.

Pk	H (m)	Pente du talus	Fs statique	Fs Pseudo statique
70+650	6,8	1V :2H	2,15	1,691

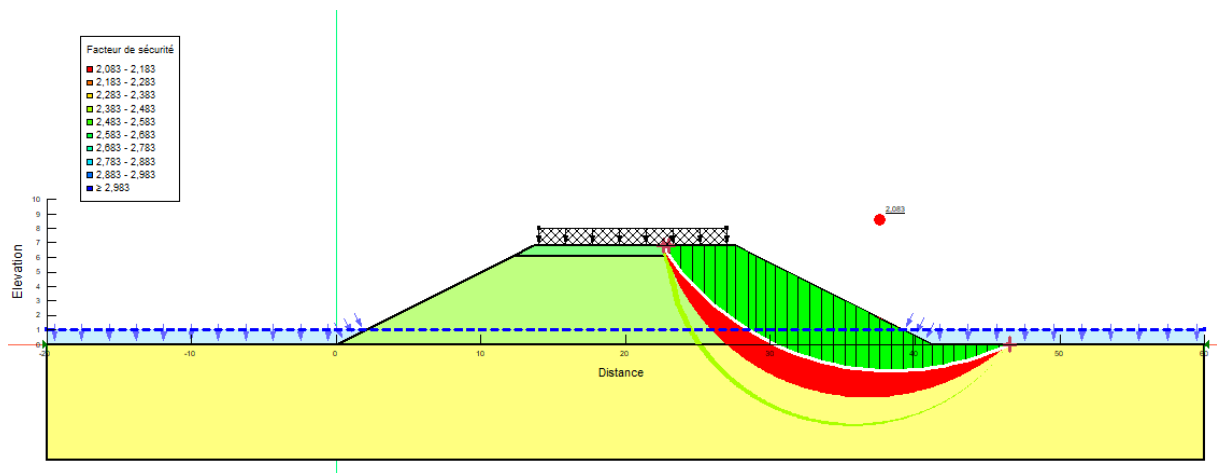


Figure N°IX.03 : Stabilité des remblais en présence de nappe phréatique (situation statique).

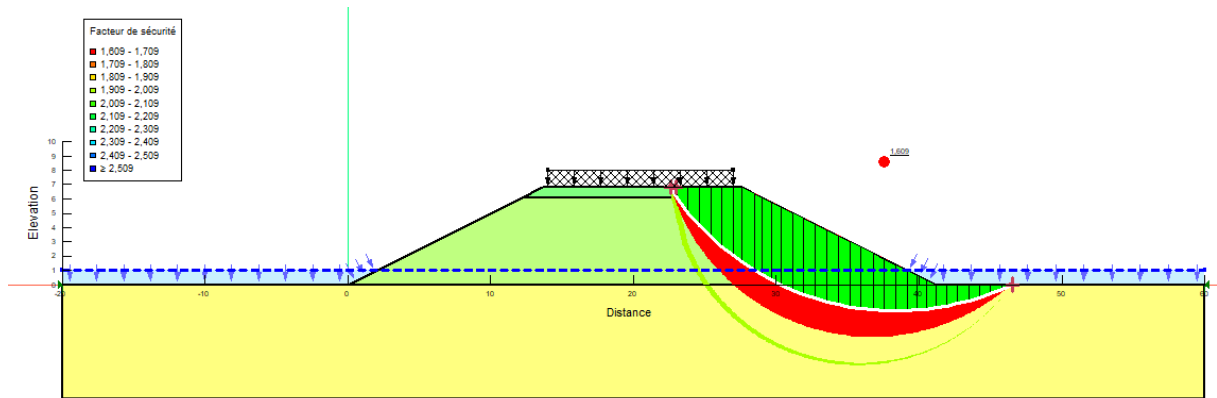


Figure N°IX.04 : Stabilité des remblais en présence de nappe phréatique (situation sismique).

Tableau N°IX.03 : Résultats du calcul de stabilité pour le remblai.

PK	H (m)	Pente du talus	Fs statique	Fs Pseudo statique
70+650	6,8	1V :2H	2,083	1,609

⇒ **Cas déblai :** Les hauteurs de tous les déblais détectés le long du tracé sont faibles donc on n'a pas effectué le calcul de stabilité.

IX.1.6. COMPACTAGE :

Le compactage c'est une opération qui consiste à réduire les vides dans le sol afin d'augmenter sa densité(compacité) pour assurer la durabilité d'ouvrage dans le temps.

Pour la sous couche : Selon la recommandation de la norme IN 0260 ¹⁰ « dimensionnement de la couche des structures d'assise pour la construction et la réfection des voie ferrées » la sous couche doit être compactée à 100 % OPM.

Pour la couche de forme : Selon la recommandation du guide technique du LCPC/SETRA - Réalisation des remblais et des couches de forme (fascicules I et II) :

- ⇒ La teneur en eau exigée pour les remblais lors de leur compaction ne devra pas être différente en plus de 2% par rapport au test de compaction lourde (Wopt-2 et Wopt+2) ;
- ⇒ Le degré de compaction devra être pour le minimum 95% de la valeur de l'essai Proctor Modifié, dans toute l'extension des couches.

IX.1.7. TASSEMENT :

Afin d'assurer la durabilité et la stabilité des remblais, il est recommandé dans les sols sensibles à l'eau, au gel ou présentant des conditions hydrologiques défavorables de :

- La mise en place des drain verticaux,
- Si la profondeur permis, l'enlèvement des sols compressible,
- La protection de remblai au moyen d'une couche de sol de meilleure qualité.

IX.2.LES OUVRAGES :

Il existe plusieurs types d'ouvrage tel que les ponts Rail, les passages supérieurs « pont routier » et inférieur « pont cadre » ainsi les structures de protection et les ouvrages hydraulique.

Le choix de type d'ouvrage à projeté est influencé par des contrainte topographique et géomorphologique « l'écoulement des eaux, la nature du sol » ainsi par des considérations techniques « la portée, le programme de charge, le gabarit », économiques et fonctionnelles

IX.2.1. OUVRAGE D'ART :

A partir des données et résultat obtenu de l'étude hydrologique et hydraulique deux ouvrage d'art doit projetés au niveau d'oued el karachi 1 et oued el karachi 2 :

Le tableau ci-dessous représente les ponts rail projeté sur le tronçon d'étude :

Tableau N°IX.03 : Ponts rail projeté

Ouvrage	Longueur	Porté	PK début	PK fin
PONT OUED EL KARACHI 1	35	10+15+10	64+025	64+060
PONT OUED EL KARACHI 2	20	20	64+265	64+285

IX.2.2. RÉTABLISSEMENT ROUTIER :

Selon l'importance de la route « type de la route », les condition morphologique et topographique ainsi le type d'interférence avec la voie ferrée : quatre passages supérieurs doivent projetées le long de tronçon d'étude

Le tableau ci-dessous représente les passages supérieurs projetés sur le tronçon d'étude :

Tableau N°IX.04 : Passages supérieurs de projet.

PK	Passage
61+660	Passage Supérieur CHEMIN
63+085	Passage Supérieur CW21
64+850	Passage Supérieur ROUTE RN12
69+825	Passage Supérieur ROUTE RN12

IX.2.3.LES OUVRAGES HYDRAULIQUES :

Selon l'importance de cours d'eau franchie deux types des ouvrages hydrauliques sont envisagé à construit :

- ⇒ Des buses seront installées pour les cours à petit taille et à faible débit.
- ⇒ Des dalots seront privilégiés pour les cours d'eau les plus important et à grand débit.

Pour notre étude,43 ouvrage hydraulique doivent construit entre le Pk 61+000 et Pk 71+900 tel que détaillé dans l'étude hydraulique (Chapitre VII étude hydrologique et hydraulique)

CONCLUSION :

En conclusion, le terrassement et les ouvrages sont des fondements de tout projet, car ils influent sur les contrainte budgétaires, les délais, et les conditions environnementales qui sont des facteur clé à prendre en compte dans tous projet

Le terrassement c'est une étape importante pour garantir la stabilité et la durabilité de l'infrastructure.



CHAPITRE X :
CONCEPTION ET
AMENAGEMENT DE LA
GARE



CHAPITRE X : CONCEPTION ET AMENAGEMENT DE LA GARE**INTRODUCTION :**

Les gares ne sont pas seulement des points de passage, mais des lieux de rencontre où se mêlent les aspects culturels, fonctionnels et esthétiques. Il est donc essentiel de considérer la conception des gares de manière globale, en tenant compte à la fois de leur intégration dans l'environnement urbain, de leur fonctionnalité et de leur identité visuelle. De plus, il est essentiel de prendre en compte les critères de choix du site d'une gare, les installations requises et les objectifs qu'elle remplit, tels que le déplacement des trains, l'embarquement des passagers ou la gestion des marchandises, lors de la conception d'une gare moderne.

X.1.TYPE DE GARE :

- ❖ Gare voyageuse
- ❖ Gare marchandise
- ❖ Gare mixte
- ❖ Gare de croisement

X.2.CONCEPTION GENERALE DE LA GARE :**X.2.1. ETUDE DE PLAN DE MASSE DE LA GARE :**

Un plan de masse est demandé au concepteur de la gare, en prenant en compte les fonctions de toutes les installations de base qui la composent. À ce stade, il est essentiel d'avoir trois éléments pour étudier le plan de masse :

- Catégorie de la voie
- Son trafic
- Son emplacement

X.2.2. CARACTERISTIQUE DE LA GARE MODERNE :

Une gare moderne doit être fonctionnelle, accessible, et confortable pour assurer un service optimal aux voyageurs et s'intégrer harmonieusement dans son cadre. De cette manière, divers agents ont la possibilité de participer à l'évaluation de la qualité du service.

Voici quelques éléments essentiels :

- ⇒ Elle doit être Connectée aux autres modes de transport (bus, métro, etc.).
- ⇒ Elle doit proposer des services adaptés aux besoins des voyageurs. Cela peut inclure des boutiques, des restaurants, des espaces de détente, des kiosques à journaux, des distributeurs automatiques, etc.
- ⇒ Elles ont souvent des horaires d'ouverture larges.
- ⇒ Il est essentiel que toutes les zones réservées aux voyageurs ou aux marchandises soient sécurisées dans l'ensemble de la gare.
- ⇒ La rapidité du service.

X.2.3. INSTALLATION DE BASE DE LA GARE :

Dans une gare ferroviaire, on peut trouver plusieurs installations et constructions selon le type, la conception et la catégorie de la gare.

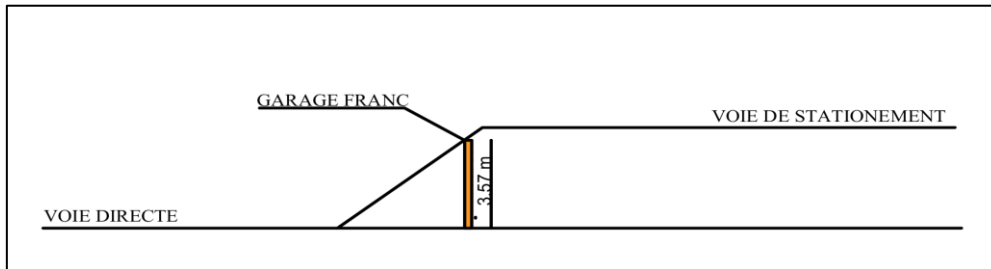
Le tableau ci -dessous représente les différentes installations existant dans la gare.

Tableau N°X.01 : Les installations existantes dans la gare

Les abords (des parcs de stationnements pour les utilisateurs de voitures particulières, les gares routières, des stations de taxis...ext). Hangar de maintenance des voies Atelier d'entretien des véhicules Chantier de permutation	
Pour gare marchandise	Pour gare voyageur
Hangar destiné à recevoir et stocker les marchandises Halle à marchandise Triage.	Les bâtiments à voyageurs (B.V) Les bâtiments à usages divers (B.U.D). Quais Traversées et couloirs sous voies : Les traversées de voies (les passerelles) Les couloirs sous voies (passages sous terrain) Abris de quais. Les haltes ferroviaires
Les heurtoirs : Les heurtoirs matérialisent la fin d'une voie de garage ou de sécurité. Ils sont placés aux extrémités des voies en cul-de-sac pour éviter que les véhicules en mouvement n'en franchissant les extrémités. En règle générale, les heurtoirs doivent être précédés, à 10 m de distance, par des patins de freinage, qui après chaque déplacement doivent être remis en place.	
	
Figure N°X.01 : heurtoir	

X.3.CARACTERSTIQUE DES ELEMENTS DE LA GARE DU PROJET D'ETUDE :**X.3.1. LE GARAGE FRANC :**

Le garage franc marque la limite de la partie de la voie à occuper par les trains en gare. La valeur théorique de garage franc est de 3,57m entraxes de la voie directe et la voie déviée, mais en raison de la sécurité, le garage franc sera installé à 1 m de distance du garage franc théorique.

**Figure N°X.02 : Schéma du garage franc****Tableau N°X.02 : Distances du GF calculé pour notre cas**

Formule	Type ADV	GF
$GF = (3.57 \times N) + 1$	UIC 54 500 1 :12	43,84m
	UIC 54 300 1 :9	33,13m

Avec $N = 1/\tan(\alpha)$ en (m) : varie selon l'ouverture de l'appareil de voie.

« Cette marque est constituée par une plaque rectangulaire en béton, peinte en blanc »

X.3.2. LONGEUR UTILE D'UNE VOIE DE STATIONNEMENT :

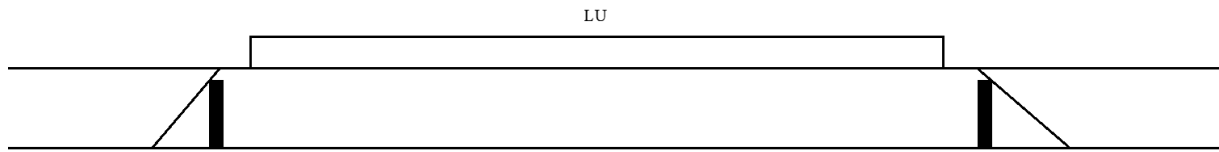
C'est la longueur nécessaire permettant au train de stationner sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisines. La longueur utile représente la distance séparant deux garages francs.

Cette longueur est déterminée par la formule suivante :

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

Avec :

- LG : longueur de glissement.
- LS : longueur de sécurité.
- LT : longueur maximale de train.
- LA : est la marge d'arrêt autorisée.
- LC : tronçon d'isolation pour le système de contrôle.

**Figure N°X.03 : Schéma illustratif de la longueur utile****Tableau N°X.03 : longueurs utiles utiliser pour la gare de El 'Kseur**

Type de voie	Longueur utile
Voie 1 et voie 2	Lu=675.52m
Voie 3	Lu=676.27m
Voie 4	Lu = 514.93m
Voie 6	Lu=373.52m
Voie 8	Lu= 25m
Voie 10	Lu= 25m

X.3.3. MARGE DE GLISSEMENT A L'AVANT DES SIGNAUX :

La marge de glissement est une zone de protection située en amont d'un signal d'arrêt sur le réseau ferroviaire. Il est important de laisser cette zone libre afin d'éviter tout risque de collision en cas de dépassement accidentel du signal par un train. Autrement dit, il s'agit d'une distance de sécurité nécessaire pour éviter les accidents en cas de franchissement inattendu du signal par un train.

Les longueurs de la marge de glissement sont définies selon la norme **UIC 739** comme dans le tableau suivant :

Tableau N°X.04 : Longueurs de marge de glissement en fonction de la vitesse.

Vitesse (km/h)	Longueur de marge de glissement (m)
$V < 40 \text{ km/h.}$	LG = 50 m
$40\text{km/h} \leq V \leq 60 \text{ km/h}$	LG = 100m
$V \geq 60 \text{ km/h}$	LG = 200m

« Pour notre cas la vitesse est supérieure à 60km/h donc LG = 200 m »

X.4.CARACTÉRISTIQUES DES DISPOSITIFS DE LIAISON :

X.4.1.LES APPAREILLES DE VOIE :

Les appareils de voie sont des éléments essentiels dans le domaine ferroviaire, permettant de guider et d'orienter les trains sur différents itinéraires. Voici quelques types courants d'appareils de voie :

- ❖ **Branchements (Aiguillages) :** sont des appareils de voie qui permettent le passage du matériel roulant suivant deux (ou plus) itinéraires ayant une branche commune. Ils peuvent être droits, gauches, enroulés intérieurs ou enroulés extérieurs.
- ❖ **Traversées :** sont des appareils de voie qui permettent le passage du matériel roulant suivant des itinéraires qui se coupent.

On distingue :

- ❖ Les traversées obliques.
- ❖ Les traversées-jonctions simples.
- ❖ Les traversées-jonctions doubles.

Pour le cas de notre projet on a utilisé :

- ❖ 4 ADV -54- E1-500 1 :12 Déviation à Droite (ADV3, ADV7, ADV14, ADV18)
- ❖ 3 ADV -54- E1-500 1 :12 Déviation à Gauche (ADV5, ADV1, ADV20)
- ❖ 2 ADV -54- E1-300 1 :9 Déviation à Droite (ADV9, ADV11)
- ❖ 2 ADV -54- E1-300 1 :9 Déviation à Gauche (ADV10, ADV12)

X.5.CARACTERISTIQUE GEOMETRIQUE DE LA GARE D'EL KSEUR :

Pour caractériser géométriquement une gare, plusieurs éléments doivent être pris en compte. Voici les principales caractéristiques géométriques d'une gare typique :

X.5.1. PLAN D'IMPLANTATION :

- **Emplacement géographique :**

La Gare d'El Kseur actuelle se trouve vers le P.K. 64+400 de la ligne existante. Ce parcours du tracé se correspond avec un tronçon en variante de la ligne projetée. Par conséquence la Gare d'El Kseur aura un nouvel emplacement sur la ligne projetée, toujours en gardant la position plus proche possible à la gare actuelle. La nouvelle gare se projette de l'autre côté de la route au PK 62+050 jusqu'à 63+900 afin de minimiser les expropriations des bâtiments annexes.



Figure N°X.04: l'Emplacement actuel et future de la Gare d'El Kseur

- Le schéma fonctionnel de la gare :

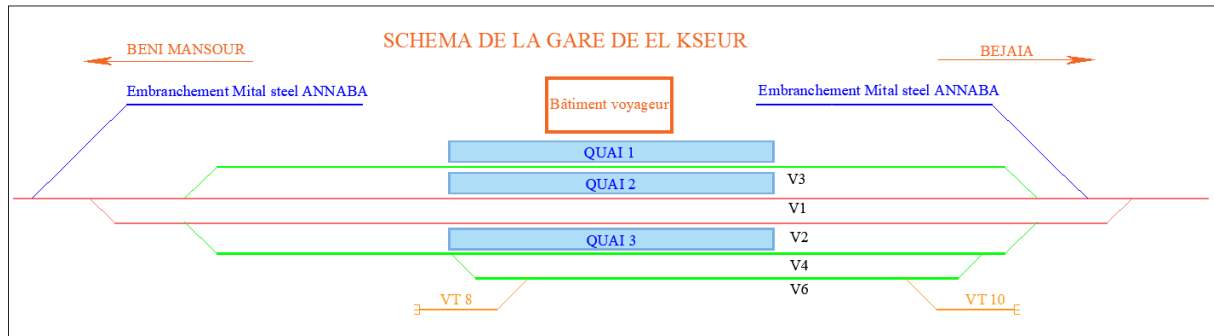


Figure N° X.05 : Schéma de la Gare d'El KSEUR

NB : pour les longueurs utiles de la gare voir (**Tableau N°X.03 : longueurs utiles utiliser** pour la gare de El 'Kseur p74)

❖ **Nombre de voie :**

On a deux (2) voies principales : voie 1 et voie 2

Deux (2) embranchements MITAL STEEL ANNABA

Trois (3) voies de service voie3, voie 4, voie 6

Deux (2) voies de terroir (avec heurtoirs) voie 8, voie10

❖ **Quai :**

On a utilisé trois (3) quais

Longueur : 225 m

Largeur : 6 m

❖ **Hauteur :**

Distance à l'axe : selon la norme UIC741 ¹¹

Pour les bordures de quai implantées à la hauteur nominale de 550 mm, la distance nominale à l'axe de la voie est fixée à :

$$L \text{ (mm)} = 1650 + S \quad \text{avec} \quad S \text{ (mm)} = \frac{3750}{R} + \frac{I - 1435}{2}$$

Avec R : rayon de voie (m) ; I = écartement de la voie (mm)

AN : L = 1651mm

Entre axe quai : 9.3 m (entre quai 1 et quai 2)

13.5 m (entre quai 2 et quai 3)

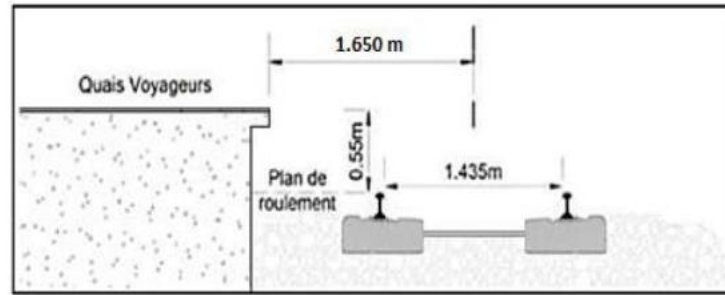


Figure N°X.06 : Gabarits – Quais Voyageurs

❖ **Entre axe de voie : 5 m**

X.6.DECLIVITE DANS LA GARE :

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

X.7.L'ASSAINISEMENT DANS LA GARE :

X.7.1. L'ASSAINISSEMENT LONGITUDINAL :

Elle est assurée par des drains disposés longitudinalement avec des pentes de **4‰**. Ces drains collectent les eaux de ruissellement qui pénètrent dans le ballast et la plate-forme, puis les évacuent vers le réseau d'assainissement grâce aux regards de visite. Il sera constitué de fossés, de drains et de collecteurs qui achemineront les eaux vers les passages hydrauliques ou directement vers les lignes d'eau déjà en place.

X.7.2. L'ASSAINISSEMENT TRANSVERSALE :

Afin de garantir un drainage efficace des eaux pluviales dans la gare, il est nécessaire que les quais présentent une pente de 2% en toit, avec une inclinaison transversale des plates-formes de 4‰.

CONCLUSION :

En résumé, la gare étudiée occupe une place essentielle dans le réseau de transport, permettant ainsi la circulation des voyageurs et le transport des marchandises. La modernité de son infrastructure, associée à une gestion efficace, garantit un flux continu et harmonieux. En outre, les projets d'extension et de modernisation sont susceptibles d'accroître encore plus ses capacités et sa qualité de service. La gare devient donc non seulement un pôle de transit indispensable, mais aussi un moteur de développement économique et social pour la région



CHAPITRE XI : SIGNALISATION FERROVIAIRE



CHAPITRE XI : SIGNALISATION FERROVIAIRE.**INTRODUCTION :**

La signalisation ferroviaire est un ensemble de systèmes et de dispositifs conçus pour assurer la sécurité et l'efficacité du trafic ferroviaire. Elle permet de gérer les mouvements des trains, prévenir les collisions, et fournir des informations aux conducteurs sur la vitesse et les conditions de la voie.

XI.1. ROLE DE LA SIGNALISATION :

Les installations de signalisation offrent la possibilité de résoudre les problèmes suivants :

Tableau N° XI.01 : Les risques liés aux circulations ferroviaires.

Risques majeurs liés aux circulations ferroviaires	Solution
Le rattrapage des trains qui se déplacent dans le même sens sur la même voie	Le cantonnement
La prise en écharpe, c'est-à-dire la collision latérale de trains qui se déplacent sur des itinéraires convergents.	Les enclenchements internes au poste d'aiguillage.
Le nez à nez, c'est-à-dire la rencontre frontale de trains qui circulent en sens inverse sur la même voie	Les enclenchements de sens.
Le déraillement	Les limitations de vitesse, des systèmes de surveillance des chargements.
Les risques inhérents aux passages à niveau, intersections avec le réseau routier.	Des dispositifs d'annonce des trains

XI.2 SYSTEME DE SIGNALISATION :**XI.2.1. SYSTEME D'ENCLENCHEMENT ELECTRONIQUE :**

Sa fonction essentielle est de contrôler et superviser l'état des circulations sur voie, surveiller l'état des éléments qui composent le système de signalisation, recevoir et exécuter les commandes que l'opérateur de circulation envoie, et enfin envoyer les informations nécessaires aux systèmes avec lesquels il échange des informations.

XI.2.2. POSTE DE CONTROLE CENTRALISE (PCC) :

C'est un établissement qui centralise toutes les opérations de contrôle et de gestion du trafic ferroviaire. Il assure la surveillance et la coordination des déplacements des trains sur un réseau vaste, ce qui améliore la sécurité et l'efficacité des opérations.

La surveillance en temps réel, la gestion des incidents et l'optimisation des itinéraires sont des technologies avancées utilisées par le PCC. Avec une interface utilisateur intégrée, les opérateurs ont la possibilité de prendre des décisions rapides et bien informées, garantissant ainsi une fluidité optimale du trafic du chemin de fer.

XI.2.3. LES SIGNAUX :

En signalisation ferroviaire, les signaux peuvent être principalement classés en deux grandes catégories :

XI.2.3.1. SIGNAUX DE FEUX :

Ils utilisent des feux de différentes couleurs pour transmettre des instructions claires aux conducteurs de trains.

Tableau N° XI.02 : Les différents types de feu existants

Feu	Signification	Utilisation
Feu Rouge	Arrêt obligatoire	Utilisé à toutes les intersections critiques, les points de blocage, les entrées de gares, et autres endroits où un arrêt est nécessaire pour éviter des conflits de circulation
Feu Jaune	Avertissement préparation à l'arrêt	Souvent placé avant les feux rouges, aux sections de voie où un ralentissement est nécessaire avant un arrêt potentiel.
Feu Vert	Voie libre	Le Voie Libre informe le conducteur qu'il est autorisé de circuler en marche normale, à moins que rien ne s'y oppose.
Double Feu Jaune	Préparation a un arrêt ultérieur	Utilisé dans des systèmes de signalisation plus complexes pour donner des avertissements supplémentaires et permettre un ralentissement progressif.
Feu Jaune Clignotant	Ralentissement requis	Placé aux entrées de zones de travaux, aux sections de voie où des restrictions temporaires de vitesse s'appliquent.
Feu Blanc	Signal d'autorisation de manœuvre	Utilisé dans les gares et les triages pour guider les opérations de manœuvre.

XI.2.3.2. LES SIGNAUX DE PANNEAUX :

Les panneaux sont essentiels pour fournir aux conducteurs de trains des informations visuelles essentielles

Tableau N° XI.03 : Les différents types de panneaux existants

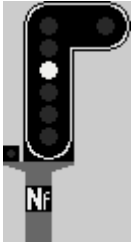
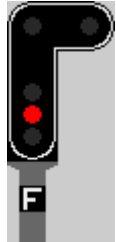
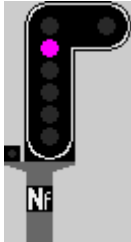
Type	Description	Lieu d'emplacement
Panneaux de Limitation de Vitesse		
Panneau de Vitesse Maximale	Indique la vitesse maximale autorisée en kilomètres par heure.	Placé avant les sections de voie où des restrictions de vitesse s'appliquent pour des raisons de sécurité ou d'infrastructure.
Panneau de fin de limitation de vitesse	Indique la fin d'une restriction de vitesse spécifique.	Placé à la fin des zones où des limitations de vitesse étaient en vigueur.
Panneaux de Signalisation de Travaux		
Panneau de début de zone de travaux	Indique le début d'une zone où des travaux sont en cours.	Placé avant les zones de travaux pour avertir les conducteurs de ralentir et de se préparer à des conditions de voie modifiées.
Panneau de Fin de Zone de Travaux	Indique la fin de la zone de travaux.	Placé à la fin des zones de travaux pour informer les conducteurs que les conditions normales de la voie reprennent.
Panneaux de Manœuvre		
Panneaux d'autorisation de manœuvre	Répertorier les zones où des opérations de manœuvre sont permises.	Employés en gare et dans les triages afin d'orienter les conducteurs lors des opérations de manœuvre.
Panneaux de passage à niveau		
Panneaux de proximité de passage à niveau	Alerte à l'approche d'un passage à niveau	Situé en avant des passages à niveau afin de signaler aux conducteurs l'importance de ralentir et de se préparer à un éventuel arrêt.
Panneaux de barrières automatiques	Indiquent la présence de barrières automatiques qui se ferment lorsque le train approche	Installés à proximité des passages à niveau pour indiquer les dispositifs automatiques de contrôle de la circulation

Remarque :

L'implantation des signaux commandés tiendra compte également des points dangereux à protéger (zone aiguillage, points singuliers liés aux systèmes auxiliaires ou conditions spécifiques d'exploitation...)

Les signaux implantés dans le projet :

Tableau N° XI.04 : Signaux implantés dans le projet.

 Voie libre	 Ralentissement 60	 Pré avertissement	 Ralentissement 30	 Avertissement
 Rappel de ralentissement 60	 Manœuvre	 Manœuvre réduite	 Sémaphore	 Carré Violet
 Fin de zone de ralentissement	 Chevron point en bas	 Tableau d'entrée contresens	 Tableau de sortie de contresens	 Tableau Limite de manœuvre

Remarque :

On place toujours les signaux à gauche sauf en cas d'extrême nécessité ou ils sont placés à droite pointé d'une flèche.

XI.2.4. SYSTÈME DE PROTÈCTION DE TRAIN :

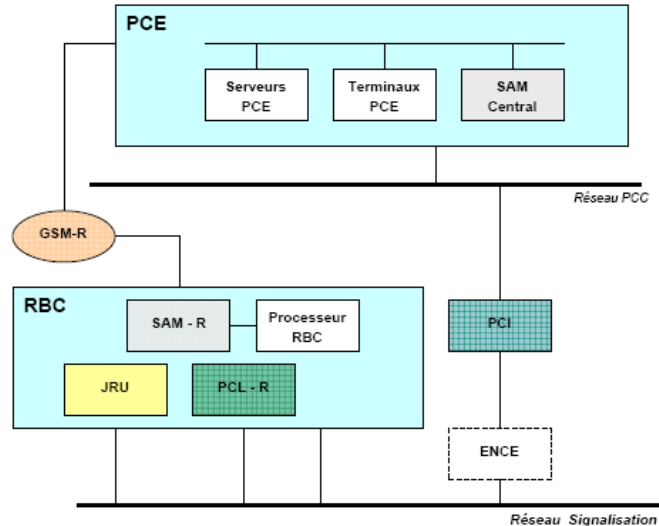
Le niveau 2 d'ERTMS¹/ETCS² est un système de contrôle de la marche des trains fondé sur une communication bidirectionnelle par radio entre l'équipement embarqué et celui de voie.

Dans ce niveau d'application, les autorisations de mouvement sont générées dans les équipements fixes de voie et sont transmises au train à travers l'Euro-radio. Le niveau 2 d'ERTMS/ETCS fournit une surveillance continue de la vitesse qui prémunit également contre les dépassements indus de l'autorisation de mouvement, tandis que la détection des trains et la

¹ ERTMS : Européen Rail Traffic Management System.

² ETCS : Européen Train Control System.

surveillance de l'intégrité de leur composition sont effectuées par l'équipement de voie fixe (enclenchements, compteurs d'essieux, etc.).



Figures N°XI.01 : Schéma du système ERTMS/ETCS Niveau 2

XI.3. LA SIGNALISATION DANS LA GARE :

Les types de signalisations utilisées dans la gare sont :

- Le signal d'arrêt,
- Le signal de limitation de vitesse
- Le signal de direction.

Chaque fonction est généralement accompagnée d'une signalisation d'annonce et d'une signalisation d'exécution ou de rappel.

CONCLUSION :

En résumé, la signalisation ferroviaire est bien plus qu'une simple indication directionnelle. Elle constitue le fil conducteur de la sécurité et de l'efficacité dans les gares, garantissant un flux ordonné des voyageurs, une accessibilité accrue pour tous et une expérience de voyage optimale. En adoptant les avancées technologiques actuelles et en accordant une grande importance à la clarté et à l'universalité des signaux, elle continue de se transformer afin de satisfaire les besoins évolutifs des voyageurs. De cette manière, elle reste un élément fondamental du réseau ferroviaire, garantissant sa fiabilité et sa pertinence dans le contexte des transports modernes



CHAPITRE XII : ÉTUDE
D'IMPACT SUR
L'ENVIRONNEMENT



CHAPITRE XII : ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT.**INTRODUCTION :**

Tout projet d'infrastructure doit tenir en compte de son impact sur l'environnement.

L'étude d'impact sur l'environnement évalue les conséquences potentielles du projet sur la biodiversité, l'écosystème, la qualité de l'eau et l'air, ainsi que la communauté locale. Elle permet d'anticiper les problématiques environnementales et de proposer des mesures d'atténuation responsables.

Dans ce chapitre, nous analysons l'effet de notre ligne ferroviaire sur l'environnement, la faune, la flore, et les communautés locales, nous évaluerons également les avantages socioéconomiques qu'elle apportera.

XII.1. LES OBJECTIFS DE L'ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT :

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

- ⇒ Adapté la conception de la nouvelle voie ferrée aux contraintes de milieu naturel.
- ⇒ Analyser les effets du projet sur le milieu physique, biologique et humain, ainsi que sur le climat, le son et le paysage.
- ⇒ Proposer des mesures d'atténuation efficaces pour minimiser les impacts négatifs identifiés du projet.

XII.2. APERÇU GÉNÉRAL :

La wilaya de Bejaïa occupe une position centrale dans la région nord-est de l'Algérie avec les coordonnées géographiques suivantes : « Latitude : 36° 45' 24" N, Longitude : 5° 5' 50" E », elle possède une façade maritime s'étendant sur plus de 70 kilomètres et des reliefs variés « massifs montagneux de la Kabylie »

Elle est limitée par six (6) Wilayas, cette position géographique stratégique facilite les échanges avec les autres wilayas.

XII.3. ANALYSE DE L'ÉTAT INITIAL DE LA ZONE D'ÉTUDE**XII.3.1. MILIEU PHYSIQUE :**

- ⇒ **Géomorphologie et topographie :** Le périmètre d'étude présente une géomorphologie et topographie riches et variées, les massifs montagneux « dominante », les plaines littorales et les vallées fertiles
Il est constitué des quatre (04) grands ensembles orientés sur un axe Nord – Est – Sud, « La partie nord de la vallée du Sahel, La vallée de la Soummam, La Kabylie d' Djurdjura, La Kabylie des Babors. »
- ⇒ **Géologie :** La géologie du terrain dans le périmètre d'étude varie avec diversité des formations géologiques tel qu'expliquée dans le chapitre VI
- ⇒ **Climatologie :** la wilaya de Bejaïa appartient au domaine méditerranéen tempéré.
- ⇒ **Hydrologie :** la wilaya de Bejaïa présente un réseau hydrographique dense et varie.

- ⇒ **Hydrogéologie** : la variation des formations géologiques de sous-sol de la willaya de Bejaïa influence sur l'existence varie des nappes phréatiques donc on distingue deux de nappe dans le périmètre d'étude : nappe alluviale et nappe calcaire
- ⇒ **Sismologie** : Le périmètre d'étude est situé dans la zone sismique II.a "moyenne sismicité.

XII.3.2. MILIEU HUMAIN :

- ⇒ **DÉMOGRAPHIE** : selon l'office national de statistique « ONS » la willaya de Bejaïa représente la 6 -ème willaya la plus peuplée d'Alger avec une population estimée à **993 329 habitants** en 2020.
- ⇒ **ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES** : la willaya de Bejaïa se caractérise par un activités économique riche et diversifiée. L'agriculture, l'industrie, le tourisme, l'artisanat et le commerce sont des multitudes de secteur clé dynamique de l'économie de la willaya.
- **L'agriculture** : les principales productions agricoles incluent les céréales, les légumes, les fruits, l'olivier et le figuier. La région est également connue pour son **élevage bovin et ovine**
 - **L'industrie** : des industries agroalimentaires, de construction, de matériaux de construction, de textile et de cuir, ainsi de nombreuses entreprises manufacturières
 - **Le tourisme** : Le tourisme balnéaire, le tourisme culturel et le tourisme rural dans la willaya sont en plein de croissance.
 - **L'artisanat** : Les artisans locaux produisent des objets d'art et d'utilité en poterie, cuivre, bois, laine et cuir.
 - **Le commerce** : la ville un centre commercial important pour la région, avec ses nombreux marchés, boutiques et magasins. Le commerce international est également en développement, avec des exportations de produits agricoles, industriels et artisanaux.

XII.3.3. MILIEU BIOLOGIQUE :

⇒ FAUNE :

La willaya de Bejaia se distingue par une faune de richesses remarquable, On y trouve des mammifères, des oiseaux, des reptiles, des amphibiens, des poissons et des insectes

Dans la zone d'étude : en général, dû fondamentalement à l'usage intensif d'agriculture sur le sol, avec des surfaces peu abondantes de végétation naturelle et avec une faible continuité, la faune terrestre présente est, pauvre et se limite à des espèces généralistes.

⇒ FLORE

De manière générale la willaya de Bejaia présente un espace floristique riche et diversifiée (On y trouve des plantes herbacées, des arbustes, des arbres et des fleurs)

La zone d'étude : cette se trouve dans une zone faiblement forestière, vu qu'elle est éminemment agricole.

XII.3.4. PAYSAGE ET PATRIMOINE :

Concernant le tracé actuel de la voie ferrée et selon les informations disponibles, deux sites archéologiques existant dans la zone d'étude : le site archéologique de **Tiklat** et le site **Tarnzazdarkt**, situées la commune d'El Kseur.

XII.4.LES IMPACTS POSITIFS :

Le projet d'aménagement de la ligne ferroviaire Beni Mansour Bejaia présente des avantages considérables économique, sociale et touristique.

De manière plus spécifique les avantages de projet sont :

- ⇒ La réduction de temps de trajet entre Beni Mansour et Bejaia.
- ⇒ La création d'emplois lors de phase de construction et d'exploitation et dans les déférent secteur « la construction, la maintenance, la signalisation et les services aux voyageurs »
- ⇒ En facilitant le transport marchandise entre Beni Mansour et Bejaia, le projet contribue au développement économique de la région (la réduction des coûts de transport aura un impact positif majeur sur les entreprises locales, en leur permettra d'être plus compétitive sur le marché national).
- ⇒ Les trains peuvent transporter un grand nombre de passagers, réduisant ainsi la pression sur les routes et les autoroutes
- ⇒ Le projet améliore la connectivité entre les villes de la région, Ce qui facilitera les échanges économiques et sociaux

XII.5. IDENTIFICATION ET ÉVALUATION DES IMPACTS NÉGATIFS PRÉVISIBLES DU PROJET AVEC LES MESURES D'ATTÉNUATION :

Le tableau ci-dessous présente un résumé sur les impacts environnementaux négatif potentiel de projet avec les mesures d'atténuation prévues :

Tableau N°XII.01 : Identification des impacts négatifs avec les mesures d'atténuation

Milieu	Impact	Mesures d'atténuation
Physique	- Le déboisement contribue à rendre le sol sensible à l'érosion dans une zone reconnue comme instable. - Le réseau de drainage de la nouvelle voie ferrée et des voies collectrices modifie le drainage local, génère de l'érosion du sol et altère la qualité de l'eau de surface.	- Minimiser les interventions sur les sols sensibles à l'érosion, fragiles, en pente ou peu portants, avec l'identification des aires de circulation à privilégier - Favoriser la restauration végétale avec des espèces couramment rencontrées dans la zone perturbée afin de prévenir les risques d'érosion du sol. - Réaliser une étude géotechnique préliminaire pour assurer la viabilité de site et minimiser les risques d'instabilité de sol.
Biologique	Déforestation et Perte d'Habitat : Les zones boisées traversées par le tracé peuvent être affectées, ce qui peut perturber les écosystèmes et réduire la biodiversité. Pollution de l'Air et du Sol : Les travaux de construction, l'utilisation de machines lourdes et les transports de matériaux peuvent générer des émissions de gaz d'échappement et de poussières. Altération des Cours d'Eau et des Écosystèmes Aquatiques : Modification des cours des rivières et des ruisseaux, Cela peut perturber les écosystèmes aquatiques et affecter la qualité de l'eau	- Limitier les travaux de déboisement à l'emprise et favoriser la reprise végétale dans les aires affectées par le déboisement en dehors de l'emprise - Humidifier les chantiers et les voies de circulation, installer des brumisateurs. - Couvrir les camions de matériaux. - L'installation des barrières anti-poussière - La mise en place d'un système de drainage efficace « avec des fossés et des ponceaux de taille suffisante pour gérer les eaux de ruissellement » pour la préservation d'équilibre hydrologique.

Humain	• Perte d'espaces résidentiels due à l'acquisition des terrains pour l'implantation de l'infrastructure • Au cours de construction : Risque d'accidents engendrés par la circulation de la machinerie et des véhicules lourds ou dus à la présence d'aires excavées	• Assurer que les négociations avec les propriétaires des terrains soient réalisées en fonction de la Loi sur les expropriations pour les projets d'utilité publique. • Limiter la circulation des véhicules aux chemins d'accès et/ou aux aires désignées aux travaux d'aménagement.
Archéologie	• Destruction de vestiges historiques non recensés. • Modification peut altérer le paysage naturel et culturel de la région.	• Réaliser un inventaire archéologique dans l'emprise requise pour le projet de même que sur toutes les surfaces requises pour les travaux.
Sonore	• L'augmentation du trafic ferroviaire due au dédoublement de la ligne peut entraîner une augmentation du bruit • Les riverains et la faune locale peuvent être perturbés par le bruit des trains.	• Une étude acoustique sera réalisée afin de déterminer les besoins d'écran acoustique. • Favoriser l'utilisation des engins sur chantier moderne « Equiper par des systèmes d'insonorisation efficaces et bien entretenus » • Limitation des travaux bruyant pendant la nuit. • Mise en place des protection acoustique (palissades, panneaux anti-bruit)
Visuel	• Modification au champ visuel de certains observateurs riverains par la modification de la voie existante.	• Plantations d'arbres et aménagements paysager.

CONCLUSION :

L'étude d'impact sur l'environnement a permis d'identifier les impacts potentiels de notre projet en tenant compte des enjeux environnementaux.

Notre analyse a porté sur plusieurs aspects notamment les aspects physiques, biologiques et Humains, Nous avons également évalué les mesures d'atténuation nécessaires pour minimiser ces impacts et maximiser les avantages de projet.

Enfin, afin de réaliser une infrastructure de transport durable, il est essentiel de mettre en œuvre rigoureuse des pratiques respectueuses de l'environnement tout au long du processus de construction et d'exploitation de cette ligne ferroviaire.



CHAPITRE XIII : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF



CHAPITRE XIII : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Tableau N° XIII.01 : Devis quantitatif et estimatif

DESIGNATION DES TRAVEAUX	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT
INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDE D'EXECUTION				
Etude d'exécution	F	1	18 750 000,00	18 750 000,00
Amenée du matériel et installation général du chantier	F	1	500 000 000,00	500 000 000,00
Fourniture et installation de laboratoire de chantier	F	1	1 300 000 000,00	1 300 000 000,00
COUT TOTAL D'INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDE D'EXECUTION (DA)				18 187 50 000,00
TERRASSEMENTS				
Décapage de terre végétale sur épaisseur de 0.5 m	M2	190518,38	750,00	142 888 781,30
Déblais mise en dépôt	M3	151110,20	1 200,00	181 332 240,00
Remblais d'apport	M3	176076,20	1 500,00	264 114 300,00
Fourniture et mise en œuvre de Couche de forme	M3	78438,50	2 600,00	203 940 100,00
Fourniture et mise en œuvre de sous ballast	M3	39153,70	3 500,00	137 037 950,00
COUT TOTAL DE TERRASSEMENTS (DA)				929 313 371,30
OUVRAGES HYDRAULIQUES				
Buses en béton armé diamètre 1500mm	ML	648	20 000,00	12 960 000,00
Fossés trapézoïdaux en béton armé	ML	10000	6 200,00	62 000 000,00
Dalot en béton armé 2×2	M3	45	50 000,00	2 250 000,00
Dalot en béton armé 3×2	M3	14,4	100 000,00	1 440 000,00
Dalot en béton armé (3×2)×2	M3	29	200 000,00	5 800 000,00
COUT TOTAL DES OUVRAGES HYDRAULIQUES (DA)				84 450 000,00
TRAVEAUX DE VOIES				
Fourniture et pose de ballaste sur épaisseur de 0.3 m	M3	44881	7 500,00	336 607 500,00
Fourniture des traverses BI-bloc type 440	U	18167	5 000,00	90 835 000,00
Fourniture d'un ADVUIC ADV -54- E1-500 1:12	U	7	18 000 000,00	126 000 000,00
Fourniture d'un ADV UIC ADV-54- E1-300 1:9	U	4	15 000 000,00	60 000 000,00
Pose d'un ADV simple UIC -54 - E1-500 1:12	T	7	600 000,00	4 200 000,00
Pose d'un ADV simple UIC-54- E1-300 1:9	T	4	500 000,00	2 000 000,00
COUT TOTAL DE LA POSE DE VOIE (DA)				619 642 500,00
OUVRAGE D'ART				
Pont rail	M2	3977	120 000,00	477 240 000
Passage supérieure	M2	1698	120 000,00	203 760 000
COUT TOTAL DES OUVRAGES D'ARTS (DA)				681 000 000
SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION				
Electrification 25 kV/50 Hz	KM	10,9	42 605 840,00	464 403 656,00
Signalisation			43 000 000,00	43 000 000,00
COUT TOTAL DE LA SIGNALISATION ET L'ELECTRIFICATION (DA)				507 403 656,00
GARE				
Bâtiment de voyageur + aménagement extérieur	M2	3902	30 000,00	117 060 000,00
Quais	M2	4050	5 000,00	20 250 000,00
COUT TOTAL DE LA GARE (DA)				137 310 000,00
TOTAL (DA)				4 777 869 527,00

Tableau N° XIII.01 : Devis quantitatif et estimatif (suite)

TABLEAU RECAPITULATIF	
DESIGNATION DES TRAVEAUX	MONTANT (DA)
INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDE D'EXECUTION	18 187 50 000,00
TERRASSEMENTS	929 313 371,30
OUVRAGES HYDRAULIQUES	84 450 000,00
TRAVEAUX DE VOIES	619 642 500,00
OUVRAGE D'ART	681 000 000
SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION	507 403 656,00
GARE	137 310 000,00
MONTANT DU PROJET EN HT (DA)	4 777 869 527,00
MONTANT DU PROJET EN TTC (DA)	5 685 664 737,00
MONTANT DU PROJET PAR KILOMETRE EN TTC	521 620 618,00

MONTANT EN LETTRE :

Cinq milliards six cent quatre-vingt-cinq millions six cent soixante-quatre mille sept cent trente-sept centimes.

CONCLUSION :

Le dédoublement et la rectification de la ligne ferroviaire Bejaïa – Beni Mansour constituent une étape essentielle dans le progrès des infrastructures de transport en Algérie. Il s'agit d'un projet complexe qui a nécessité une étude approfondie de la situation géographique, économique et sociale du secteur.

Dans ce mémoire, nous avons examiné les divers aspects techniques, économiques et environnementaux de ce projet ambitieux.

Grâce à cette étude, nous avons pu mettre en évidence les connaissances que nous avons acquises pendant les trois années de notre formation à l'École nationale supérieure des travaux publics avec les dispositifs réglementaires utilisés dans les études des projets ferroviaires (**Code UIC, Norme IN, Référentiel SNTF**) afin de comprendre tous les problèmes techniques et les contraintes rencontrés.

Parmi ces contraintes figurent :

- Le choix d'un tracé en plan parallèle à la voie existante pour éviter le plus d'expropriations possibles.
- Le choix de la ligne rouge afin de rester sur des côtes proches de celles de la voie actuelle, tout en maintenant un équilibre entre les volumes des cubatures.
- Le choix d'une structure d'assise économique et performante pour résoudre la faible portance du sol.
- Le choix d'un système d'assainissement performant pour assurer la durabilité de la ligne ferroviaire.
- La stabilité des talus de remblai et de déblai.

De plus, ce mémoire nous offre la possibilité d'améliorer nos compétences en utilisant des outils numériques et des logiciels tels qu'**AutoCAD, Covadis, Global Mapper, Civil 3D, Geostudio**.

Nous avons également eu l'opportunité de nous immerger dans la réalité du monde du travail, tant dans les relations humaines que dans la réalisation des tâches dont nous étions chargées. Aussi nous a-t-il permis de renforcer nos connaissances sur les aspects techniques du monde professionnel.

Bibliographie :

- [1] : Groupe d'experts nationaux et internationaux, Règlement Parasismique des Ouvrages d'Art 2008, Alger, ministère des Travaux Publics.
- [2] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 2005.
- [3] Référentiel RFF/SNCF IN 0272, infrastructure de conception version 2 du 30/01/2013, Conception du tracé de la voie courante, $V \leq 220$ km/h.
- [4] Référentiel RFF/SNCF IN 0274, Mise en œuvre du ballast pour voie ferrée, version 2 du 25/05/2010
- [5] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2ème Edition ,2008.
- [6] SETIRAIL, « Rapport de l'étude géologique ».
- [7] SETIRAIL, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».
- [8] Sétra, Guide technique : Assainissement routier, Octobre 2006.
- [9] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 7.2.2 : Ouvrages en terre pour plateformes ferroviaires.
- [10] Référentiel RFF/SNCF IN 0260, Dimensionnement de la couche des structures d'assise pour la construction et la réfection des voie ferrées ,05/02/1996
- [11] La normes UIC (741), Quais des gares à voyageurs-Règles pour l'implantation des bordures des quais par rapport à la voie.
- [12] Référentiel RFF/SNCF IN 0230, Condition d'implantation des appareils de voie unifiés, version 1 du 20/01/2009.
- [13] Référentiel RFF/SNCF IN 0259, Conception, réalisation et entretien des ouvrage de drainage et d'écoulement, des structures d'assise et des plates formes ,01/02/1996
- [14] SNTF, chapitre 10, signalisation et télécommunication, version 2.
- [15] Mémoires de voie ferrée école nationale des travaux publics.
- [16] J. Arasan, S. A. Ashok Kumar, M. S. Kiran, "Optimization of Railway Alignment Design Parameters for Improved Safety and Performance", Journal of Transportation Engineering,2019.
- [17] Mangal Kothiyal, Anjan Dutta, Satyendra Mittal , "Innovative Materials and Techniques for Railways Track-Bed Maintenance: A Review" Journal of Procedia Engineering,2017
- [18] Innovation : les matériaux composites | Groupe SNCF (groupe-sncf.com) 02/05/2024
- [19] Esa Industry | Les matériaux composites pour les trains. <https://gesaindustry.it/fr/les-materiaux-composites-pour-les-trains> 02/05/2024

ANNEXE

ANNEXE A : Listing de la géométrie de l'axe en plan

Eléments Caractéristiques			Points de Contacts		
Nom	Paramètres	Longueur	PK	X	Y
Droite 1	Gisement 39.60gr	1113,438	61+000.000	664739,816	4058017,091
Clothoïde 1	Paramètre -383,406	150,000	62+113.438	665388,653	4058921,942
Arc 1	Rayon -980.000 m	450,750	62+263.438	665479,120	4059041,541
	Centre X 666229.537 m				
	Centre Y 4058411.244 m				
Clothoïde 2	Paramètre 383,406	150,000	62+714.188	665836,897	4059309,149
Droite 2	Gisement 78.63gr	2011,485	62+864.188	665977,181	4059362,146
Clothoïde 3	Paramètre 469,042	40,000	64+875.673	667876,385	4060024,789
Arc 2	Rayon 5500.000 m	94,681	64+915.673	667914,136	4060038,012
	Centre X 666083.402 m				
	Centre Y 4065224.380 m				
Clothoïde 4	Paramètre -469,042	40,000	65+010.354	668003,143	4060070,295
Droite 3	Gisement 77.07gr	434,805	65+050.354	668040,593	4060084,347
Clothoïde 5	Paramètre 424,264	90,000	65+485.159	668447,497	4060237,594
Arc 3	Rayon 2000.000 m	330,970	65+575.159	668531,479	4060269,944
	Centre X 667784.651 m				
	Centre Y 4062125.273 m				
Clothoïde 6	Paramètre -424,264	90,000	65+906.129	668826,907	4060418,316
Clothoïde 7	Paramètre -424,264	90,000	65+996.129	668903,006	4060466,364
Arc 4	Rayon -2000.000 m	238,576	66+086.129	668979,105	4060514,411
	Centre X 670021.361 m				
	Centre Y 4058807.454 m				
Clothoïde 8	Paramètre 424,264	90,000	66+324.705	669189,649	4060626,315
Droite 4	Gisement 74.13gr	2923,999	66+414.705	669272,048	4060662,509
Clothoïde 9	Paramètre -387,298	150,000	69+338.704	671957,905	4061818,338
Arc 5	Rayon -1000.000 m	135,716	69+488.704	672097,093	4061874,155
	Centre X 672422.445 m				
	Centre Y 4060928.562 m				
Clothoïde 10	Paramètre 387,298	150,000	69+624.421	672228,024	4061909,480
Droite 5	Gisement 92.32gr	115,185	69+774.421	672376,398	4061931,247
Clothoïde 11	Paramètre 387,298	150,000	69+889.606	672490,746	4061945,112
Arc 6	Rayon 1000.000 m	423,115	70+039.606	672639,120	4061966,880
	Centre X 672444.699 m				
	Centre Y 4062947.798 m				
Clothoïde 12	Paramètre -387,298	150,000	70+462.721	673024,743	4062133,213
Droite 6	Gisement 55.83gr	583,516	70+612.721	673142,400	4062226,194
Clothoïde 13	Paramètre -424,264	90,000	71+196.237	673591,026	4062599,324
Arc 7	Rayon -2000.000 m	277,617	71+286.237	673660,649	4062656,352
	Centre X 674904.631 m				
	Centre Y 4061090.303 m				
Clothoïde 14	Paramètre 424,264	90,000	71+563.855	673889,298	4062813,411
Droite 7	Gisement 67.53gr	246,145	71+653.855	673967,513	4062857,932
			71+900.000	674182,338	4062978,088
Longueur totale de l'axe 10900.000 mètre(s)					

ANNEXE B : Listing de la géométrie de profil en long

Type	Abscisse	Pente (%)	LH	Rayon
	60+999.90			
PENTE		-0,632	622,123	
	61+622.02			
PENTE		-0,825	323,868	
	61+945.89			
RC			82,491	10000,000
	62+028.38			
PENTE		0,000	1859,217	
	63+887.60			
RC			96,936	-25000,000
	63+984.53			
PENTE		-0,388	169,188	
	64+153.72			
RC			96,288	20000,000
	64+250.01			
RAMPE		0,094	330,458	
	64+580.47			
RC			174,735	-20000,000
	64+755.20			
PENTE		-0,780	596,260	
	65+351.46			
PENTE		-0,646	1102,246	
	66+453.71			
RC			132,473	25000,000
	66+586.18			
PENTE		-0,116	2676,749	
	69+262.93			
PENTE		-0,066	530,363	
	69+793.29			
PENTE		-0,006	1275,977	
	71+069.27			
PENTE		-0,129	839,614	
	71+908.89			

ANNEXE C : Canalisations circulaires partiellement remplies

Q / Q_{ps}	V / V_{ps}	h/D	Q / Q_{ps}	V / V_{ps}	h/D
0,001	0,14	0,02	0,534	1,02	0,52
0,003	0,22	0,04	0,568	1,03	0,54
0,007	0,29	0,06	0,603	1,05	0,56
0,013	0,35	0,08	0,637	1,06	0,58
0,021	0,40	0,10	0,672	1,07	0,60
0,031	0,45	0,12	0,706	1,08	0,62
0,042	0,50	0,14	0,740	1,09	0,64
0,056	0,54	0,16	0,773	1,10	0,66
0,071	0,58	0,18	0,806	1,11	0,68
0,088	0,62	0,20	0,837	1,12	0,70
0,106	0,65	0,22	0,868	1,13	0,72
0,126	0,68	0,24	0,898	1,13	0,74
0,148	0,72	0,26	0,926	1,14	0,76
0,171	0,75	0,28	0,953	1,14	0,78
0,196	0,78	0,30	0,977	1,14	0,80
0,222	0,80	0,32	1,000	1,14	0,82
0,249	0,83	0,34	1,021	1,14	0,84
0,277	0,86	0,36	1,039	1,14	0,86
0,307	0,88	0,38	1,054	1,13	0,88
0,337	0,90	0,40	1,066	1,12	0,90
0,368	0,92	0,42	1,073	1,12	0,92
0,400	0,94	0,44	1,076	1,10	0,94
0,433	0,96	0,46	1,071	1,09	0,96
0,466	0,98	0,48	1,057	1,06	0,98
0,500	1,00	0,50	1,000	1,00	1,00

ANNEXE D : Classifications des sols selon UIC

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

ANNEXE E : Les épaisseurs minimales des couches d'assises

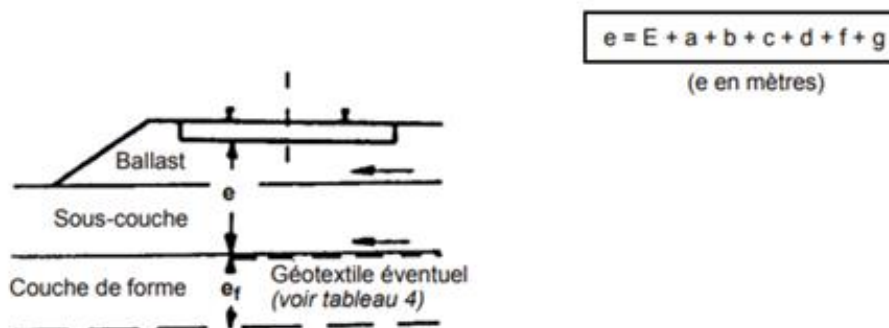


Fig. 9 - Calcul de l'épaisseur minimale "e" des couches d'assise

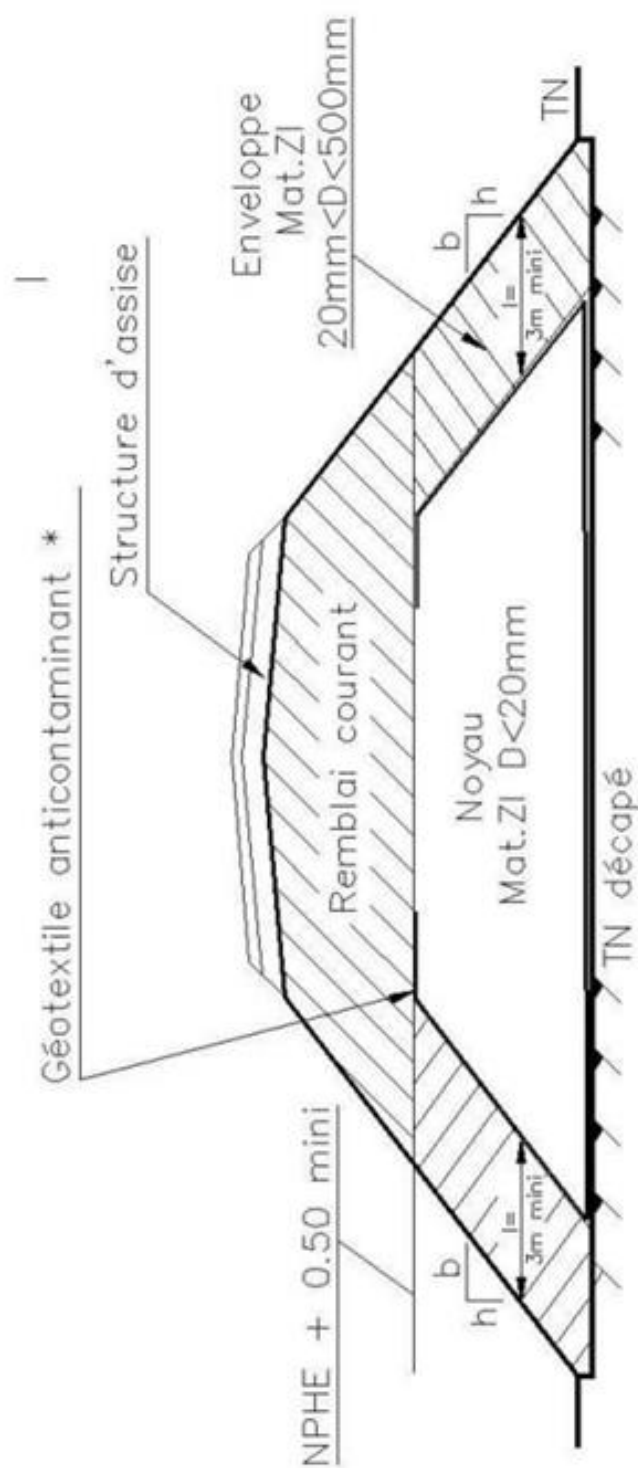
E	= 0,70 m	pour les plates-formes de classe de portance P1 ^a
E	= 0,55 m	pour les plates-formes de classe de portance P2 ^a
E	= 0,45 m	pour les plates-formes de classe de portance P3 ^a
a	= 0	pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V > 160 km/h, quel que soit le groupe UIC) ^b
a	= - 0,05 m	pour les groupes UIC 3 et 4 ^b
a	= - 0,10 m	pour les groupes UIC 5 et 6 ^b
b	= 0	pour les traverses bois de longueur 2,60 m
b	= $\frac{2,50 - L}{2}$	pour les traverses béton de longueur L (b en m, L en m, b peut être négatif si L > 2,50 m)
c	= 0	pour un dimensionnement normal
c	= - 0,10 m	à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autres que "7, 8, 9 sans voyageur" ^b
d	= 0	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 kN
d	= + 0,05 m	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 kN
d	= + 0,12 m	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 kN
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 ^a
f	= + 0,05 m	pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse ^a
f	= + 0,10 m	pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse ^a
g	= +	géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2 ^c
g	= 0	(pas de géotextile) lorsque la couche de forme est en sol QS3 ^c

a. Les classes de portance des plates-formes sont définies au tableau 4.

b. Les groupes UIC sont définis dans la fiche n° 714 (édition du 01.01.89) (voir Bibliographie).

c. Les classes de qualité des sols sont définies au tableau 3.

ANNEXE F : ANNEXE 7 de la norme IN 3278 « Remblai de zone inondable avec noyau et enveloppe »



Le NPHE (niveau des plus hautes eaux) est déterminé par l'étude hydraulique

* Si les conditions de Terzaghi ne sont pas respectées entre les matériaux du noyau et ceux de l'enveloppe