

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

École Nationale Supérieure des Travaux Publics
Francis Jeanson



Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

**Etude APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique
GHARDAIA-MENIAA sur un linéaire de 10 km du PK
39+000 Au PK 49+000 avec conception et aménagement de la
gare MANSOURA**

Présenté par :

FERDJ MOHAMED
BOUGUETOF YUCEF

Encadré par :

Mme. MEHIAOUI MAHDIA
Mme. SERIDJI WIDAD

Promotion 2025 / 2026

ملخص

المشروع الذي تهدف إليه هذه المذكرة هو إجراء دراسة تفصيلية أولية لجزء من خط السكة الحديدية الجديد) غرداية - المنيعه) من النقطة الكيلومترية 39+000 إلى النقطة الكيلومترية 49+000، بما في ذلك تنظيم محطة منصوره.

تم تحديد الخصائص التقنية الأكثر ملائمة للخط الحديدي المقترح استناداً إلى التوصيات والممارسات المتبعة من قبل الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية (SNTF) وغيرها من أنظمة السكك الحديدية المتقدمة، ووفقاً لمعايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC) تم إجراء التصميم الهندسي للمشروع باستخدام برنامج COVADIS 17.0f.

RÉSUMÉ

Le projet objet de ce mémoire vise principalement à réaliser une étude détaillée préliminaire (A.P.D) d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire GHARDAIA - MENEAA (du PK 39+000 au PK 49+000), incluant l'aménagement de la gare de MANSOURA.

L'identification des caractéristiques techniques les plus appropriées pour la ligne ferroviaire envisagée sera basée sur les recommandations et les pratiques suivies par la SNTF et d'autres systèmes ferroviaires plus avancés, conformément aux normes de l'Union internationale des chemins de fer (UIC). La modélisation géométrique du projet a été réalisée à l'aide du logiciel COVADIS 17.0f.

SUMMARY

The objective of this thesis project is primarily to conduct a preliminary detailed study (A.P.D) of a section of the new GHARDAIA - MENEAA railway line (from PK 39+000 to PK 49+000), including the development of MANSOURA station.

The identification of the most appropriate technical characteristics for the proposed railway line will be based on the recommendations and practices followed by SNTF and other advanced railway systems, in accordance with the standards of the International Union of Railways (UIC). The geometric modeling of the project has been carried out using COVADIS 17.0f software.

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné la force, la patience et le courage pour mener à bien ce travail.

Nos remerciements vont :

À **Mme MEHIAOUI** et **Mme SERIDJI** qui ont bien voulu encadrer nos travaux et qui nous ont fait bénéficier de ces orientations.

Nous remercions aussi le groupe de Cosider (T131-Bejaia) pour son accueil chaleureux, sa disponibilité et son professionnalisme tout au long de notre stage.

En particulier **Mr DJAAFER Ali** et **Mr HADJI Abdelbast** qui nous ont encadré et assisté durant toute la période de stage ainsi que pour leur soutien et leur participation aux entretiens et aux discussions techniques pour fournir des informations et des idées précieuses qui ont enrichi ce mémoire. Nous exprimons notre profonde gratitude aux ingénieurs (**Korichi Abderraouf ; Karim ; islam ; Gacem Djamal**), techniciens et cadres qui nous ont accompagnés, orientés et transmis leurs connaissances ainsi que leur précieuse expérience professionnelle.

Aux l'ensemble du personnel de SETIRAIL Rouïba pour leurs soutiens et leurs remarques Spécialement :

Mr BENMOUCHIARA Salah; Mr MHEND; Mr Sidali;

À mes enseignants et encadrants, qui ont partagé leurs connaissances pour nous aider à atteindre nos objectifs et à réaliser ce mémoire. Mais aussi à **Mlle DJOUADI ; Mme MAKOUDI ; MME LOUNAS** et **Mme BOUREBIA** pour leur merveilleuse assistance.

Nous remercions également tous nos collègues et amis d'**ENSTP**

Et enfin nos remerciements s'adressent également aux membres du jury d'avoir accepté d'évaluer notre modeste travail.

Dédicace

« Je dédie ce travail :

À moi-même ; pour tous les efforts que j'ai fournis tout au long de mes études. Aujourd'hui, je suis fier du chemin que j'ai parcouru et des expériences que j'ai vécues. Ce travail représente une étape importante de ma vie.

À mes chers parents, mon frère et mes sœurs pour leur soutien et leur encouragement tout au long de mon parcours

À mes neveux Djawed et Imad

À mes meilleurs amis :

KERKOUCH Abdelbari et Mousaab ; BOUGUETOF Youcef ; TOUATI Abderrahim ; ZENATI Ayoub ; GHABRID Rayane ; KHRIBECHE YUCEF BOUKEZZATA Anis ; MELOUD Zakaria ; MECHMACH Bassam ; SEDDIKI ISLAM ; BELLI Salah eddine

À l'ensemble des étudiants de mon groupe et ma promotion. »

FERDJ Mohamed Ali

« Je dédie ce travail :

À mes parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et les sacrifices qu'ils ont faits pour mon éducation. À mes frères et sœurs, et à tous ceux qui ont cru en moi et m'ont encouragé tout au long de ce parcours. Ce mémoire est le fruit de votre confiance.

À ma chère tante, tu as toujours prié pour ma réussite et mon bonheur. Je sais que si tu étais parmi nous aujourd'hui, tu aurais été si heureuse pour moi, mais le destin a voulu que tu nous quittes. Nous implorons Dieu de te pardonner, d'avoir pitié de toi et de t'accueillir dans son immense paradis.

À toute ma famille, merci pour votre soutien et vos encouragements.

À tous mes amis de l'école (spécialement MOHAMED FERDJ)

BEDJA Billel ; OSMANI Salim ; Mokhtari Abderrahmane ;
DERROUCHE Abderrahmane

, merci pour toutes ces années passées ensemble. »

BOUGUETOF YUCEF

Tables des matières

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : RÉSEAU FERROVIAIRE EN ALGÉRIE	
I.1. INTRODUCTION	2
I.2. RÉSEAU FERROVIAIRE ALGÉRIEN	2
I.3. HISTORIQUE DES CHEMINS DE FER EN ALGÉRIE	3
I.3.1. Pendant la colonisation française :	3
I.3.2. Après l'indépendance de l'Algérie :	4
I.4. PLAN DE DEVELOPPEMENT :	5
I.5. CONCLUSION :	7
CHAPITRE II : PRÉSENTATION DU PROJET	
II.1. INTRODUCTION ET OBJECTIF DU TRAVAIL	8
II.2. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE	9
II.2.1. RELIEF :	9
II.2.2. CLIMAT	10
II.2.3. SISMICITÉ	10
II.3. PRÉSENTATION DU PROJET	10
II.3.1. Les caractéristiques du projet :	11
II.3.2. Caractéristiques de la Voie	11
II.3.3. Superstructure :	12
II.4. CONCLUSION :	12
CHAPITRE III : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE	
III.1. INTRODUCTION	13
III.2. L'ARMEMENT DE LA VOIE :	13
III.2.1. Les rails :	13
III.2.2. Les traverses :	15

III.2.3. Les Attaches :	16
III.2.4. L'appareil de voie :	17
III.3. CONCLUSION :	20
CHAPITRE IV : TRACÉ EN PLAN	
IV.1. INTRODUCTION	21
IV.2. REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE EN PLAN	21
IV.3. CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES :	21
IV.3.1. Application au projet	22
IV.4. LES CONTRAINTES LE LONG DU TRACÉ :	27
IV.5. CONCLUSION :	27
PROFIL EN LONG	27
CHAPITRE V : PROFIL EN LONG	
V.1. INTRODUCTION	28
V.2. DEFINITION :	28
V.2.1. Règles a respectées dans le profil en long :	28
V.3. ELEMENTS DE COMPOSITION DU PROFIL EN LONG :	28
V.3.1. Déclivité :	28
V.3.2. Longueur minimale des éléments du profil en long :	29
V.3.3. Rayon admissible en raccordement de profil en long :	30
V.4. APPLICATION AU PROJET :	31
V.5. CONCLUSION :	31
CHAPITRE VI : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE	
VI.1. INTRODUCTION	32
VI.2. ÉTUDE HYDROLOGIQUE :	32
VI.2.1. Caractéristiques climatiques de la zone d'étude :	32
VI.3. CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES DES BASSINS VERSANTS	36

VI.4. CALCUL HYDROLOGIQUE	40
VI.4.1. Formule Rationnelle.....	40
VI.4.2. Formule de Mallet-Gauthier.....	42
VI.5. CALCUL HYDRAULIQUE ET DIMENSIONNEMENT	43
VI.5.1. Vérification des conditions d’auto curage.....	45
VI.6. ASSAINISSEMENT LONGITUDINAL :	49
VI.7. CONCLUSION :	52
ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE.....	48
CHAPITRE VII : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE	
VII.1. INTRODUCTION	53
VII.2. L’ETUDE GEOLOGIQUES :	53
VII.2.1. Présentation de la zone d’étude :	54
VII.2.2. Géologie régionale :	54
VII.2.3. Géologie locale :	55
VII.2.4. La sismicité de la zone d’étude :	56
VII.2.5. Contraintes géologiques :	57
VII.3. ETUDE GEOTECHNIQUE :	60
VII.3.1. Programme d’investigation géotechnique :	60
VII.3.2. Essais en laboratoire :	66
VII.3.3. REUTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI :	70
VII.4. CONCLUSION :	71
CHAPITRE VIII : DIMENSIONNEMENT DE L’ASSISE FERROVIAIRE	
VII.4. INTRODUCTION	72
VII.5. COUCHE D’ASSISE :	72
VII.5.1. Le ballast :	73
VII.5.2. SOUS COUCHE :	74

VII.5.3. LA PLATE-FORME :	75
VII.6. CALCUL DES ÉPAISSEURS MINIMALES DES COUCHES D'ASSISE :	77
VII.7. APPLICATION AU PROJET :	79
VII.8. CONCLUSION :	80
CHAPITRE IX : PROFIL EN TRAVERS	
IX.1. INTRODUCTION	81
IX.1.1. Profil en travers type :	81
IX.1.2. Profil en travers courant :	81
IX.2. LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS :	81
IX.2.1. Les éléments de superstructure :	81
IX.3. PROFIL TYPE DE NOTRE PROJET :	82
IX.4. CALCUL DES CUBATURES :	83
IX.5. CONCLUSION :	83
CHAPITRE X : TERRASSEMENTS ET OUVRAGES	
X.1. LES TERRASSEMENTS	84
X.1.1. SECTION EN REMBLAI	84
X.1.2. SECTION EN DEBLAI	86
X.1.3. ETUDE DE LA STABILITE :	87
X.2. LES OUVRAGES	89
X.2.1. INFLUENCE SUR LE CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE :	89
X.2.2. LES OUVRAGES D'ART DU PROJET :	90
X.3. CONCLUSION :	91
CHAPITRE XI : CONCEPTION ET AMÉNAGEMENT DE LA GARE MANSOURA	
XI.1. INTRODUCTION	92
XI.2. TYPES DES GARES :	92
XI.3. ETUDE DU PLAN DE MASSE DE LA GARE :	92

XI.4. CONDITIONS DE CONCEPTION DES GARE :	93
XI.5. AMENAGEMENT D'UNE GARE	93
XI.5.1. Installations d'une gare voyageurs :	93
XI.5.2. Halle à marchandise :	94
XI.6. CARACTÉRISTIQUES DES INSTALLATIONS DE LA GARE MANSOURA : ...	94
XI.6.1. L'EMPLACEMENT DE LA GARE :	94
XI.6.2. NOMBRE DE VOIES :	94
XI.6.3. CARACTÉRISTIQUES DES DISPOSITIFS DE LIAISON :	94
XI.6.4. MARGE DE GLISSEMENT À L'AVAL DES SIGNAUX :	96
XI.6.5. HEURTOIR :	97
XI.6.6. LES QUAIS :	97
XI.6.7. PASSAGE SOUTERRAIN :	98
XI.7. ASSAINISSEMENT TRANSVERSALE :	98
XI.8. ASSAINISSEMENT LONGITUDINAL :	99
CHAPITRE XII : SIGNALISATION FERROVIAIRE	
XII.1. INTRODUCTION	100
XII.2. FONCTIONS DES SIGNAUX :	100
XII.3. OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION :	100
XII.4. DIFFERENTS TYPES DE SIGNAUX :	101
XII.4.1. Signalisation lumineuse :	101
XII.4.2. Signalisation mécanique :	102
XII.5. IMPLANTATION LONGITUDINALE :	102
XII.6. ASPECTS DES SIGNAUX :	103
XII.7. LE PRINCIPE DE CANTONNEMENT : (SIGNALISATION CLASSIQUE)	104
XII.8. LE PRINCIPE DU SYSTÈME ERTMS : (SIGNALISATION MODERNE)	105
XII.8.1. LES FONCTIONS D'ERTMS :	105

XII.9. COMPTEUR D'ESSIEU :	106
CHAPITRE XIII : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT	
XIII.1. INTRODUCTION.....	107
XIII.2. DÉLIMITATION DE LA ZONE D'ÉTUDE :	107
XIII.2.1. APERÇU GÉNÉRAL :	107
XIII.2.2. SITUATION DE LA ZONE D'ÉTUDE :	107
XIII.3. DESCRIPTION DES IMPACTS PROJET :	107
XIII.3.1. Description des impacts sociaux positifs du projet :	107
XIII.3.2. Description des impacts sociaux négatifs du projet	109
CHAPITRE XIV : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF	
CONCLUSION GENERALE.....	110

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.1: Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1.....	15
Tableau III.2 : les caractéristiques d'appareils de voie	18
Tableau IV.1: Vitesse des trains maximale	21
Tableau IV.2 : Paramètres géométriques de tracé en plan (SNTF)	22
Tableau IV.3 : Tableau récapitulatif des longueurs entre deux clothoïde.....	25
Tableau IV.4 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé	26
Tableau IV.5 : Liste des obstacles à franchir.....	27
Tableau V.1 : Valeurs limites de la longueur minimales selon référentiel technique de SNTF	30
Tableau V.2 : Valeurs de Rayon vertical minimale.....	30
Tableau V.3 : Valeurs des paramètres de profil en long	31
Tableau VI.1 : Températures moyenne mensuelles au niveau des stations de Ghardaïa	32
Tableau VI.2 : Humidité moyenne mensuelles au niveau des stations de Ghardaïa	33
Tableau VI.3 : Précipitations moyenne mensuelles au niveau des stations de Ghardaïa	34
Tableau VI.4 : valeurs d'ajustement des pluies journalières selon les fréquences choisies, au niveau de la station de Ghardaïa	35
Tableau VI.5 : valeurs du paramètre « a » selon les fréquences au niveau de la station de Ghardaïa	36
Tableau VI.6 : valeurs du paramètre « b » selon la station	36
Tableau VI.7: Les caractéristiques des paramètres des bassins versants des oueds traversant notre tronçon	39
Tableau VI.8 : Les différents coefficients de ruissellement adoptent pour chaque Bassins versants.....	42
Tableau VI.9: Résultats des valeurs des débits calculés pour la crue centennale pour le nôtre tronçons (Méthode Rationnelle).....	43
Tableau VI.10 : Résultats des valeurs des débits calculés pour la crue centennale pour le nôtre tronçons (Méthode Mallet-Gauthier)	43

Tableau VI.11 : Les différents coefficients de rugosité selon la nature de l'ouvrage.	43
Tableau VI.12 : Dimensions des ouvrages de drainage pour notre tronçon.....	45
Tableau VI.13: Vérification hydraulique des ouvrages transversaux.....	47
Tableau VI.14 : Dimension de l'ouvrages de drainage (DALOT)	48
Tableau VI.15 : Liste globale des ouvrages projetés.....	49
Tableau VI.16 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai.	51
Tableau VI.17 : Dimensionnement du fossé proposé	52
Tableau VII.1 : Zones à risque d'inondation.....	58
Tableau VII.2 : Essais in-situ et les leurs objectifs	61
Tableau VII.3 : Résultats des sondages carottés.....	62
Tableau VII.4 : Coordonnées des puits de reconnaissance	63
Tableau VII.5 : Essai au pénétromètre dynamique.....	64
Tableau VII.6 : Les résultats de l'essai SPT.....	66
Tableau VII.7 : Essais au laboratoire et les leurs objectifs.....	67
Tableau VII.8 : Classification UIC 719R	68
Tableau VII.9 : récapitulatif des paramètres géotechniques à partir des sondages carottés.....	69
Tableau VII.10 : paramètres géotechniques à partir des puits de reconnaissance.....	69
Tableau VIII.1 : Caractéristiques du ballast	73
Tableau VIII.2: La classe de portance de la plateforme (Fiche UIC 719).....	76
Tableau VIII.3 : Les paramètres de dimensionnements et leurs valeurs (UIC 719R).....	78
Tableau VIII.4 : Dimensionnement de la couche d'assise.	79
Tableau VIII.5 : Structure de la voie.	79
Tableau IX.1 : Les cubatures des terrassements.	83
Tableau IX.2 : Les cubatures des couches d'assise.	83
Tableau X.1 : Les principales zones des remblais.....	84
Tableau X.2 : Les principales zones des déblais	86

Tableau X.3 : Caractéristique mécanique des déblais.....	87
Tableau X.4 : Caractéristique mécanique des remblais	88
Tableau X.5 : Liste des ouvrages d’art	90
Tableau X.6 : Liste des ouvrages ferroviaires.	90
Tableau XI.1 : les longueurs utiles des vois	96
Tableau XI.2 : Les caractéristiques des quais.....	98
Tableau XII.1 : Les risques ferroviaires	101
Tableau XII.2 : Aspect des signaux	103

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Réseau ferroviaire algérien.....	3
Figure I.2: Perspective du développement du réseau ferre national	5
Figure I.3: Récapitulation du taux de réalisation sur le réseau ferroviaire nationale	7
Figure II.1: Localisation du projet	8
Figure II.2: Localisation de la Wilaya de Ghardaïa	9
Figure II.3 : Localisation du projet.....	10
Figure III.1 : Les Composants de la Voie	13
Figure III.2 : Rail UIC60E1	14
Figure III.5 : Traverses en béton (Traverses bi bloc /Traverses mono bloc).....	16
Figure III.6 : Attache type Nabla.....	17
Figure III.7 : Un branchement et ses éléments constitutifs	18
Figure III.8 : Schéma illustrative de l'appareil de voie	19
Figure III.9 : Distribution des charges sur la voie	19
Figure IV.1 : Les éléments de tracé en plan	22
Figure V.1 : la valeur précise de la déclivité en fonction de sa longueur	29
Figure V.2 : Coordination du tracé en plan et du profil en long.....	30
Figure VI.1 : Graphe Variation des températures moyennes mensuelles au niveau de la station de Ghardaïa (2010-2024)	33
Figure VI.2 : Graphe Variation des moyennes mensuelles de l'humidité à la station de Ghardaïa (2010 2024)	33
Figure VI.3 : Graphe Variation des Précipitations moyenne mensuelles des stations de Ghardaïa (2010-2024).....	34
Figure VI.4 : Courbe de fréquence des débits maximaux journaliers selon la loi de Gumbel [10]	35
Figure VI.5 : Schéma d'un ouvrage buse	44
Figure VI.6 : Schéma d'un ouvrage busé.....	48

Figure VI.7: Fossé de forme trapézoïdal	50
Figure VII.1 : carte géologique locale et régionale	54
Figure VII.2 : Tracé projeté sur carte géologique d'Algérie 1/500 000	55
Figure VII.3 : Tracé projeté (avec notre tronçon) sur carte géologique d'Algérie 1/500 000 .	56
Figure VII.4 : classification sismique d'Algérie	57
Figure VII.5 : : Essai SPT	65
Figure VII.6 : Densité relative (SPT) des matériaux sableux	65
Figure VIII.1: Les couches d'assise	72
Figure VIII.2 : Ballast sur la voie.....	74
Figure VIII.3 : Les composants de la structure d'assise	80
Figure IX.1 : Constituant d'un profil en travers.....	82
Figure X.1 : Calcul de la stabilité statique du déblais	88
Figure X.2 : Calcul de la stabilité statique du remblais	89
Figure XI.1 : l'emplacement de la gare du Mansoura.....	94
Figure XI.2 : Implantation de garage franc	95
Figure XI.3 : Marque de garage franc	96
Figure XI.4 : Gabarits – Quais Voyageurs	98
Figure XI.5 : Schéma de la gare	98
Figure XII.1 : Signalisation lumineuse	101
Figure XII.2 : Signalisation mécanique.....	102
Figure XII.3 : Schéma illustratif du canton	104
Figure XII.4 : le système de contrôle des trains ERTMS.....	105
Figure XII.5 : Compteur d'essieux.....	106

ABRÉVIATION

ANESRIF : Agence Nationale d'Étude et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires.

SETI-RAIL : : Société d'Études Techniques et de l'Ingénierie du Rail

SNTF : Société Nationale des Transports Ferroviaires.

SNTF : Société Nationale des Transports Ferroviaires.

UIC : Union Internationale des Chemins de fer.

RPOA : Règlement Parasismique des Ouvrages d'Art.

RPA : Règlement Parasismique algérien.

A.P.D : Avant-Projet Détaillé.

PK : Point kilométrique.

NPHE : Niveau des Plus Haut Eaux.

TN : Terrain Naturel.

BV : Bassin versant.

Qps : Débit pleine section.

VPs : Vitesse pleine section.

H/V : Horizontal / Vertical.

VBS : Essai bleu de méthylène.

PU : Puit de reconnaissance.

SC : Sondage Carotté.

SPT : Essai de Pénétration Standard.

RN : **Route Nationale.**

B.V : Bâtiment Voyageurs.

ADV : Appareil De Voie.

GF : Garage Franc

Lu : Longueur Utile.

ERTMS : Européen Railways Traffic Management System.



INTRODUCTION

GENERALE



INTRODUCTION GENERALE :

Les infrastructures de transport constituent un facteur essentiel du développement économique et social d'un pays. Elles facilitent la mobilité des personnes et des marchandises, favorisent les échanges commerciaux et contribuent à l'aménagement équilibré du territoire. Parmi les différents modes de transport, le transport ferroviaire occupe une place stratégique grâce à sa capacité à assurer des déplacements sûrs, rapides et économiques, tout en répondant aux exigences actuelles de développement durable.

Dans le cadre de sa politique de modernisation des infrastructures de transport, l'Algérie a engagé un vaste programme de développement du réseau ferroviaire national visant à renforcer les liaisons entre les différentes régions du pays, notamment vers les Hauts-Plateaux et le Grand Sud. Le réseau ferroviaire algérien est aujourd'hui l'un des plus grands du continent africain, avec une ambition des autorités publiques de connecter toutes les villes du pays par le réseau ferroviaire. Actuellement, ce réseau s'étend sur plus de 4500 km.

Dans le cadre de ces programmes nationaux de développement ferroviaire, l'État prévoit la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire Ghardaïa – El Meniaa. Sur une distance de 230km Cette ligne représente un maillon important du réseau ferroviaire national puisqu'elle contribuera à désenclaver les régions sahariennes, à faciliter le transport des voyageurs et des marchandises et à accompagner le développement économique de la région.

Le présent mémoire porte sur l'étude d'Avant-Projet Détaillé (APD) du tronçon de 10 km dans le cadre de la réalisation de la Boucle Sud Est (du 39+00 au Pk 49+00). Il est également prévu l'étude de conception d'une gare du Mansoura.

L'étude vise à définir les caractéristiques techniques de la ligne tout en tenant compte des contraintes topographiques, géotechniques, hydrauliques et environnementales. Elle comprend notamment la conception géométrique du tracé, le dimensionnement de la plateforme ferroviaire et de la superstructure de la voie, ainsi que l'étude des ouvrages hydrauliques, des systèmes de drainage, de la signalisation ferroviaire et des aménagements nécessaires à l'exploitation de la ligne.

En fin, dans le chapitre de la gare on a fait une aménagement et conception de la gare, en suite on a fait un devis estimatif quantitatif, finalisant notre travail avec une conclusion générale.



CHAPITRE I

RÉSEAU FERROVIAIRE EN

ALGÉRIE



CHAPITRE I : RÉSEAU FERROVIAIRE EN ALGÉRIE

I.1. INTRODUCTION

Le transport ferroviaire occupe une place importante dans le système de transport en raison de sa capacité à répondre efficacement à la demande croissante de mobilité. Il constitue ainsi un complément essentiel aux autres modes de transport. Peu polluant, plus sûr et plus économique en termes d'énergie, le chemin de fer s'intègre harmonieusement dans l'environnement. Il joue un rôle fondamental dans l'aménagement du territoire et le désenclavement des zones déshéritées.

Dans la compétition entre divers moyens de transport, le chemin de fer conserve de nombreux atouts, notamment :

- **Régularité et ponctualité** : Les trains offrent des horaires fiables, permettant aux usagers de planifier leurs déplacements avec confiance.
- **Rapidité, confort et sécurité** : Les services ferroviaires modernes garantissent un voyage rapide et agréable, tout en minimisant les risques d'accidents.

L'évolution conjoncturelle observée dans de nombreux pays suscite un regain d'intérêt pour les voies ferrées, en raison de plusieurs facteurs supplémentaires :

- **Faible degré de pollution** : Le transport ferroviaire génère une émission de CO₂ à effet de serre bien inférieure à celle des autres modes de transport.
- **Dépense d'énergie primaire** : Le chemin de fer consomme nettement moins d'énergie que l'aviation et le transport routier, et même légèrement moins que la voie d'eau.

Reconnu comme un moyen de transport économique et quasi idéal, le ferroviaire répond également à des préoccupations environnementales croissantes, notamment :

- **Congestion routière** : L'augmentation du trafic routier accroît la consommation d'énergie, amplifie les nuisances environnementales et affecte l'efficacité des systèmes de transport.
- **Pollution** : Le transport ferroviaire contribue à réduire les niveaux de pollution atmosphérique.
- **Dommages corporels et matériels** : Les coûts élevés liés aux accidents de la route soulignent l'importance de promouvoir des alternatives plus sûres.

Ainsi, le réseau ferroviaire représente une solution efficace et durable pour répondre aux besoins de transport contemporains tout en préservant l'environnement.

I.2. RÉSEAU FERROVIAIRE ALGÉRIEN

Le chemin de fer algérien date de la seconde moitié du 19^{ème} siècle. Il sert au transport de personnes et de marchandises. L'ambition des pouvoirs publics est de connecter toutes les villes d'Algérie entre elles par le réseau ferroviaire. Actuellement ce réseau est de plus de 4 576 km dont 3854 km de lignes exploitées, 449 km de lignes en double voie et 323,15 km de lignes électrifiées.

CHAPITRE : RESEAU FERROVIAIRE EN ALGERIE

Le réseau ferroviaire est représenté sur la carte ci-après :

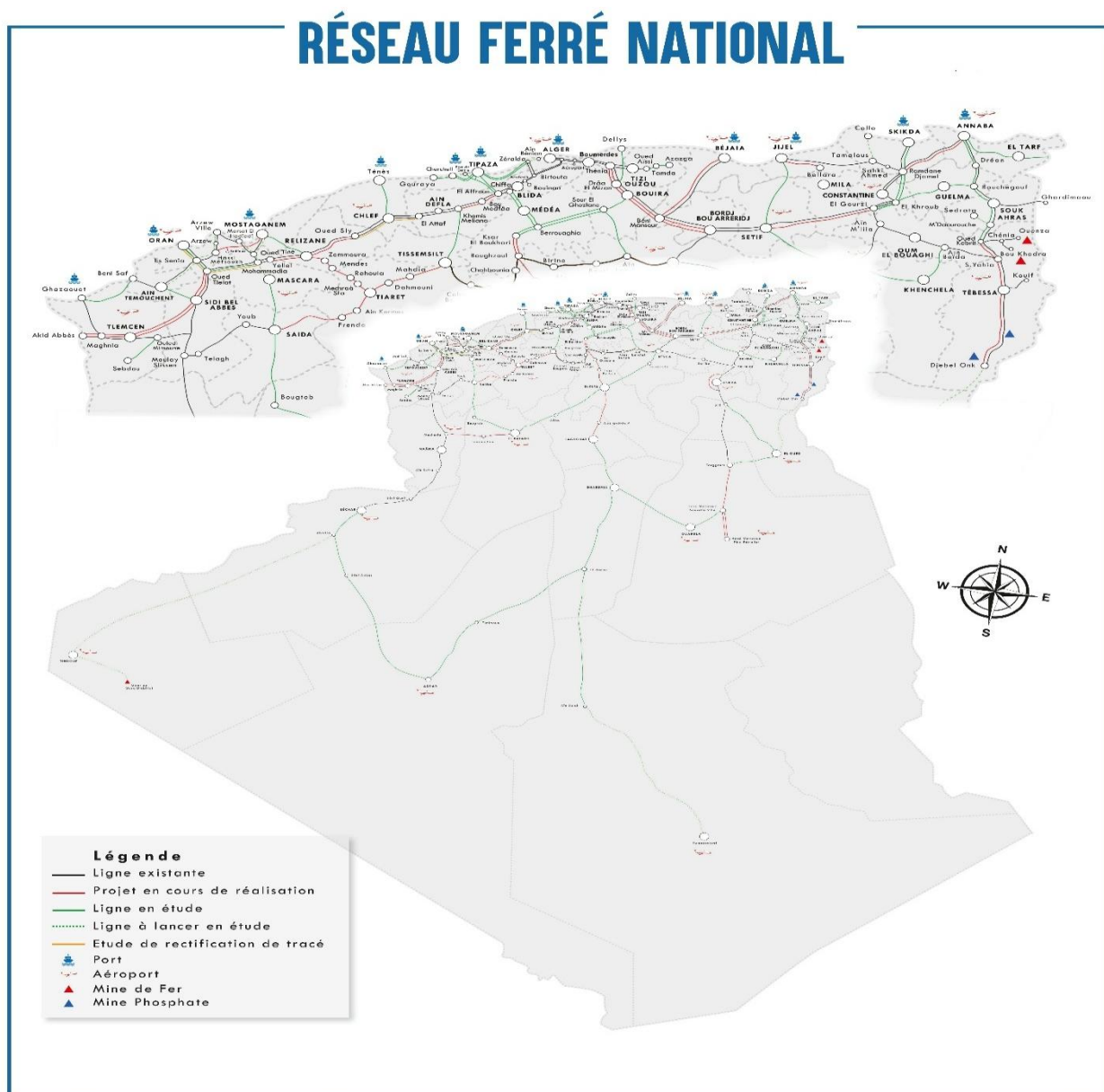


Figure I.1: Réseau ferroviaire algérien [1]

I.3. HISTORIQUE DES CHEMINS DE FER EN ALGÉRIE

I.3.1. Pendant la colonisation française :

L'histoire des chemins de fer d'Algérie commence le 8 avril 1857, avec un décret du gouvernement français qui autorise la construction de 1 357 km de chemins de fer dans la colonie d'Algérie. Le premier chantier, démarré le 12 décembre 1859, a porté sur la construction de la ligne Alger/Blida dans la Mitidja.

En 1876 roulent des trains de nuit. Dans les 30 ans qui suivirent, 2 035 km de lignes de chemin de fer vont s'ajouter au réseau, constituant l'armature du futur réseau ferroviaire algérien. Entre 1907 et 1946 une 3ème campagne d'investissement ajoute 1 614 km au réseau. Au début de

l'année 1925, on comptait 4724 km de chemins de fer auxquels il faut ajouter 127 km de tramways.

Le 27 Septembre 1912 est créée la Compagnie des Chemins de Fer Algériens de l'Etat (CFAE) qui prend le relais de l'exploitation des réseaux des concessionnaires à l'exception du réseau PLM. Le 30 Mai 1938, les lignes CFAE et PLM d'intérêt général sont rattachées à la SNCF récemment constituée, et le réseau algérien en devient une région. Le 1er Janvier 1939, est institué un Office des Chemins de fer Algériens (Office CFA).

En 1946, le réseau algérien comprend 5014 km de lignes en exploitation sans compter les embranchements miniers.

I.3.2. Après l'indépendance de l'Algérie :

La Société nationale des chemins de fer français en Algérie devient la Société nationale des chemins de fer algériens (en gardant le même sigle SNCFA) le 16 mai 1963

En 1975, le révolutionnaire Trans-Maghreb Casablanca-Oran-Alger-Tunis, entièrement composé d'un nouveau matériel INOX construit en France, est mis en service. Mais très rapidement, des problèmes politiques entre les États traversés provoquent sa limitation puis son arrêt définitif dans les années 1980.

Le 31 mars 1976 à la fin de la concession de l'État français, l'état algérien divise la SNCFA en trois organismes distincts, La Société nationale des transports ferroviaires (SNTF), la société nationale d'études et de réalisations de l'infrastructure ferroviaire (SNERIF) et la société d'ingénierie et de réalisation des infrastructures ferroviaires (SIF).

Un nouveau programme d'investissement permet la réalisation de 203 km de nouvelles lignes, le doublement de 200 km de voie sur la rocade nord et le renouvellement de 1 400 km de voie et ballast.

- En 1986, la crise financière poussera à la dissolution de la SNERIF et de la SIF dont les prérogatives sont reprises par la SNTF qui changera de statut en 1990.
- À la fin des années 1990, la SNTF exploite un réseau de 3 500 km.

La SNTF exploitait en 2014 un réseau ferroviaire de 3 854 km avec les caractéristiques suivantes :

- Longueur totale des lignes du réseau ferroviaire algérien s'élève à 4 573 km
- Longueur des lignes en exploitation : 3 854 km.
- Longueur des lignes en double voies : 450 km.
- Longueur des lignes en voie unique 3 404 km.
- Longueur des lignes électrifiées : 323,7 km.
- Nombre de gares et haltes : 410
- Nombre d'Ouvrages d'Art : 7800
- Nombre de tunnels : 137
- Nombre de passages à niveau : 1174

CHAPITRE : RESEAU FERROVIAIRE EN ALGERIE

Le réseau est en développement depuis quelques années à travers son extension et le développement de lignes à grande vitesse. La SNTF disposera aux horizons de 2025 d'un réseau de 6 553 km de voies standards et électrifiées.

D'après la classification mondiale des chemins de fer effectuée par CIA (central intelligence agency) en 2008 :

L'Algérie est classée à la 45ème place sur 134 pays au monde et occupe la 6e place au niveau africain, ainsi qu'elle est la première par rapport aux pays maghrébins.

I.4. PLAN DE DEVELOPPEMENT :

Ce programme comporte des opérations de renouvellement des voies existantes, et de renforcement des ouvrages d'art anciens (ponts et tunnels), la création de lignes nouvelles, l'extension de capacité des installations existantes pour l'amélioration des débits des lignes, L'Algérie se dote de plusieurs nouvelles lignes ferroviaires. Un peu partout, des projets sont en cours de réalisation.

Au total, **1116** kilomètres de chemins de fer sont actuellement en chantier dans le cadre du programme de densification et de modernisation du réseau. Certains sont déjà achevés, ou presque.

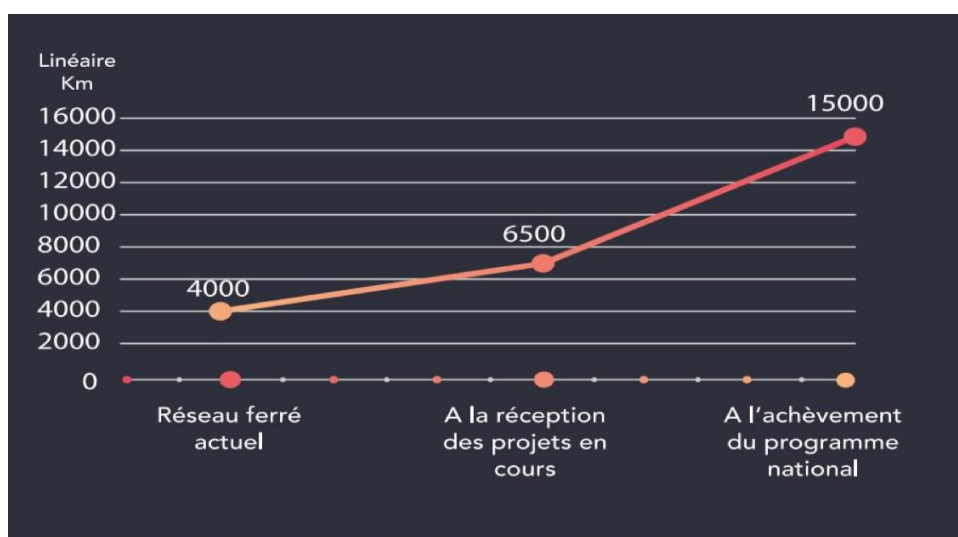


Figure I.2: Perspective du développement du réseau ferroviaire national [1]

❖ Rcade Nord et ses dessertes :

S'étendant le long de la bande côtière algérienne

- 1250 Km de linéaire d'Annaba à Akid Abbes et 572 km linéaire des dessertes
- 22 Wilaya desservies, représentant plus de 20 Millions d'habitants (Environ 50% de la population globale).
- 216 Gares et Haltes.
- 09 Grands Ports raccordés et à raccorder.

❖ **Rocade des Hauts Plateaux :**

C'est une ligne aux norme modernes, parallèle à la ligne nord traversant la plupart des wilayas des hauts plateaux allant à Tébessa à sidi bel Abbes

- 1160 km de linéaire (532 km en exploitation et 628 Km à 160 km/h en cours de réalisation)
- 10 Wilayas desservies, représentant environ 07 Millions d'habitants (Environ 20% de la population globale)

❖ **Ligne Minière Est :**

Cette ligne constitue un lien vital entre les du Sud Est du pays ; s'étendant d'Annaba aux mines de Djebel El Onk au sud sur linéaire du 388 km avec 31 Gares

- Travaux d'électrification Annaba (gare maritime) - Poste II (El Hadjar), Drean – Bouchegouf, Souk Ahras-Oued Kébrit, Oued Kébrit – Ouenza, Ain Chenia-Boukhadra avec longueur de 131 km.
- Elle travers 5 wilayas avec plus d'un million d'habitants.

❖ **Pénétrante Ouest, Est et Pénétrante centre :**

- Modernisation pour une vitesse moyenne de 160 km/h dans l'ouest.
- 90 km de ligne nouvelle à 220 km/h en travaux et 86 km de ligne nouvelle en étude dans le centre.
- Modernisation pour une vitesse moyenne de 160 km/h dans l'Est.
- Extension de la ligne vers Hassi Messaoud à une vitesse de 220 km/h.
- Signalisation et Télécommunications.

❖ **Boucle Sud-Est et Sud-Ouest :**

- 425 km de ligne nouvelle à 220 km/h en études Sud-Est
- 1500 km de ligne nouvelle à 220 km/h en études Sud-Ouest
- Signalisation et Télécommunications (ERTMS/GSMR)

	Linéaire réalisé	Taux de réalisation	Wilayas bénéficiaires	Population Bénéficiaire
Rocade Nord et ses Dessertes	920 Km	% 73.6	22	18,9 millions
Rocade des Hauts-Plateaux	628 Km	% 54.13	11	8,1 millions
Ligne Minière Est	177 Km	% 45.61	05	1,2 millions
Pénétrante Ouest	700 Km	% 43.75	09	06 millions
Pénétrante Est	171 Km	% 63.15	09	6,9 millions
Pénétrante Centre	290 Km	% 65.75	05	7,9 millions

Figure I.3: Récapitulation du taux de réalisation sur le réseau ferroviaire nationale [1]

I.5. CONCLUSION :

Le transport ferroviaire joue un rôle essentiel dans le développement économique d'un pays. À cet égard, l'Algérie met actuellement en œuvre un programme ambitieux et particulièrement riche en projets, visant à moderniser et à renforcer le réseau ferroviaire national. Ce programme contribuera à faciliter le transport des voyageurs ainsi que celui des marchandises, tout en soutenant la dynamique de développement économique et territorial du pays.



CHAPITRE II

PRÉSENTATION DU PROJET



CHAPITRE II : PRÉSENTATION DU PROJET

II.1. INTRODUCTION ET OBJECTIF DU TRAVAIL

Dans le cadre de son programme pour le développement des transports ferroviaires inscrit au plan quinquennal du secteur du transport Algérien, l'ANESRIF (Agence Nationale d'Etudes et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires) prévoit le développement du réseau ferroviaire national. Ce plan de développement intègre la construction d'une nouvelle ligne ferroviaire électrifiée entre Ghardaïa et Ménée d'une longueur d'environ 230 km pour une exploitation à 220 km/h pour les voyageurs et 100km/h pour les marchandises.

Cette nouvelle ligne fait partie de la boucle ferroviaire du Sud -ouest qui permettra l'extension, le maillage et l'interconnexion des nouvelles lignes avec les lignes existantes et le désenclavement des régions du Sud du pays.

Assure essentiellement un trafic mixte (Voyageurs, Marchandises) et représente un transport de masse d'une grande capacité essentiellement pour les grandes agglomérations à caractère commercial et industriel.

Dans le cadre des prestations, objet de la présente étude, sa prise en charge fait partie d'une combinaison optimale entre les différents modes de transport, qui pourrait faire face à la demande et être l'élément majeur de prévision économique.

Ce projet de la nouvelle ligne Ghardaïa- Ménée fait partie de la Boucle Sud-Ouest passant par les villes Mansourah et Hassi -Lefhal, rentre dans le cadre du programme d'étude des lignes ferroviaires nouvelles -catégorie -II-.

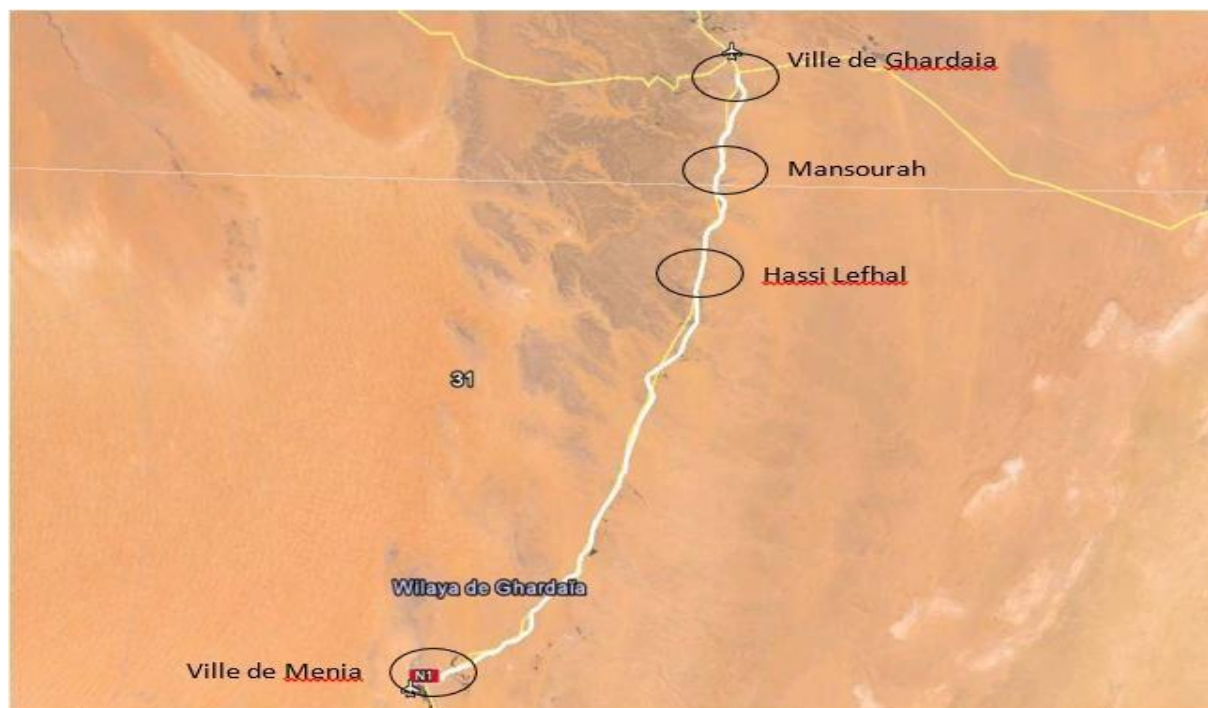


Figure II.1: Localisation du projet [2]

II.2. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude se situe au sud-Est Algérien dans la wilaya de Ghardaïa qui est située au centre de la partie Nord du Sahara algérien, elle est délimitée :

- Au nord par la wilaya de Laghouat.
- Au nord-est par la wilaya de Djelfa.
- À l'est par la wilaya de Ouargla.
- Au sud par la wilaya de Tamanrasset.
- Au sud-ouest par la wilaya d'Adrar.
- À l'ouest par la wilaya d'El Bayadh.



La population de la wilaya est concentrée dans les grandes agglomérations, chefs-lieux des communes. La vallée du Mzab regroupe plus de la moitié de la population. La population de la wilaya de Ghardaïa était de 363 598 habitants. La wilaya de Ghardaïa compte 9 daïras et compte 10 communes.



Figure II.2: Localisation de la Wilaya de Ghardaïa [2]

II.2.1. RELIEF :

La wilaya de Ghardaïa se caractérise par trois principales zones géographiques :

- Le Grand Erg Oriental : dont les dunes peuvent atteindre une hauteur de 200 m ;
- La hamada : un plateau caillouteux ;
- La vallée du Mzab, c'est dans le creux de l'Oued M'Zab, que sont construites les cinq cités du Mzab où se situe notre projet.

L'ensemble géomorphologique dans lequel s'inscrit le M'Zab est un plateau rocheux, la Hamada, dont l'altitude varie entre 300 et 800 mètres.

II.2.2. CLIMAT

Le climat de la wilaya est de type désertique chaud ; il se caractérise par un été torride, long et un hiver doux, court aux journées chaudes et aux nuits froides. La pluie est rarissime et tombe généralement en automne et en hiver.

II.2.3. SISMICITÉ

D'après le Règlement parasismique Algérien « RPA 2024 », le territoire national est divisé en sept (07) régions sismiques.

La wilaya de Ghardaïa est classée comme une zone de sismicité faible à négligeable c'est-à-dire en zone 1.

II.3. PRÉSENTATION DU PROJET

Le présent projet a pour objet l'étude dans la phase Avant-projet détaillé, la ligne de chemin de fer Ghardaïa–Ménéa exactement entre les points kilométriques (Pk 39+000 et Pk 49+000) sur linéaire de 10 km avec l'aménagement de la gare Mansourah.

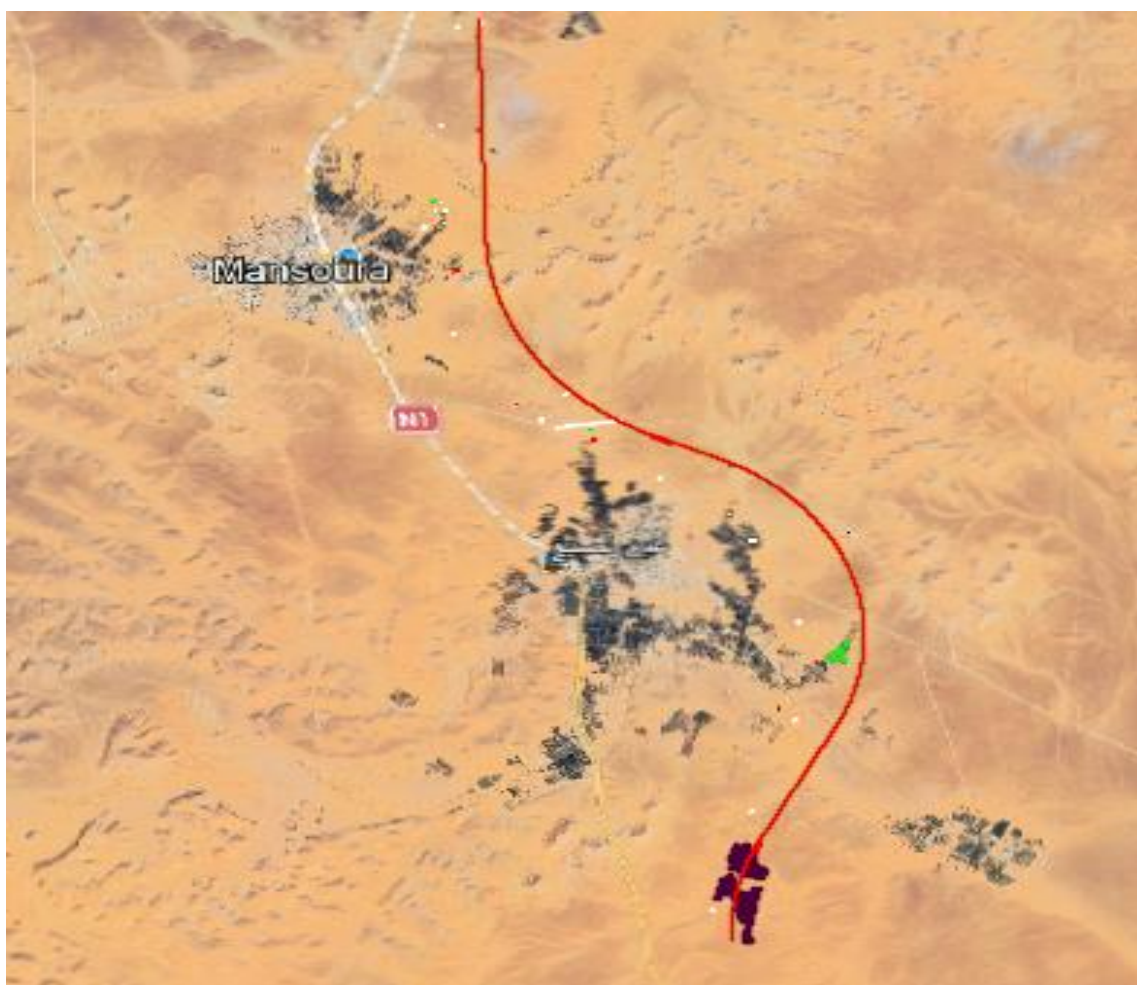


Figure II.3 : Localisation du projet [3]

II.3.1. Les caractéristiques du projet :

❖ Conditions de Base :

Le tracé est conçu pour une ligne de chemin de fer à voie unique sur plateforme à voie simple. Cependant, tous les ouvrages d'art comme les ponts rails, les ponts routes...etc. ont été dimensionnés pour une extension par une deuxième voie et une électrification ultérieure, pour éviter les problèmes d'élargissement de ces ouvrages et pour ne pas fermer la voie ultérieurement lors de l'extension.

❖ Caractéristiques de Base :

- Longueur 10 km.
- Ligne à traction mixte.
- Ligne mixte voyageurs – marchandises.
- Vitesse de voyageurs est 220 km/h.
- Vitesse de marchandises est 100 km/h
- Pont-rail et pont-route prévus pour double voie.
- Les croisements entre la ligne ferroviaire et les différents routes et piste, seront traités par des passages dénivelés.
- Signalisation de type ERTMS

II.3.2. Caractéristiques de la Voie

❖ Ecartement :

La voie normale sera construite à écartement normal $e = 1435$ mm sans sur écartement dans les courbes. Largeur de la plateforme : plateforme à voie simple de 8.00 m de largeur.

❖ Gabarit :

Le gabarit à dégager est celui des lignes à grande vitesse, c'est-à-dire le gabarit GC de l'UIC : (y compris caténaire en 25 KV / hauteur libre au-dessus de la surface du rail) minimum est de 7,50 m)

❖ Hauteur libre des ponts - routes :

La hauteur minimale a été fixée à 6,35 m par la SNTF, sauf cas particuliers qui feront l'objet d'études spécifiques telles que :

La hauteur minimale a été fixée à 7,13 m pour notre projet (pour permettre l'emplacement des caténaires), Cette distance sera mesurée dans l'axe de la voie à partir du niveau du plan de roulement de la voie considérée et dans les conditions les plus défavorables.

❖ Charges à l'essieu :

- Infrastructure 22,5 t
- Ouvrages d'art 25t

❖ Électrification :

- En 25KV / 50 Hz.

II.3.3. Superstructure :

❖ Rails :

En pleine voie et en gares, rail UIC 60 E1

❖ Traverse :

Type de traverse : Monobloc

❖ Attache :

Attaches élastiques de type NABLA.

❖ Semelle :

Semelle élastique en élastomère d'une épaisseur de 9mm, collé sur la table d'appui des traverses.

❖ Appareils de voie :

Choisis dans la gamme ci-après :

- UIC-60 300-1 : 9 pour Vitesse : 50 km/h
- UIC-60 500-1 : 12 pour Vitesse : 65 km/h

Les détails de la superstructure sont présentés dans le chapitre III.

II.4. CONCLUSION :

Les pouvoirs publics ont mis en œuvre un ambitieux programme d'investissement à l'effet de relancer le secteur des transports. Le projet de la nouvelle ligne ferroviaire objet du présent mémoire fait partie dudit programme, reliant Ghardaïa–Ménéa allons du PK 39+000 au PK 49+000 avec une vitesse de 220 Km/h avec une largeur de plate-forme en voie simple est de 8m soit en déblais ou remblais. Tout en considérant que la ligne peut être électrifiée à l'avenir.



CHAPITRE III

SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE



CHAPITRE III : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

III.1. INTRODUCTION

La voie ferrée est constituée par deux parties distinctes (la superstructure et infrastructures). L'infrastructure de la voie ferrée comporte : L'ouvrage en terre, les ouvrages d'arts, les galeries souterraines et les tranchées. La superstructure comporte deux rails dont l'inclinaison et l'écartement sont maintenus par des traverses qui sont elles-mêmes, disposées le long de la voie et reposées sur une couche de ballast ; les accessoires d'attache et de fixation qui remplissent chacun un rôle précis.

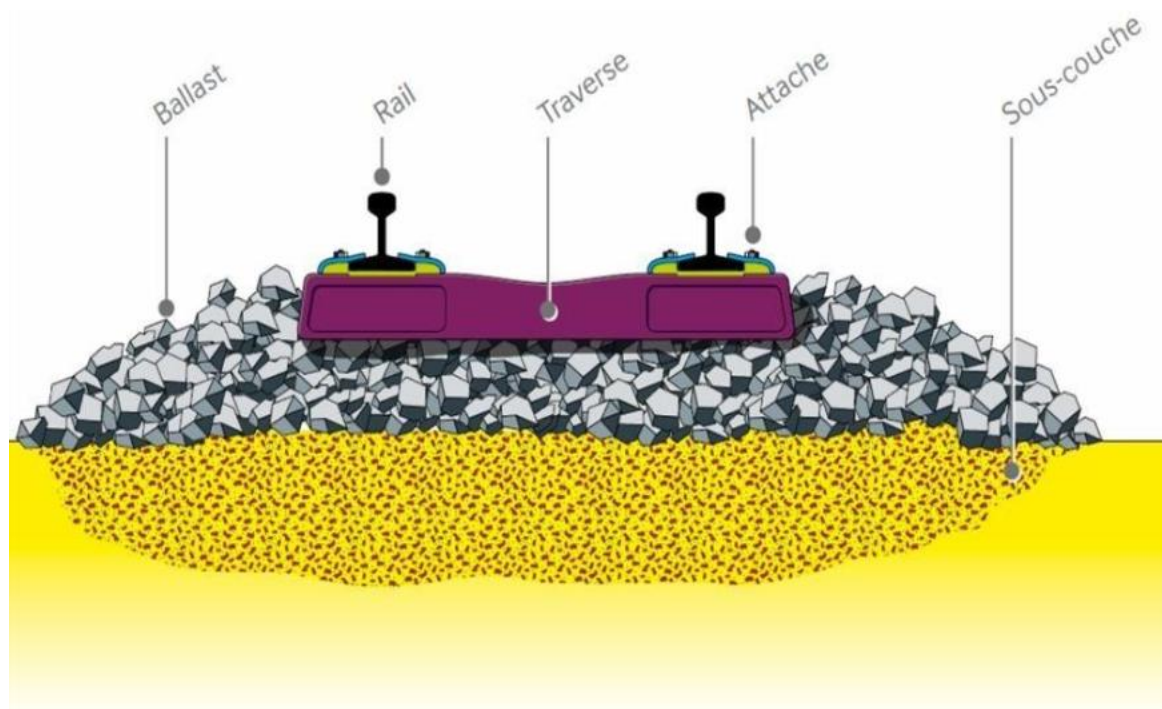


Figure III.1 : Les Composants de la Voie [18]

III.2. L'ARMEMENT DE LA VOIE :

III.2.1. Les rails :

Le rail est le premier élément entre le train et la voie, La caractéristique essentielle d'un rail est son poids au mètre linéaire. Constitue un chemin de roulement et de guidage ; ils sont également conducteurs électriques du retour traction et servent de support au courant de signalisation. La longueur des rails est de 18m et 36m.

III.2.1.1. Le rôle du rail :

Le rail doit assurer les fonctions suivantes :

- Supporter la charge des roues et les efforts dynamiques qui en résultent.
- Former une surface de roulement continue et plane qui permet de minimiser les efforts de traction.
- Assurer le guidage des véhicules en courbe, en reprenant les efforts transversaux dus à la force centrifuge.

- Reprendre les efforts longitudinaux provoqués par l'accélération, le freinage et la résistance au roulement des convois.
- Transmet le courant électrique, pour assurer la signalisation et pour la traction des trains sur les lignes électrifier.

III.2.1.2. Type de rails :

❖ Le rail Vignole :

Ce type est généralement utilisé pour le cas des trains de transport de marchandise et de transport de voyageur à longue distance. Le profil est composé de :

Le rail Vignole est constitué de 3 parties principales, le champignon, l'âme et le patin :

- **Le champignon** : Le profil du bourrelet du rail et celui du bandage de la roue sont étudiés en vue de réaliser les meilleures conditions de roulement et d'assurer le guidage le plus satisfaisant du mentonnet de la roue.
- **L'âme** : L'âme résiste au cisaillement produit par le chargement de la voie.
- **Le patin** : Le patin constitue une sorte de buté contre le renversement du rail suite aux efforts transversaux.

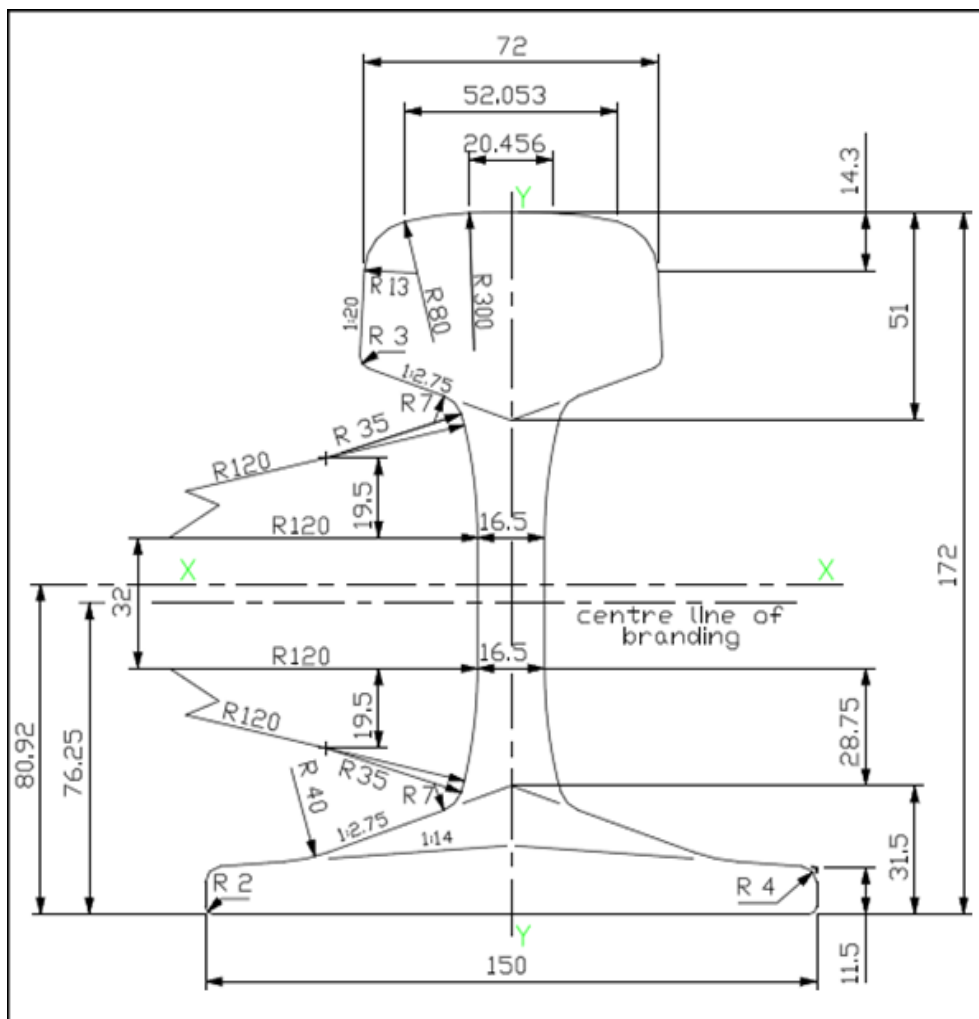


Figure III.2 : Rail UIC60E1 [2]

Caractéristique	Valeur
Masse	60.21 kg/ml
Surface de la section	76.7 cm ²
Hauteur du rail	172 mm
Largeur du champignon	72 mm
Largeur du patin	150 mm
Moment d'inertie (axe x-x)	3038.3 cm ⁴
Moment d'inertie (axe y-y)	512.3 cm ⁴
Résistance à la traction	$R \geq 880 \text{ N/mm}^2$
Allongement	$R \geq 10\%$
Dureté au milieu de la table de roulement	260-300 HBW

Tableau III.1: Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1 [2]

Le type de rail utilisé pour notre projet et le rail UIC 60 E1.

III.2.1.3. Assemblage des rails :

Les rails, fabriqués en longueurs de 18 à 36 m, sont reliés à leurs extrémités par éclissage ou soudage afin d'assurer la continuité et la stabilité de la voie ferrée.

❖ Eclisse :

Les éclisses sont des pièces métalliques boulonnées reliant deux rails adjacents. Elles assurent leur jonction mécanique et la transmission des efforts, notamment dans les zones particulières de la voie comme les aiguillages.

❖ Soudures :

Les rails sont soudés électriquement pour former des longues barres soudées (LRS), améliorant la continuité et le confort de la voie. Pour le rail 60E1, les barres de 18 m sont assemblées en éléments de 180 m, puis reliées sur site par soudure aluminothermique, assurant une jonction continue et résistante.

III.2.2. Les traverses :

Une traverse est un élément fondamental de la voie ferrée. C'est une pièce posée en travers de la voie, sous les rails, pour en maintenir l'écartement et l'inclinaison, et transmettre au ballast les charges des véhicules circulant sur les rails. On utilise principalement des traverses en bois ou en béton.

Le nombre de traverses utilisées par Kilomètre (travelage) est généralement de 1666 traverses/Km selon la SNTF, Dans le cas de notre projet les traverse sont espacé de 0.6m.

❖ Traverses en béton :

Les traverses en béton précontraint, d'une durée de vie d'environ 50 ans, ont été introduites pour remplacer les traverses en bois. Grâce à leur résistance, leur bon ancrage dans le ballast et leur coût compétitif, elles sont de plus en plus utilisées, notamment sur les lignes à grande vitesse. Les rails y sont fixés par des attaches élastiques équipées d'isolants en caoutchouc.



Figure III.3 : Traverses en béton (Traverses bi bloc /Traverses mono bloc) [3]

Il en existe deux types, la traverse bi-bloc et la traverse monobloc.

- **Bibloc** : deux blocs sont reliés par une entretoise en acier pour maintenir l'écartement.
- **Monobloc** : poutre en béton précontrainte elle offre une meilleure résistance à la flexion que la traverse bibloc et une meilleure répartition des charges verticales (pas de poinçonnages).

Le type de traverse de notre projet et traverse en béton (monobloc)

III.2.3. Les Attaches :

Les Attaches rail-traverse assurent la fixation du rail sur la traverse et résistent aux mouvements verticaux, latéraux et longitudinaux du rail, une semelle d'élastomère cannelée de 9 mm d'épaisseur est posée entre le rail et la traverse

III.2.3.1. Le rôle des attaches :

- Assurer le serrage du rail sur la traverse
- Encaisser les efforts longitudinaux et dynamiques au passage des trains
- Assurer le positionnement du rail sur la traverse.

III.2.3.2. Les types d'attaches :

Il existe plusieurs types et techniques d'attache, selon le type de traverses. **Dans ce projet, les attaches élastiques considérées pour rail 60E1 avec les traverses de béton monobloc M450NP, sont du type Nabla.**

❖ L'attache de type NABLA :

La plus utilisée actuellement est constituée par un crapaud (lame-ressort) maintenu par un écrou vissé sur une tige filetée dans des encoches accrochées dans le blochet.



Figure III.4 : Attache type Nabla [3]

III.2.4. L'appareil de voie :

L'exploitation des voies ferrées exige des dispositifs de liaison et d'intersection des itinéraires, que l'on désigne sous le terme général d'appareils de voie. Un appareil de voie est un élément de la voie ferrée qui permet d'assurer le support et le guidage du matériel roulant ferroviaire sur un itinéraire donné. Ils permettent le passage d'une voie à une ou plusieurs sans interrompre leur circulation.

Les "appareils de voie" sont constitués de rails spéciaux (croisement de rails) et d'éléments mobiles (aiguille).

Les appareils de voie sont appelés aiguillage dans le langage courant : Il existe trois catégories d'aiguilles :

- Le branchement simple.
- Le croisement. Ou traversée simple.
- La traversée jonction (qui peut être simple ou double) ou combinaison des deux derniers.

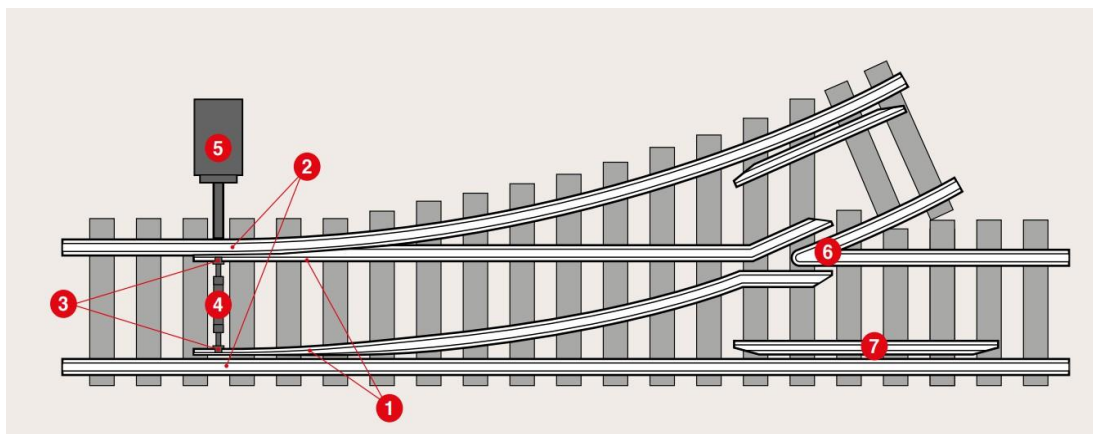


Figure III.5 : Un branchement et ses éléments constitutifs [13]

- 1) **L'aiguille** ou **lame** est l'élément le plus important d'un aiguillage : c'est la partie flexible qui vient se plaquer contre le rail de la voie directe pour dévier le train sur une autre voie.
- 2) **La contre-aiguille** est la partie fixe du rail, sur laquelle l'aiguille vient buter.
- 3) **Le verrou** ou **griffe d'aiguille** maintient l'aiguille en place dans la position ouverte ou fermée.
- 4) **La tringle** est la tige qui actionne l'aiguillage et qui maintient le bon écartement entre les aiguilles.
- 5) **Le moteur d'actionnement** fait bouger la tringle et les aiguilles.
- 6) **Le cœur de croisement** est la partie où les rails se croisent.
- 7) **Le contre-rail** sert à guider et à assurer l'essieu durant le franchissement du croisement.

Pour notre projet on utilise :

- **UIC-60 300-1:9** avec une vitesse de 50 km/h
- **UIC-60 500-1:12** avec une vitesse de 65 km/h

Appareil de voie (1/n)	R (m)	a(m)	b(m)	C(m)	V (km/h)
1/12	500	20.797	22.684	22.684	65
1/9	300	16.616	17.922	19.922	50

Tableau III.2 : les caractéristiques d'appareils de voie [13]

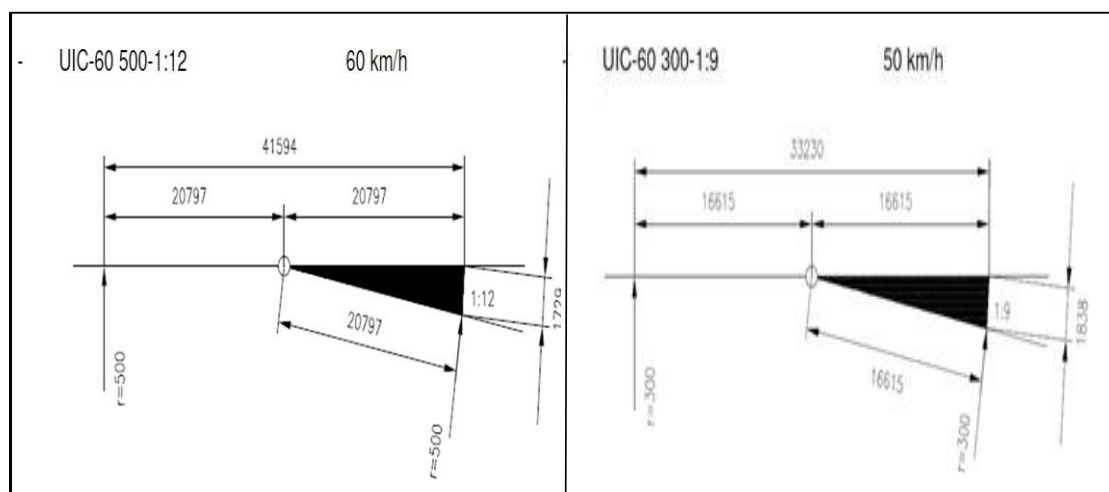


Figure III.6 : Schéma illustrative de l'appareil de voie [13]

Pourquoi une telle superposition de structures ?

Les différents éléments de la superstructure et de l'infrastructure permettent de diminuer la pression exercée au sol, sous l'effet du poids des convois.

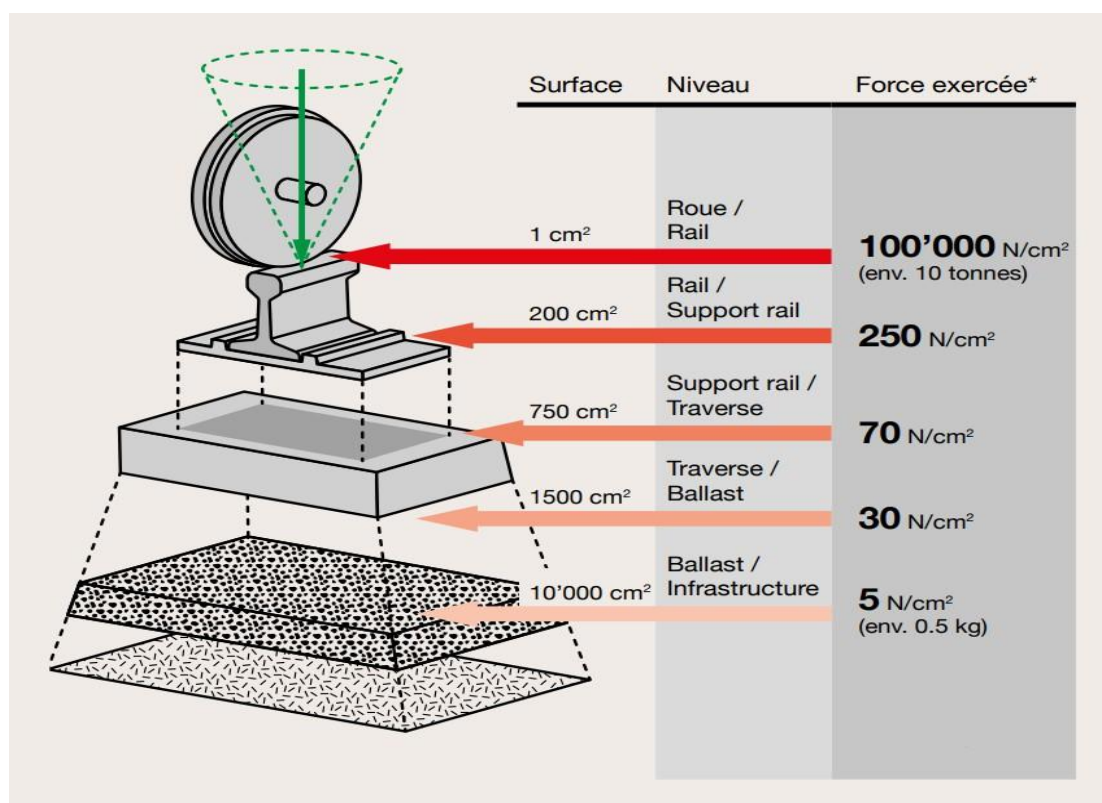


Figure III.7 : Distribution des charges sur la voie [2]

III.3. CONCLUSION :

La superstructure de la voie ferrée regroupe l'ensemble des éléments essentiels assurant l'interface directe entre l'infrastructure et le matériel roulant, à savoir les rails, les traverses, le ballast et les systèmes d'attache. Ces composantes fonctionnent de manière complémentaire afin de garantir le guidage des trains, la répartition des charges, la stabilité de la voie ainsi que la sécurité des circulations.

En effet, les rails supportent et transmettent les efforts générés par le passage des trains, tandis que les traverses maintiennent l'écartement et assurent une bonne distribution des charges vers le ballast. Ce dernier joue un rôle fondamental dans la stabilité, le drainage et l'amortissement des vibrations. Par ailleurs, les systèmes d'attache assurent la fixation et la continuité de l'ensemble.

Ainsi, la performance et la durabilité de la voie ferrée dépendent étroitement de la qualité, de la mise en œuvre et de l'entretien de ces différents éléments. Toute défaillance au niveau de l'un de ces composants peut affecter l'intégrité de la voie et compromettre la sécurité de l'exploitation ferroviaire.



CHAPITRE IV

TRACÉ EN PLAN



CHAPITRE IV : TRACÉ EN PLAN

IV.1. INTRODUCTION

Le tracé en plan représente la projection horizontale de l'axe de la voie ferrée sur un plan topographique. Il est défini dans un repère cartésien et tient compte du relief du terrain à travers les courbes de niveau.

Sa géométrie est constituée d'une succession d'alignements droits, de courbes circulaires et de courbes de transition, généralement de type clothoïde, assurant une variation progressive de la courbure et garantissant les conditions de sécurité et de confort des circulations.

Le dimensionnement du tracé en plan est principalement régi par deux vitesses caractéristiques :

- La vitesse des trains voyageurs V_v .
- La vitesse des trains de marchandises V_m .

IV.2. Règles à respecter dans le tracé en plan

Le tracé en plan doit assurer le confort des voyageurs et un compromis économique entre les coûts de maintenance de la voie et ceux du matériel. Pour atteindre ces objectifs, on doit respecter les conditions et les recommandations suivantes :

- Adapter le tracé en plan au terrain naturel et Suivre les courbes de niveau afin d'éviter les terrassements importants.
- Eviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières.
- Eviter au maximum les propriétés privées.
- Eviter le franchissement des oueds afin d'éviter le maximum d'ouvrages d'arts et cela pour des raisons économiques.
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques.
- Essayer d'utiliser le maximum d'alignement.
- Respecté Le rayon et les longueurs minimum recommandé par la SNTF.

IV.3. CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES :

Comme déjà mentionnée précédemment le tracé en plan est un ensemble d'alignements droits raccordés entre eux par des arcs et des courbes de raccordements.

Pour une vitesse V du train on établit les paramètres Géométrique qui sont fixés par les recommandations de la SNTF Qui assure la stabilité des trains et le confort des voyageurs.

Vitesse voyageurs V_v	220 Km
Vitesse marchandises V_m	100 Km

Tableau IV.1: Vitesse des trains maximale [2]

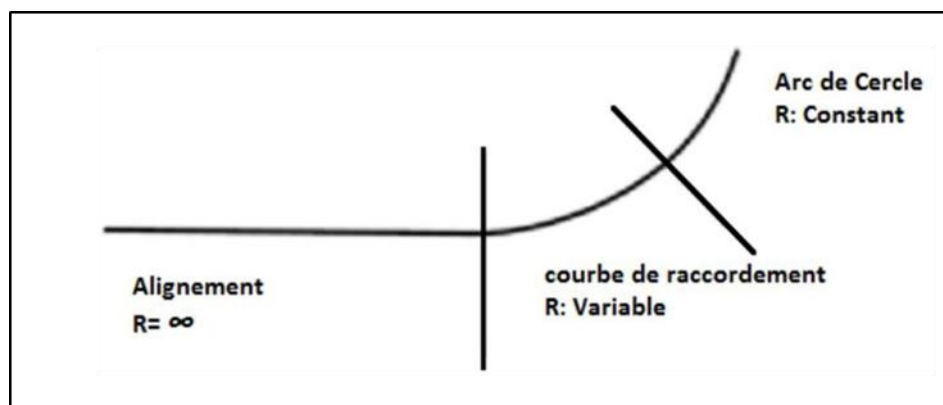


Figure IV.1 : Les éléments de tracé en plan [8]

	Formule		Application	
	Normal	Exceptionnel	Normal	Exceptionnel
Dévers maximal d (mm)	-	-	160	180
$R_{min} = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{d_{max} + l_{max}}$ (m)	$\frac{11.8 \times V_{max}^2}{d_{max} + l_{max}}$	$\frac{11.8 \times V_{max}^2}{d_{max} + l_{max}}$	1842	1680
Longueurs minimales des alignements et des pleines courbes (m)	$\frac{V_{max}}{2}$	$\frac{V_{max}}{3}$	110	73
Insuffisance de dévers admissible I (mm)	$I = \alpha_{nc} * a/g$	$I = \alpha_{nc} * a/g$	150	160
Excès de dévers admissible E (mm)	-	-	110	130
Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur dd/dL (mm/m)	$\frac{180}{V_{max}}$	$\frac{216}{V_{max}}$	0,818	0,982
Limite de la variation de Dévers par rapport au temps dd/dt (mm/s)	-	-	50	60
Limite de la variation d'insuffisance de Dévers par rapport au temps (mm/s)	-	-	75	90

Tableau IV.2 : Paramètres géométriques de tracé en plan (SNTF) [8]

IV.3.1. Application au projet

D'après le tableau précédent et pour une vitesse de 220km/h, le rayon minimal normal est de 1842 m.

Donc tous les rayons du notre tracé doivent être supérieure au $R_{min} = 1842m$.

IV.3.1.1. Calcul des paramètres pour les différents rayons de notre trace

❖ Pour le premier rayon $R=2200$ m

Dévers théorique : $dth = 11.8 * \frac{V_{max}^2}{R}$

- $dth(voyageurs) = 11.8 * \frac{220^2}{2200} = 259.6 \text{ mm}$

- $dth(marchandises) = 11.8 * \frac{100^2}{2200} = 53.63 \text{ mm}$

Le coefficient de dévers : $C = 0.006 \times V_{max}^2 = 290.40$

La valeur de C doit être multiple de 15 et doit répondre à la relation suivante :

$$0.5 < \frac{C}{0.0118 * V_{max}^2} = 0.53 < 0.7$$

Alors dans ce cas on prend **C=300**.

Dévers pratique :

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

$$dp = 1000 * \frac{C}{R} = 1000 * \frac{300}{2200} = 136.36 \text{ mm}$$

$$dp(adopte) = 140 \text{ mm} < 160 \text{ mm } \textit{verifier}$$

Insuffisance de dévers :

$$I = dth(voy) - dp = 259.6 - 140 = 119.6 \text{ mm} < 150 \text{ mm } \textit{verifier}$$

Excès de dévers:

$$E = dp - dth(march) = 140 - 53.63 = 86.37 \text{ mm} < 110 \text{ mm } \textit{verifier}$$

La longueur de clothoïde:

$$Lrp = \frac{dp}{\frac{dd}{dl}} = \frac{dp}{\frac{180}{V_{max}}} = \frac{140}{0.818} = 171.15 \text{ m}$$

$$Lrp(adopte) = 200 \text{ m}$$

La variation de dévers par rapport à la longueur :

$$\frac{dd}{dl} = \frac{dp}{Lrp} = \frac{140}{200} = 0.7 \text{ mm/m} < 0.818 \text{ mm/m } \textit{verifier}$$

La variation du dévers par rapport au temps :

$$\frac{dd}{dt} = \frac{dp}{Lrp} * \frac{V_{max}}{3.6} = \frac{140}{200} * \frac{220}{3.6} = 42.78 \text{ mm/s} < 50 \text{ mm/s } \textit{verifier}$$

La variation d'insuffisance de dévers par rapport au temps :

$$\frac{dI}{dt} = \frac{I}{Lrp} * \frac{V_{max}}{3.6} = \frac{119.6}{200} * \frac{220}{3.6} = 36.54 \text{ mm/s} < 75 \text{ mm/s } \textit{verifier}$$

Paramètre du clothoïde :

$$A = \sqrt{L_{rp} * R} = \sqrt{200 * 2200} = 663.32 \text{ m}$$

❖ Pour le deuxième et le troisième rayon R=1900

Dévers théorique : $dth = 11.8 * \frac{V_{max}^2}{R}$

- $dth(voyageurs) = 11.8 * \frac{220^2}{1900} = 300.6 \text{ mm}$
- $dth(marchandises) = 11.8 * \frac{100^2}{1900} = 62.11 \text{ mm}$

Le coefficient de dévers : $C = 0.006 * V_{max}^2 = 290.40$

La valeur de C doit être multiple de 15 et doit répondre à la relation suivante :

$$0.5 < \frac{C}{0.0118 * V_{max}^2} = 0.53 < 0.7$$

Alors dans ce cas on prend C=300.

Dévers pratique :

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

$$dp = 1000 * \frac{C}{R} = 1000 * \frac{300}{2200} = 157.89 \text{ mm}$$

$$dp(adop\acute{t}e) = 158 \text{ mm} < 160 \text{ mm } \textit{verifier}$$

➤ **Insuffisance de dévers :**

$$I = dth(voy) - dp = 300.6 - 158 = 142.6 \text{ mm} < 150 \text{ mm } \textit{verifier}$$

Excès de dévers:

$$E = dp - dth(march) = 158 - 62.11 = 95.89 \text{ mm} < 110 \text{ mm } \textit{verifier}$$

La longueur de clothoïde:

$$L_{rp} = \frac{dp}{\frac{dd}{dl}} = \frac{dp}{\frac{180}{V_{max}}} = \frac{158}{0.818} = 193.15 \text{ m}$$

$$L_{rp}(adop\acute{t}e) = 200 \text{ m}$$

La variation de dévers par rapport à la longueur :

$$\frac{dd}{dl} = \frac{dp}{L_{rp}} = \frac{158}{200} = 0.79 \text{ mm/m} < 0.818 \text{ mm/m } \textit{verifier}$$

La variation de dévers par rapport au temps :

$$\frac{dd}{dt} = \frac{dp}{L_{rp}} * \frac{V_{max}}{3.6} = \frac{158}{200} * \frac{220}{3.6} = 48.28 \text{ mm/s} < 50 \text{ mm/s } \textit{verifier}$$

La variation d'insuffisance de dévers par rapport au temps :

$$\frac{dI}{dt} = \frac{I}{L_{rp}} * \frac{V_{max}}{3.6} = \frac{142.6}{200} * \frac{220}{3.6} = 43.57 \text{ mm/s} < 75 \text{ mm/s } \textit{verifier}$$

Paramètre du clothoïde:

$$A = \sqrt{L_{rp} * R} = \sqrt{200 * 1900} = 616.44 \text{ m}$$

Vérification de la longueur minimale entre deux raccordements progressifs :

Selon le logiciel COVADIS on trouve que la longueur entre le premier et le deuxième clothoïde est de 284.85 m et entre le deuxième et le troisième clothoïde on a une longueur de 1044.49 m.

N°	Elément	Param A	Dist. cum. (m)	Dist. part. (m)	Gisement (g)	Rayon (m)	Contrôle
4	Clothoïde 2	663.3250	42717.6654	200.0000		2200.0000	
5	Droite 2		43002.5209	284.8555	126.1236		
6	Clothoïde 3	616.4414	43202.5209	200.0000		1900.0000	
7	Arc 2		46129.3294	2926.8086		1900.0000	
8	Clothoïde 4	616.4414	46329.3294	200.0000		1900.0000	
9	Droite 3		47373.8226	1044.4931	230.8914		
10	Clothoïde 5	616.4414	47573.8226	200.0000		1900.0000	
11	Arc 3		48231.5164	657.6938		1900.0000	

Tableau IV.3 : Tableau récapitulatif des longueurs entre deux clothoïde [3]

On trouve que les deux valeurs sont supérieures à longueur minimale de 110 m (V/2)

Avec : V= 220 km/h.

CHAPITRE : TRACE EN PLAN

Dans le tableau suivant sont présentées le listing des paramètres et des dévers correspondant à chaque rayon qui se trouve pour le tracé sur plan du tronçon d'étude pour $V_{oy} = 220 \text{ km/h}$ et $V_{mar} = 100 \text{ km/h}$:

Rayon (m)	$dth \text{ (mm)}$	C	C adopté	Vérification C	dp (mm)	dp adopté	l (mm)	E (mm)	Lrp (m)	Lrp adopté	dd/dL (mm/m)	dd/dt (mm/s)
	$\frac{11.8 \times V_v^2}{R}$	$0,006 \times V_v^2$	-	$\frac{C}{0,0118 \times V_v^2}$	$1000 \times (C/R)$	-	dth-dp	dp-dth(mar)	dp/(dd/dL)	-	dp/Lrp	$(dp/Lrp) \times (V_{max}/3.6)$
R1=2200	259.6	290,40	300,00	0,53	136.36	140	119.6	86.36	171.15	200	0,7	42.78
R2=1900	300.59	290,40	300,00	0,53	157.89	158	142.59	95.89	193.15	200	0,79	48.28
R3=1900	300.59	290,40	300,00	0,53	157.89	158	142.59	95.89	193.15	200	0,79	48.28

Tableau IV.4 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé [3]

IV.4. LES CONTRAINTES LE LONG DU TRACÉ :

Obstacle à franchir	PK	Ouvrage Projeté / mesures prévues
Oued Ghzalate	Du 40+275 au 41+050	Ouvrage ferroviaire
Oued Touiel	Du 47+700 au 47+950	
Rétablissement des pistes	44+925	Passage supérieure
	45+750	Passage inférieure
Parcelles agricoles	Du 39+848 au 40+575	– Poses de clôtures provisoires adaptées pour le bétail ; – Maintien des circulations agricoles existantes (circulation des troupeaux, accès aux fermes classique ou pilote, aux points d'eau...) par des aménagements provisoires pendant les travaux.
	42+450	
	43+750	
	45+625	
Les dunes de sable	Du 40+575 au 40+750	Protection en l'ensablement
	Du 40+750 au 46+075	
	Du 46+675 au 46+850	
	Du 46+850 au 47+475	
	Du 47+475 au 47+725	
	Du 48+025 au 49+100	

Tableau IV.5 : Liste des obstacles à franchir. [2]

IV.5. CONCLUSION :

À travers ce chapitre, nous avons étudié le tracé en plan de la voie ferrée, qui constitue un élément essentiel de la conception géométrique d'une infrastructure ferroviaire. Cette étude a permis de définir les alignements horizontaux ainsi que les courbes et raccords nécessaires pour assurer la sécurité, le confort et la performance de l'exploitation ferroviaire.



CHAPITRE V

PROFIL EN LONG



CHAPITRE V : PROFIL EN LONG

V.1. INTRODUCTION

Le tracé du profil en long constitue une étape fondamentale dans l'évaluation d'un projet ferroviaire. Il permet d'apprécier, sur le plan économique, l'importance des travaux à réaliser, notamment les terrassements à travers les quantités de déblais et de remblais, ainsi que la nécessité et le dimensionnement des ouvrages d'art, entre autres éléments déterminants.

V.2. DEFINITION :

C'est une représentation plane de la surface du terrain naturel suivant un plan vertical le long du tracé en plan, ce profil va être le support pour le profil en long du projet...On a :

❖ Profil en long du terrain naturel :

Il s'agit d'une représentation en élévation du terrain naturel obtenue par projection sur un plan vertical suivant l'axe du tracé en plan. Ce profil constitue le support de base pour l'établissement du profil en long du projet.

❖ Profil en long du Projet :

Il s'agit de la représentation de l'allure générale du projet, généralement définie par la projection sur un plan vertical passant par l'axe du tracé, des cotes correspondant à la file basse des rails de la voie.

V.2.1. Règles à respectées dans le profil en long :

L'élaboration de la ligne de projet ne relève pas d'un choix arbitraire ; elle doit impérativement s'appuyer sur un ensemble de recommandations et de règles visant à garantir la stabilité, la sécurité, le confort de circulation ainsi que le bon écoulement des eaux. À cet effet, les principales conditions à respecter sont les suivantes :

- Adapter la ligne rouge du projet au terrain naturel afin de minimiser les travaux de terrassement.
- Assurer un équilibre entre les volumes de déblais et de remblais.
- Éviter les hauteurs excessives de remblais.
- Éviter les angles rentrants en déblai afin de faciliter l'évacuation des eaux pluviales.
- Veiller à une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.
- Respecter les caractéristiques géométriques (rayons, déclivités) prescrites par les règlements en vigueur.
- Éviter la coïncidence entre les courbes du profil en long et celles du tracé en plan.

V.3. ELEMENTS DE COMPOSITION DU PROFIL EN LONG :

V.3.1. 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.

CHAPITRE : PROFIL EN LONG

La déclivité admise varie en fonction de sa longueur pour assurer des vitesses de circulation convenables et la sécurité lors de freinage en pente est confort au démarrage de véhicule en rampe, donc la déclivité des droites ne peut pas dépasser un certain maximum fixé par la SNTF.

- Pour une déclivité de longueur inférieure à 3 000 m, la pente ne doit pas dépasser 16 ‰, et peut atteindre exceptionnellement 18 ‰.
- Pour une déclivité comprise entre 3 000 m et 15 000 m, la pente admissible diminue progressivement, passant de 16 ‰ à 13 ‰, et exceptionnellement de 18 ‰ à 15 ‰.
- Pour une déclivité de longueur supérieure à 15 000 m, la pente maximale ne doit pas excéder 13 ‰, avec une limite exceptionnelle fixée à 15 ‰.

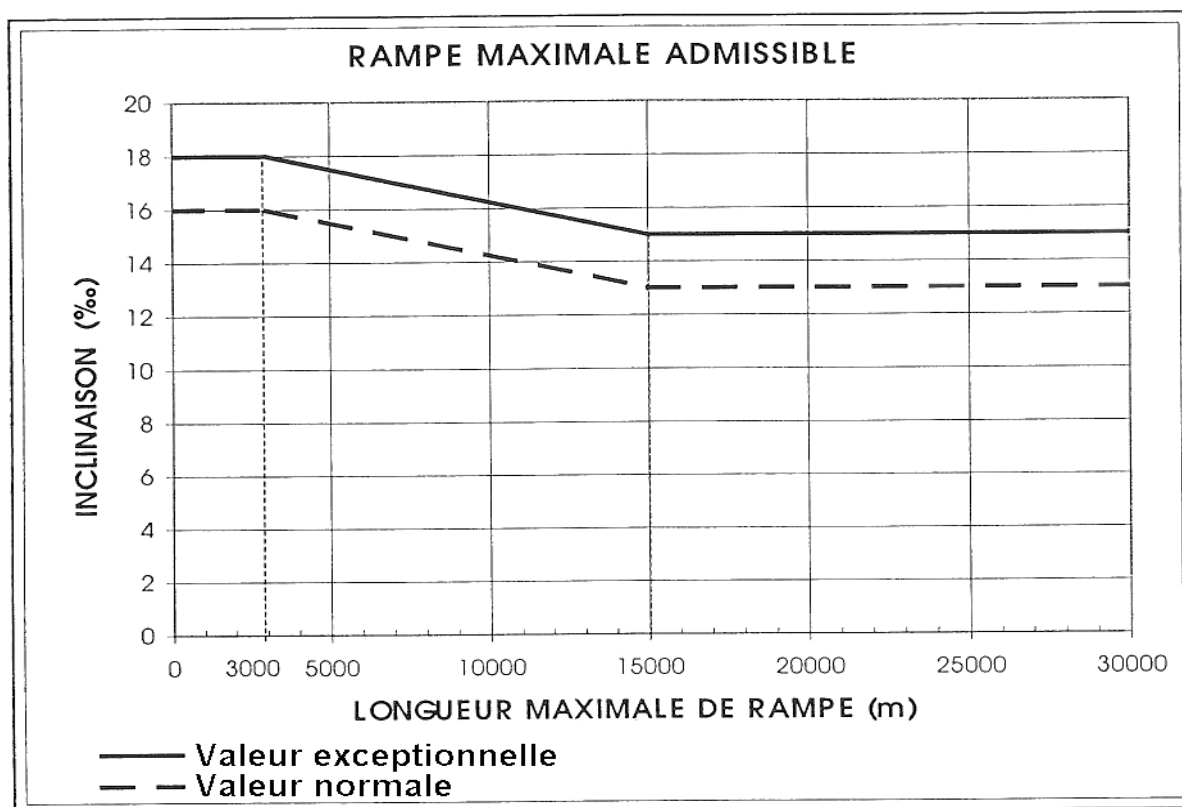


Figure V.1 : la valeur précise de la déclivité en fonction de sa longueur [8]

- **Pente** : c'est la partie du tracé qui définit la descente.
- **Rampe** : c'est la partie du tracé qui définit la montée.
- **Palier** : c'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale

V.3.2. Longueur minimale des éléments du profil en long :

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

La valeur de la longueur minimale des déclivités constantes est donc limitée à :

Valeur minimale normale	$V/2$
Valeur minimale exceptionnelle	$V/2.5$

Tableau V.1 : Valeurs limites de la longueur minimales selon référentiel technique de SNTF [8]

V.3.3. Rayon admissible en raccordement de profil en long :

Les valeurs des rayons minimale admissibles en profil en long sont limitées pour tenir compte des considérations suivantes :

Lorsqu'un véhicule franchit à une vitesse « V » un raccordement de profil en long de rayon R_v , il est soumis à une accélération centrifuge cette accélération doit être limitée afin de ne pas perturber le confort des passagers.

Valeur normale	$0,35 V^2=16940m$
Valeur exceptionnelle	$0,25 V^2=12100m$
Points particuliers à des vitesses inférieures ou égales à 160 km/h	$0,15 V^2$

Tableau V.2 : Valeurs de Rayon vertical minimale [8]

La position des cercles par rapport au terrain naturel dépend de plusieurs facteurs tel que :

- Il ne doit pas y avoir d'interférence entre les courbes de transition en plans (clothoïde) et les courbe de raccordement en profil en long.
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe.

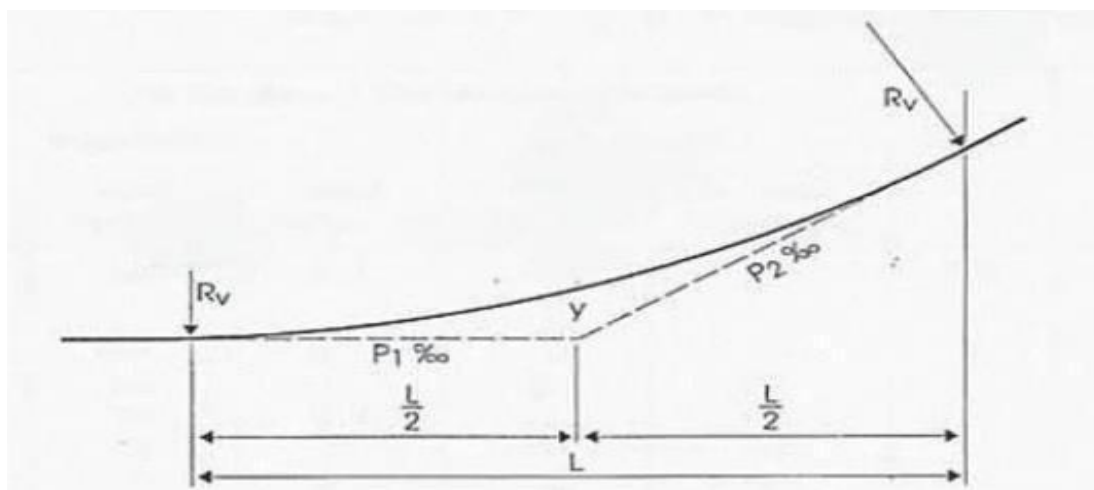


Figure V.2 : Coordination du tracé en plan et du profil en long [8]

CHAPITRE : PROFIL EN LONG

Il est nécessaire de veiller à la bonne coordination du profil en long et du tracé en plan, pour cela on doit :

- Eviter la coïncidence entre les rayons en profil en long avec les rayons en tracé en plan.
- Ne pas placer une courbe en profil en long immédiatement après une courbe en tracé en plan.
- Eviter la coïncidence entre un raccordement progressif et un rayon vertical.

V.4. APPLICATION AU PROJET :

Le relief du notre projet est rocheux accidenté avec une pente maximale de 16 ‰ jusqu'à la

	Valeur normale	Valeur exceptionnelle
Vitesse (Km/h)	220	
Rayon de raccordement en profil minimum (m)	16940	12100
Longueurs minimales des pentes/rampes (m)	110	88
Déclivité maximum des pentes/rampes en pleine voie	16‰	
Déclivité maximum des pentes/rampes en gare	0 ‰	0‰

gare de Mansoura au pk 39+000 à une altitude de 565.800m côté Est de la ville et pente minimale de 0 ‰.

Le choix de l'emplacement de la gare est justifié par le relief qui est relativement plat par rapport le relief très accidenté au niveau de la ville de Mansoura

Tableau V.3 : Valeurs des paramètres de profil en long [3]

V.5. CONCLUSION :

La constitution du profil en long est la tâche la plus importante par laquelle on peut évaluer un projet ferroviaire, soit sur le plan économique, soit sur le plan technique et ce à travers les déclivités, la coordination entre le tracé en plan et le profil en long et l'emplacement des gares.



CHAPITRE VI
ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET
HYDRAULIQUE



CHAPITRE VI : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

VI.1. INTRODUCTION

La création d'une nouvelle ligne a perturbé le flux hydraulique. Alors, il faut assurer la continuité des débits des cours d'eau en dimensionnant suffisamment les ouvrages hydrauliques. D'autre part, la protection de la plate-forme nécessite un bon drainage

L'objectif principal de la présente étude hydrologique est donc la détermination des débits de crues tout le long du tracé afin d'éviter les éventuelles inondations de celle-ci, et de prévoir ainsi l'aménagement hydraulique de protection le plus approprié.

Cette étude du volet Hydrologie-Hydraulique s'articule sur la réalisation des tâches suivantes :

- La caractérisation du milieu physique et ses composantes (relief, réseau hydrographique, climat, etc.) ;
- Délimitation des bassins versants interceptés par le tracé de la ligne ferroviaire Ghardaïa – Ouargla
- Estimation d'un débit d'écoulement ainsi que le type de l'ouvrage de drainage ;
- Dans le cas de traversés d'une zone à contrainte, identifier les endroits risqués et donner des solutions sommaires, qui seront détaillées dans les prochaines phases.

VI.2. ÉTUDE HYDROLOGIQUE :

L'hydrologie est la science qui étudie l'évolution des eaux en surfaces et dans le sous-sol. Elle traite ses propriétés physiques, mécaniques et techniques dans son ensemble. En d'autres termes, une étude hydrologique permet de connaître les caractéristiques climatiques et pluviométriques d'une région.

VI.2.1. Caractéristiques climatiques de la zone d'étude :

Le climat de la région est du type saharien, caractérise par un écart élevé entre les températures de l'été et d'hiver, avec une de faibles précipitations et une évaporation intense.

La région de Ghardaïa est typiquement Saharien, caractérise par deux saisons : une saison chaude et sèche (d'avril à septembre) et une autre tempérée (d'octobre à mars) et une grande différence entre les températures de l'été et d'hiver.

VI.2.1.1. Les Températures :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
Température °C	33.6	26.7	18.6	14.0	13.9	15.7	19.9	20.0	30.0	37.6	39.5	38.2

Tableau VI.1 : Températures moyenne mensuelles au niveau des stations de Ghardaïa (2010-2024) [10]

Au niveau de la station de Ghardaïa, on observe à partir du tableau VI.1 et la figure VI.1 que la température minimale est enregistrée en mois de janvier avec une valeur de 13.9°C, et la température maximale est observée en juillet avec une valeur de 39.5°C avec une moyenne mensuelle l'ordre de 25.6°C.

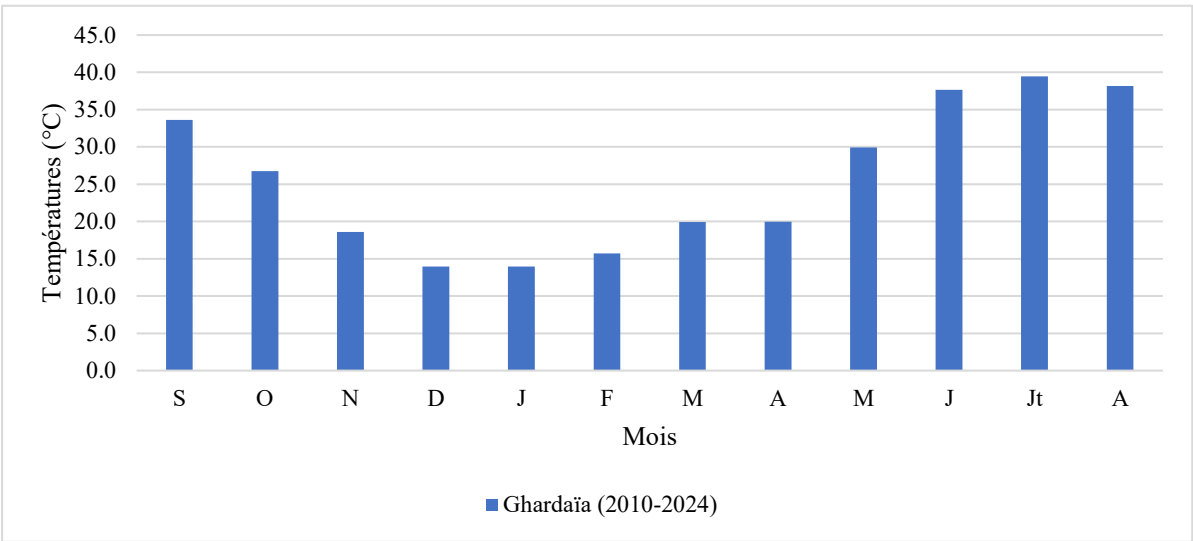


Figure VI.1 : Graphe Variation des températures moyennes mensuelles au niveau de la station de Ghardaïa (2010-2024) [10]

VI.2.1.2. Humidité :

Au niveau de la stations de Ghardaïa, L'humidité relative est inférieure à 50%. La moyenne de l’humidité relative maximale est enregistrée au mois de décembre estimée à 45.7 %. La moyenne minimale est enregistrée au mois juillet avec une valeur de 15.9 % (tableau VI.2 et figure VI.2).

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
Humidité (%)	28.9	34.7	40.5	45.7	42.2	39.6	32.0	29.1	25.8	19.0	15.9	19.1

Tableau VI.2 : Humidité moyenne mensuelles au niveau des stations de Ghardaïa (2010-2024) [10]

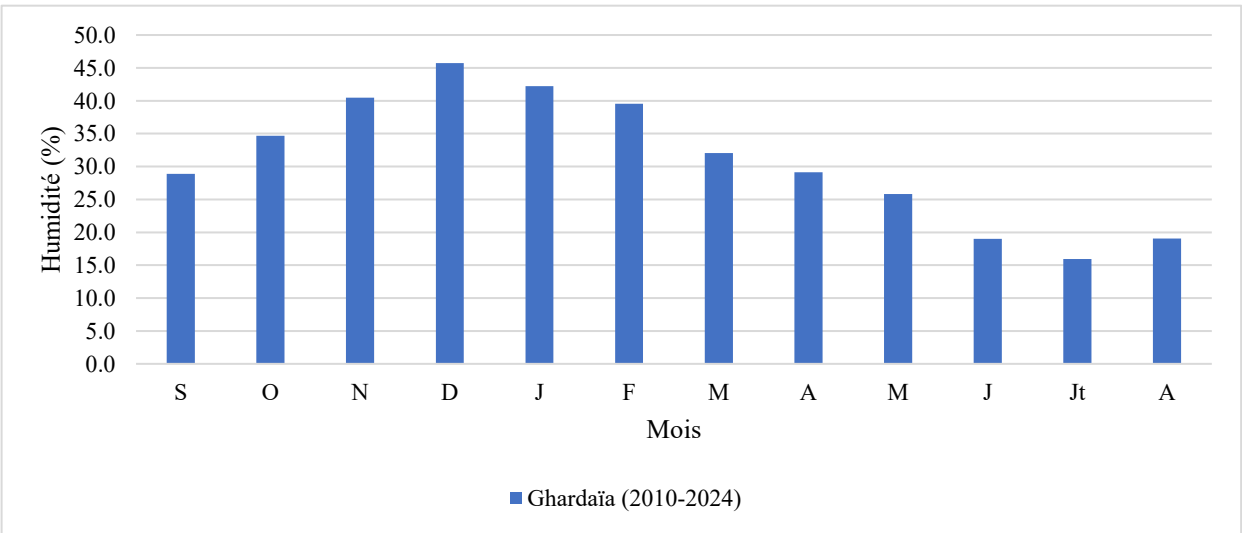


Figure VI.2 : Graphe Variation des moyennes mensuelles de l’humidité à la station de Ghardaïa (2010 2024) [10]

VI.2.1.3. Précipitations

• Précipitations moyennes mensuelles

On observe que le mois d'Avril est le plus pluvieux avec une moyenne de 12.7 mm, en revanche le mois de juillet est le plus sec avec une moyenne de 1.5 mm, au niveau de la station de Ghardaïa.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
Ghardaïa (2010-2024)	5.3	2.7	5.7	7.3	2.2	2.8	4.6	12.7	2.8	3.9	1.5	3.8

Tableau VI.3 : Précipitations moyenne mensuelles au niveau des stations de Ghardaïa (2010-2024) [10]

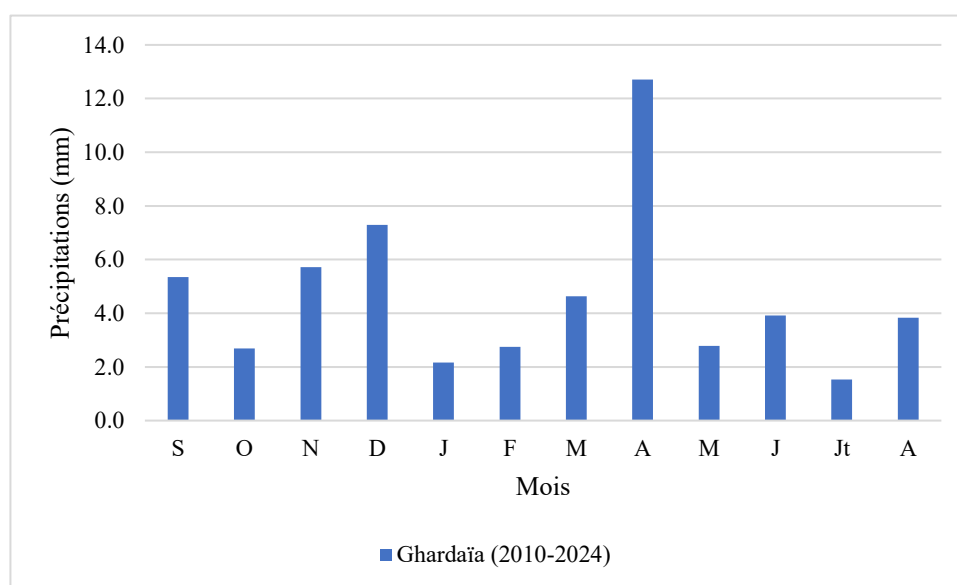


Figure VI.3 : Graphe Variation des Précipitations moyenne mensuelles des stations de Ghardaïa (2010-2024) [10]

• Pluies journalières

L'ajustement des données de pluie journalière à une loi de GUMBLE donne les valeurs des précipitations probables selon les différentes fréquences de non dépassement ci-dessous. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance
100	0.99	56.2	6.96	42.6 - 69.9
50	0.98	49.8	6.05	37.9 - 61.6
20	0.95	41.1	4.85	31.6 - 50.6

10	0.9	34.5	3.95	26.7 - 42.2
5	0.8	27.5	3.06	21.5 - 33.5
2	0.5	17	1.97	13.2 - 20.9

Tableau VI.4 : valeurs d'ajustement des pluies journalières selon les fréquences choisies, au niveau de la station de Ghardaïa [10]

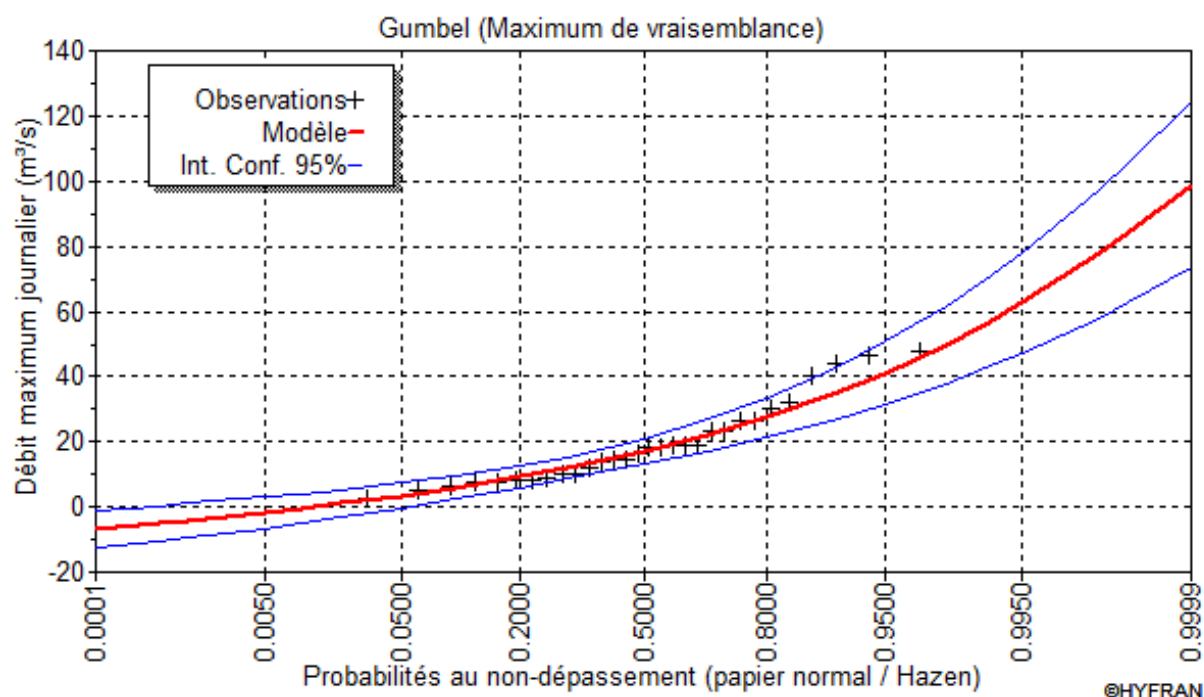


Figure VI.4 : Courbe de fréquence des débits maximaux journaliers selon la loi de Gumbel [10]

- **Pluies de courtes durées**

La recherche de la loi Intensité - Durée - Fréquence s'effectue sur la base des enregistrements pluviographiques. A partir des dépouillements à intensités constantes, on a calculé les quantités de pluies correspondantes à différents pas de temps (1h, 2h, 3h, 6h, 12h et 24 h). Pour chaque pas de temps nous avons sélectionné une valeur maximale par averse. Nous avons obtenu donc une série de données pour chaque pas de temps sur toute la période dépouillée. La relation Intensité - Durée - Fréquence recherchée est de la forme :

$$I(t,T) = a(T)/t^b$$

- **I(t,T)** : Intensité de pluie en mm/h ;
- **T** : période de retour ;
- **t** : temps en heures ;
- **a et b** : paramètres de Montana.

T		2	5	10	20	50	100
a(T)	Ghardaïa	10.9	16.5	20.1	23.7	28.2	31.6

Tableau VI.5 : valeurs du paramètre « a » selon les fréquences au niveau de la station de Ghardaïa [19]

Station	b
Ghardaïa	0.82

Tableau VI.6 : valeurs du paramètre « b » selon la station [19]

VI.3. CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES DES BASSINS VERSANTS

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

Le PK (point kilométrique) sert à repérer le passage d'un tronçon de la voie ferrée sur les cours d'eau. La délimitation des bassins versants est faite à partir de son intersection.

La délimitation des bassins versants s'est effectuée sur la base des cartes d'état-major, à l'échelle de 1/50 000, en suivant les lignes de partage des eaux, selon l'orientation des courbes de niveau. Ainsi le réseau hydrographique a été établi en digitalisant le talweg ou le cours d'eau principal.

Après digitalisation des bassins versants sur les cartes topographiques, sous le logiciel Autocad, les paramètres suivants ont été déterminés :

- Surface du bassin versant (Km²) ;
- Périmètre du bassin versant (Km) ;
- Longueur du plus long cours d'eau (Km) ;
- Altitude maximale (m) ;
- Altitude minimale (m) ;
- La pente (m/m) ;
- Longueur du rectangle équivalent (km)

$$Leq = \frac{Kc \times \sqrt{A}}{1.12} \times \left(1 + \left(1 - \left(\left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2 \right) \right)^{1/2} \right)$$

- L'indice de compacité de Gravelius (Kc), pour la forme du bassin versant :

$$Kc = 0.28 \times P \sqrt{A}$$

Avec :

P : Périmètre du bassin versant (Km) ;

A : Surface du bassin versant (Km²).

➤ Le temps de concentration (T_c) en heure.

Pour le temps de concentration (T_c), la formule de calcul a été choisie en fonction de la superficie du bassin versant :

a- Superficie inférieure à 5 km²

Le temps de concentration est calculé par la formule de VENTURA :

$$T_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{S}{I}}$$

- T_c : temps de concentration (heure) ;
- S : superficie du bassin versant (Km²) ;
- I : pente moyenne du bassin versant (m/m).

b- Superficie supérieure à 25 Km²

Le temps de concentration est calculé par la formule de GIANDOTTI :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8 \sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

- T_c : temps de concentration (heure) ;
- S : superficie du bassin versant (Km²) ;
- L : longueur du cours d'eau principal (Km) ;
- H_{moy} : altitude moyenne (m) ;
- H_{min} : Altitude minimale (m)

CHAPITRE : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

N° BV	PK	S Km ²	Périm Km	L Km	Hmax m	Hmin m	Hmoy m	I m/m	Kc	Leq Km	Tc Heures
BV 1	PK 39+031	0,01	0,60	0,24	433	432	432,50	0,0042	1,680	0,26	0,197
BV 2	PK 39+088	0,01	0,49	0,20	432	426	429,00	0,0300	1,372	0,19	0,073
BV 3	PK 39+175	0,01	0,52	0,19	428	423	425,50	0,0263	1,456	0,21	0,078
BV 4	PK 39+273	0,26	2,13	0,88	450	420	435,00	0,0341	1,170	0,68	0,351
BV 5	PK 39+453	0,20	1,90	0,49	426	419	422,50	0,0143	1,190	0,63	0,475
BV 5-A	PK 39+867	0,07	1,38	0,30	424	422	423,00	0,0067	1,460	0,57	0,412
BV 6	PK 40+008	0,09	1,37	0,28	425	423	424,00	0,0071	1,279	0,51	0,451
BV 7	PK 40+150	0,90	4,90	1,29	420	417	418,50	0,0023	1,446	2,00	2,498
BV 8	PK 40+750	258,03	96,39	47,59	636	420	528,00	0,0045	1,680	42,06	16,315
BV 9	PK 42+747	0,85	4,28	1,66	460	400	430,00	0,0361	1,300	1,61	0,616
BV 10	PK 43+184	0,69	3,89	1,67	465	399	432,00	0,0395	1,311	1,48	0,531
BV 11	PK 43+370	0,25	3,22	1,22	458	401	429,50	0,0467	1,803	1,43	0,294
BV 12	PK 43+836	0,27	2,76	1,01	417	402	409,50	0,0149	1,487	1,14	0,542
BV 13	PK 44+384	0,98	4,77	1,59	457	399	428,00	0,0365	1,349	1,86	0,658
BV 13-A	PK 44+525	0,15	2,04	0,80	437	397	417,00	0,0500	1,475	0,84	0,220
BV 13-B	PK 44+603	0,31	2,20	0,92	426	395	410,50	0,0337	1,106	-	0,385
BV 13-C	PK 45+103	0,12	1,51	0,39	413	400	406,50	0,0333	1,221	0,53	0,241
BV 14	PK 45+195	0,84	5,09	2,18	458	398	428,00	0,0275	1,555	2,15	0,702
BV 15	PK 45+589	0,41	2,99	0,93	432	400	416,00	0,0344	1,307	1,13	0,438

CHAPITRE : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

BV 16	PK 46+332	0,36	2,68	0,82	423	394	408,50	0,0354	1,251	0,97	0,405
BV 17	PK 47+975	2019,89	246,98	100,78	658	384	521,00	0,0027	1,539	104,08	35,343
BV 18	PK 48+156	0,42	3,04	1,18	421	390	405,50	0,0263	1,313	1,16	0,508
BV 19	PK 49+167	3,39	7.5	2,66	443	387,67	415,3	0,021	1,14	2,23	1,61

Tableau VI.7: Les caractéristiques des paramètres des bassins versants des oueds traversant notre tronçon du PK 39+000 au PK 49+000 [3/10]

- N°BV : numéro du bassin versant ;
- S : Surface du bassin versant (Km²) ;
- P : Périmètre du bassin versant (Km) ;
- Lw : Longueur du plus long cours d'eau (Km) ;
- Hmax : Altitude maximale (m) ;
- Hmin : Altitude minimale (m) ;
- Hmoy : Altitude moyenne (m) ;
- I : La pente (m/m) ;
- Leq : Longueur du rectangle équivalent (km)
- Kc : indice de compacité de Gravelius ;
- Tc : temps de concentration en heure.

VI.4. CALCUL HYDROLOGIQUE

L'intérêt de la détermination du débit maximum d'un cours d'eau est évident en raison des effets destructeurs bien connus de ces événements hydrologiques. Lorsqu'on projette la réalisation d'importants aménagements, on doit déterminer le maximum probable de la crue pour lequel l'ouvrage devra être protégé. La crue max. centennale est caractérisée par :

- Le débit Max ;
- La durée de la crue ;
- Le volume écoulé durant la crue.

Pour évaluer les débits Q_{max} (crue centennale) des bassins versants aux sites des franchissements du tracé par les écoulements superficiels, on utilise des formules empiriques qui sont élaborées en fonction de la pluie et des caractéristiques physiques des bassins versants.

VI.4.1. Formule Rationnelle

$$Q_{max} = Cr \times I \times S$$

- Q_{max} : débit de crue de période de retour pour 100 ans (m^3/s)
- Cr : coefficient de ruissellement ;
- I : Intensité de la pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration en (mm/h) ;
- S : superficie du bassin versant (Km^2).

Choix des coefficients de ruissellement Cr

Pour la détermination du coefficient du ruissellement, on a opté pour la méthode de KENESSEY :

$$Cr = C1 + C2 + C3$$

Avec :

- Cr : coefficient de ruissellement ;
- $C1$: dépend de la pente du cours d'eau principal. Il varie :
 - de 0.01 - 0.05 : Pente < 3.5 ;
 - de 0.06 - 0.1 : $3.5 < \text{Pente} < 11$;
 - de 0.12 - 0.2 : $11 < \text{Pente} < 35$;
 - de 0.22 - 0.3 : Pente > 35 .

La détermination de $C1$ est faite en fonction de la pente du bassin versant pour chaque écoulement, ces pentes sont présentées sur le tableau des caractéristiques morphométriques des bassins versant.

- **$C2$: est un coefficient qui dépend de la perméabilité du terrain**, donné à partir de l'information concernant la nature du sol et de ses caractéristiques. Les valeurs varient comme suit :
 - de 0.22 – 0.3 pour les terrains imperméables ;
 - de 0.1 – 0.2 : pour les terrains pas assez perméables ;

CHAPITRE : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

- de 0.06 – 0.1 pour les terrains perméables ;
- de 0.06 – 0.05 pour les terrains très perméables.

Ce coefficient est estimé à 0.3 pour un terrain imperméable, 0.1 pour un bassin perméable et 0.2 pour un terrain à perméabilité moyenne.

- **C3 : dépend de la couverture végétale du bassin versant, il varie :**

- de 0.22 – 0.3 pour les terrains rocheux ;
- de 0.17 – 0.25 pour les Pré ;
- de 0.07 – 0.15 pour les champs labour ;
- de 0.03 – 0.05 pour les forêts et les sols sableux.

N° BV	Pk	Pente %	Perméabilité (Nature de sol)	Couverture végétale	C1	C2	C3	Cr
1	PK 39+031	0,42	Peu perméable	Rocheux	0.01	0.2	0.22	0.43
2	PK 39+088	3,00	Peu perméable	Rocheux	0.03	0.2	0.22	0.45
3	PK 39+175	2,63	Peu perméable	Rocheux	0.03	0.2	0.22	0.45
4	PK 39+273	3,41	Peu perméable	Rocheux	0.03	0.2	0.22	0.45
4-A	PK 39+453	1,43	Peu perméable	Rocheux	0.01	0.2	0.22	0.43
5	PK 39+867	0,67	Peu perméable	Rocheux	0.01	0.2	0.22	0.43
6	PK 40+008	0,71	Peu perméable	Rocheux	0.01	0.2	0.22	0.43
7	PK 40+150	0,23	Peu perméable	Rocheux	0.01	0.2	0.22	0.43
8	PK 40+750	0,45			--	--	--	--
9	PK 42+747	3,61	Peu perméable	Rocheux	0.08	0.2	0.22	0.5
10	PK 43+184	3,95	Peu perméable	Rocheux	0.08	0.2	0.22	0.5
11	PK 43+370	4,67	Peu perméable	Rocheux	0.08	0.2	0.22	0.5
12	PK 43+836	1,49	Peu perméable	Rocheux	0.03	0.2	0.22	0.45
12-A	PK 44+384	3,65	Peu perméable	Rocheux	0.08	0.2	0.22	0.5
12-B	PK 44+525	5,00	Peu perméable	Rocheux	0.08	0.2	0.22	0.5
12-C	PK 44+603	3,37	Peu perméable	Rocheux	0.03	0.2	0.22	0.45
13	PK 45+103	3,33	Peu perméable	Rocheux	0.03	0.2	0.22	0.45
14	PK 45+195	2,75	Peu perméable	Rocheux	0.03	0.2	0.22	0.45
15	PK 45+589	3,44	Peu perméable	Rocheux	0.03	0.2	0.22	0.45
16	PK 46+332	3,54	Peu perméable	Rocheux	0.08	0.2	0.22	0.5

CHAPITRE : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

17	PK 47+975	0,27			--	--	--	--
18	PK 48+156	2,63	Peu perméable	Rocheux	0.03	0.2	0.22	0.45
19	PK 49+167	2,1	Peu perméable	Rocheux	0.03	0.2	0.22	0.45

Tableau VI.8 : Les différents coefficients de ruissellement adoptent pour chaque Bassins versants [10]

VI.4.2. Formule de Mallet-Gauthier

$$\text{VI.4.2.1. } Q_{\max} = (2 \cdot k) \cdot \log(1 + A \cdot P_0) \cdot (S/L^{0.5}) \cdot [1 + 4 \cdot \log(T) - \log(S)]^{0.5}$$

Avec :

- K : Constante comprise entre 1 et 3 ; K= 3.0
- A : Coefficient régional du bassin, varie entre 20 et 30 on prend [A = 25]
- P₀ : Précipitation moyenne interannuelle en (m), (Pan=0.066m)
- S : surface du bassin versant en (Km²)
- L : Longueur du talweg principal en (Km)
- T : période de retour (ans).

N° BV	Pk	Cr	Tc (h)	S (km2)	I100 (mm/h)	Q100 (m3/s)
1	PK 39+031	0.43	0,20	0,01	119,86	0,14
2	PK 39+088	0.45	0,07	0,01	269,27	0,34
3	PK 39+175	0.45	0,08	0,01	255,19	0,32
4	PK 39+273	0.45	0,35	0,26	74,61	2,42
4-A	PK 39+453	0.43	0,48	0,20	58,16	1,39
5	PK 39+867	0.43	0,41	0,07	65,45	0,55
6	PK 40+008	0.43	0,45	0,09	60,73	0,65
7	PK 40+150	0.43	2,50	0,90	14,91	1,60
8	PK 40+750	--	16,31	258,03	3,20	Surface sup à 25(Mallet-Gauthier)
9	PK 42+747	0.5	0,62	0,85	47,02	5,55
10	PK 43+184	0.5	0,53	0,69	53,13	5,1
11	PK 43+370	0.5	0,29	0,25	86,28	3
12	PK 43+836	0.45	0,54	0,27	52,26	1,76
12-A	PK 44+384	0.5	0,66	0,98	44,52	6,06
12-B	PK 44+525	0.5	0,22	0,15	109,38	2,28
12-C	PK 44+603	0.45	0,39	0,31	69,09	2,68

CHAPITRE : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

13	PK 45+103	0.45	0,24	0,12	101,50	1,52
14	PK 45+195	0.45	0,70	0,84	42,26	4,44
15	PK 45+589	0.45	0,44	0,41	62,14	3,18
16	PK 46+332	0.5	0,41	0,36	66,28	3,31
17	PK 47+975	--	35,34	2019,89	1,70	Surface sup à 25(Mallet-Gauthier)
18	PK 48+156	0.45	0,51	0,42	55,08	2,89
19	PK 49+167	0.45	1,61	3,39	21,38	9,06

Tableau VI.9: Résultats des valeurs des débits calculés pour la crue centennale pour le nôtre tronçons, entre le PK 39+000 et le PK 49+000 (Méthode Rationnelle) [3]

N° BV	Pk	S (km2)	L(km)	Q100 (m3/s)
8	PK 40+750	258,03	47,59	243,8
17	PK 47+975	2019,89	100,78	1219,32

Tableau VI.10 : Résultats des valeurs des débits calculés pour la crue centennale pour le nôtre tronçons, entre le PK 39+000 et le PK 49+000 (Méthode Mallet-Gauthier) [3]

VI.5. CALCUL HYDRAULIQUE ET DIMENSIONNEMENT

Les écoulements superficiels interceptés par l'infrastructure ferroviaire seront rétablis par la mise en place d'ouvrages hydrauliques adaptés et réalisés dans les règles de l'art. Ces ouvrages seront dimensionnés pour un événement pluvieux d'occurrence centennale. Le calcul du débit de saturation est déterminé par la formule de Manning Strickler

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

- K_s : coefficient de rugosité ;
- I : pente longitudinale de l'ouvrage (m/m) ;
- R_h : rayon hydraulique= section mouillée/périmètre mouillé ;
- S_m : section mouillée (m²) ;
- P_m : Périmètre mouillé (m) ;

Nature de l'ouvrage	En terre	Buse métallique	Maçonnerie	Béton (dalot)	Béton (buse préfabriquée)
Kst	30	40	50	70	

Tableau VI.11 : Les différents coefficients de rugosité selon la nature de l'ouvrage. [10]

CHAPITRE : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

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

$$Q_{max} = Q_s$$

Avec : $S_m = \pi * \frac{D^2}{4}$; $R_h = \frac{D}{4}$

D'où :

$$D = (4^{5/8}) * (Q_{100}/K * \pi * i^{1/2})^{3/8}$$

Les dimensions retenues pour les ouvrages sont celles qui répondent aux deux conditions suivantes :

- $Q_a < Q_s$ (Avec Q_a débit d'apport (ou de projet) et Q_s le débit de saturation de l'ouvrage) ;
- La vitesse maximale de l'écoulement est limitée à 4 m/s (pour les ouvrages en béton).

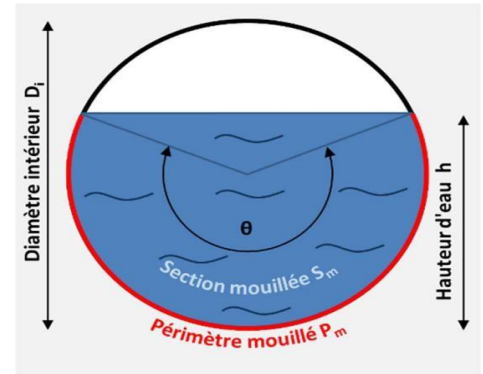


Figure VI.5 : Schéma d'un ouvrage buse [11]

BV	PK	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Rugosité Ks	La pente m/m	Diamètre théorique (mm)	Diamètre retenu (m)	Qps (m ³ /s)	Vps (m/s)
1	PK 39+031	0,14	70	0,005	407	1,5	4,55	2,57
2	PK 39+088	0,34	70	0,005	567	1,5	4,55	2,57
3	PK 39+175	0,32	70	0,005	554	1,5	4,55	2,57
4	PK 39+273	2,42	70	0,005	1184	1,5	4,55	2,57
5	PK 39+453	1,39	70	0,005	962	1,5	4,55	2,57
6	PK 39+867	0,55	70	0,005	679	1,5	4,55	2,57
7	PK 40+008	0,65	70	0,005	723	1,5	4,55	2,57
8	PK 40+150	1,6	70	0,005	1014	1,5	4,55	2,57
9	PK 40+750	243,8	70	0,005	6676	OA	-	-
10	PK 42+747	5,55	70	0,005	1616	2	9,80	3,12
11	PK 43+184	5,1	70	0,005	1566	2	9,80	3,12
12	PK 43+370	3	70	0,005	1283	1,5	4,55	2,57
13	PK 43+836	1,76	70	0,005	1051	1,5	4,55	2,57
14	PK 44+384	6,06	70	0,005	1670	2	9,80	3,12
15	PK 44+525	2,28	70	0,005	1158	1,5	4,55	2,57
16	PK 44+603	2,68	70	0,005	1230	1,5	4,55	2,57
17	PK 45+103	1,52	70	0,005	994	1,5	4,55	2,57
18	PK 45+195	4,44	70	0,005	1486	1,5	4,55	2,57
19	PK 45+589	3,18	70	0,005	1312	1,5	4,55	2,57

CHAPITRE : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

20	PK 46+332	3,31	70	0,005	1331	1,5	4,55	2,57
21	PK 47+975	1219,32	70	0,005	12209	OA	-	-
22	PK 48+156	2,89	70	0,005	1265	1,5	4,55	2,57

Tableau VI.12 : Dimensions des ouvrages de drainage pour notre tronçon de PK 39+000 AU PK 49+000 [3]

- La Justification du choix de 1,5 m comme un diamètre minimale dans les ouvrages hydraulique :

D'après le **REFERENTIEL TECHNIQUE** de la **SNTF** « Chapitre 7.2.3 – Hydraulique drainage », l'article 7.2.3.2.2 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES :

« Le matériau constitutif des buses est le béton armé. Le diamètre minimum des buses de traversée est de 1,50 m ».

VI.5.1. Vérification des conditions d'auto curage

Pour que les conditions d'auto curage seront vérifiées, on doit vérifier que

- $V > 0.6$ m/s pour $Q = 0.1Q_{ps}$ ($V = 0,32V_{ps}$).
- $V > 0.3$ m/s pour $Q = 0.01Q_{ps}$ et pour ($V = 0,64V_{ps}$).
- $V < 4$ m/s
- Hauteur de remplissage (H_r) $< 0,8D$

D'après les résultats insérés dans le tableau ci-après, on constate que les conditions d'auto-curage sont bien vérifiées.

Avec :

- $R_q = Q/Q_{ps}$
- $V = R_v * V_{ps}$
- R_v et R_h sont tirés à partir des tableaux

CHAPITRE : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

BV	PK	Rq	Rv	Rh	V > 0.6	Vérification	V > 0.3	Vérification	V<4 m/s	Vérification	H de remplissage	0.8D	Hr < 0,8D
1	PK 39+031	0,031	0,45	0,1	0,824	Vérifié	1,647	Vérifié	1,16	Vérifié	0,18	1,2	Vérifié
2	PK 39+088	0,075	0,59	0,185	0,824	Vérifié	1,647	Vérifié	1,51	Vérifié	0,28	1,2	Vérifié
3	PK 39+175	0,070	0,58	0,180	0,824	Vérifié	1,647	Vérifié	1,48	Vérifié	0,27	1,2	Vérifié
4	PK 39+273	0,532	1,02	0,519	0,824	Vérifié	1,647	Vérifié	2,61	Vérifié	0,78	1,2	Vérifié
5	PK 39+453	0,306	0,88	0,380	0,824	Vérifié	1,647	Vérifié	2,26	Vérifié	0,57	1,2	Vérifié
6	PK 39+867	0,121	0,68	0,235	0,824	Vérifié	1,647	Vérifié	1,74	Vérifié	0,35	1,2	Vérifié
7	PK 40+008	0,143	0,71	0,256	0,824	Vérifié	1,647	Vérifié	1,82	Vérifié	0,38	1,2	Vérifié
8	PK 40+150	0,352	0,91	0,410	0,824	Vérifié	1,647	Vérifié	2,35	Vérifié	0,62	1,2	Vérifié
9	PK 40+750	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	PK 42+747	0,567	1,03	0,539	0,998	Vérifié	1,996	Vérifié	3,21	Vérifié	1,08	1,6	Vérifié
11	PK 43+184	0,521	1,01	0,513	0,998	Vérifié	1,996	Vérifié	3,15	Vérifié	1,03	1,6	Vérifié
12	PK 43+370	0,660	1,07	0,594	0,824	Vérifié	1,647	Vérifié	2,75	Vérifié	0,89	1,2	Vérifié
13	PK 43+836	0,387	0,94	0,431	0,824	Vérifié	1,647	Vérifié	2,41	Vérifié	0,65	1,2	Vérifié
14	PK 44+384	0,619	1,05	0,569	0,998	Vérifié	1,996	Vérifié	3,28	Vérifié	1,14	1,6	Vérifié

CHAPITRE : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

15	PK 44+525	0,501	1,00	0,501	0,824	Vérifié	1,647	Vérifié	2,57	Vérifié	0,75	1,2	Vérifié
16	PK 44+603	0,589	1,04	0,552	0,824	Vérifié	1,647	Vérifié	2,67	Vérifié	0,83	1,2	Vérifié
17	PK 45+103	0,334	0,90	0,399	0,824	Vérifié	1,647	Vérifié	2,32	Vérifié	0,60	1,2	Vérifié
18	PK 45+195	0,976	1,14	0,800	0,824	Vérifié	1,647	Vérifié	2,93	Vérifié	1,20	1,2	Vérifié
19	PK 45+589	0,699	1,08	0,617	0,824	Vérifié	1,647	Vérifié	2,78	Vérifié	0,93	1,2	Vérifié
20	PK 46+332	0,728	1,09	0,634	0,824	Vérifié	1,647	Vérifié	2,81	Vérifié	0,95	1,2	Vérifié
21	PK 47+975	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	PK 48+156	0,635	1,06	0,579	0,824	Vérifié	1,647	Vérifié	2,72	Vérifié	0,87	1,2	Vérifié

Tableau VI.13: Vérification hydraulique des ouvrages transversaux [3]

❖ Dimension des dalots :

Pour un canal rectangulaire (dalot), le dimensionnement consiste à déterminer sa section et sa hauteur utile d'eau avec une hauteur de remplissage de 0.75 H.

Les dimensions des dalots sont obtenues en écrivant l'égalité du débit des crues et le débit de saturation :

- $Q_s = Q_{\max}$
- $Q_{\max} = K_s \times S_m \times R_h^{(2/3)} \times I^{(1/2)}$
- $Q_{\max} = 70 \times (0,75 \cdot H \cdot B) \times [(0,75 \cdot H \cdot B) / (B + 1,5H)]^{(2/3)} \times I^{(0,5)}$

Pour finalement arriver à une équation où la résolution se fait par la méthode itérative :

$$H_{i+1} = (Q_{\max} / (K_s \times I^{(1/2)}))^{(3/5)} \times (B + 1,5H_i)^{(2/5)} / (0,75B)$$

$$\text{Avec: } H_0 = (Q_{\max} / (K_s \times I^{(1/2)}))^{(3/5)}$$

Le critère d'arrêt $H_{i+1} - H_i < 10^{-3}$.

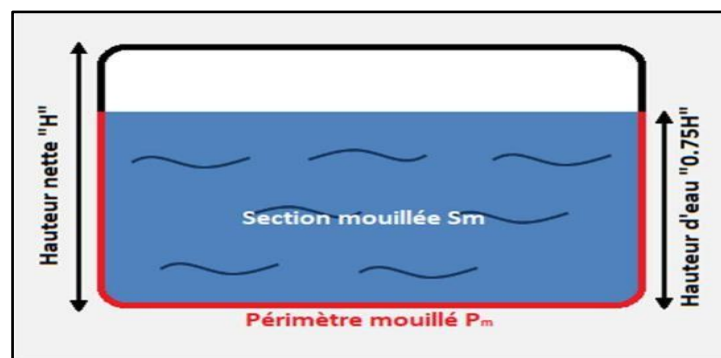


Figure VI.6 : Schéma d'un ouvrage busé. [11]

Après le calcul itératif de l'équation précédente on a obtenu les résultats suivants :

N° BV	PK	Q (m³/s)	Ks	La pente (m/m)	B(m)	H(m)	Sm (m²)	Pm (m)	Qps (m³/s)
23	49+167	9,06	70	0,005	2,5	2	3,75	5,5	14,379

Tableau VI.14 : Dimension de l'ouvrages de drainage (DALOT) au PK 49+167 [3]

❖ Vérification des conditions d'auto curage des buses

Pour que les conditions d'auto curage seront vérifiées, on doit vérifier que

- $V < 4 \text{ m/s}$
- Hauteur Critique (H_c) $< 0,75H$

On a :

$$\text{➤ } V = \frac{Q_{100}(\text{m}^3/\text{s})}{S_m} = \frac{9,06}{3,75} = 2,42 \text{ m/s} < 4 \text{ m/s} \quad \text{Vérifier}$$

$$\text{➤ } H_c = \sqrt[3]{\frac{Q_{100}(\text{m}^3/\text{s})}{g \cdot 4}} = \sqrt[3]{\frac{9,06}{9,81 \cdot 4}} = 0,72 \text{ m} < 0,75 \cdot H = 1,5 \text{ m} \quad \text{Vérifier}$$

CHAPITRE : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

BV	PK	S (Km ²)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Ouvrage projeté	Dimensions
1	PK 39+031	0,01	0,14	Buse	Φ1500
2	PK 39+088	0,01	0,34	Buse	Φ1500
3	PK 39+175	0,01	0,32	Buse	Φ1500
4	PK 39+273	0,26	2,42	Buse	Φ1500
5	PK 39+453	0,20	1,39	Buse	Φ1500
6	PK 39+867	0,07	0,55	Buse	Φ1500
7	PK 40+008	0,09	0,65	Buse	Φ1500
8	PK 40+150	0,90	1,6	Buse	Φ1500
9	PK 40+750	258,03	243,8	Pont rail	
10	PK 42+747	0,85	5,55	Buse	Φ2000
11	PK 43+184	0,69	5,1	Buse	Φ2000
12	PK 43+370	0,25	3	Buse	Φ1500
13	PK 43+836	0,27	1,76	Buse	Φ1500
14	PK 44+384	0,98	6,06	Buse	Φ2000
15	PK 44+525	0,15	2,28	Buse	Φ1500
16	PK 44+603	0,31	2,68	Buse	Φ1500
17	PK 45+103	0,12	1,52	Buse	Φ1500
18	PK 45+195	0,84	4,44	Buse	Φ1500
19	PK 45+589	0,41	3,18	Buse	Φ1500
20	PK 46+332	0,36	3,31	Buse	Φ1500
21	PK 47+975	2019,89	1219,32	Pont rail	
22	PK 48+156	0,42	2,89	Buse	Φ1500
23	PK 49+167	3,39	9,06	Dalot	B*H(2,5*2)

Tableau VI.15 : Liste globale des ouvrages projetés. [3]

VI.6. ASSAINISSEMENT LONGITUDINAL :

Le drainage longitudinal joue un rôle crucial dans la collecte et l'acheminement des eaux provenant à la fois des talus et des pentes adjacentes vers la plateforme de la voie. Ce drainage

est assuré par des fossés à un niveau spécifique qui guideront les eaux vers les ouvrages hydrauliques ou directement vers les lignes d'eau existantes.

Afin de déterminer les surfaces à drainer, une analyse, des profils en travers ainsi que des caractéristiques du terrain naturel dans lequel le projet est situé, a été effectuée.

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

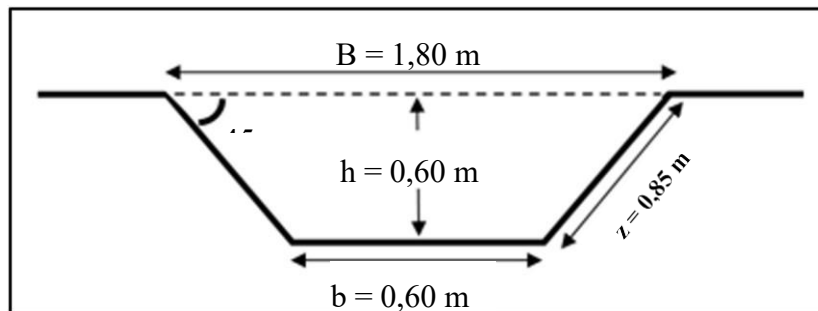


Figure VI.7: Fossé de forme trapézoïdal [3/10/11]

- Calcul des débits d'apports :

Pour le calcul hydraulique de fossé, la formule de Manning Strickler a été utilisée :

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

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

Les hypothèses suivantes ont été émises pour le dimensionnement :

- Coefficient de rugosité Strickler $K_s = 70$ (correspondant à des fossés en béton).
- La déclivité longitudinale des fossés en zone de déblai est identique à celle du profil en long de la voie.
- Profil trapézoïdal avec une pente du talus (H/V) 1/1.
- Le débit à évacuer qui est la somme des 3 débits La plate-forme, les bermes et les talus :

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

- Le calcul des débits se fait dans le cas le plus défavorable, où il y a un remblai ou un déblai qui s'étend une grande longueur avec une hauteur importante.
- Chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle : $Q = C_r \times I \times A$
 - Q : Débit de crue correspondant au bassin versant, avec une période de retour T (m^3/s).
 - C : Coefficient de ruissellement.
 - I : Intensité de pluie (mm/h).
 - A : Surface du bassin versant considéré : la plate-forme/ Les bermes/ les talus, en (km^2)

CHAPITRE : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

		CAS REMBLAI	CAS DÉBLAI
		Le cas plus défavorable : Longueur = 855 m H talus = 8 m Largeur de la plateforme = 6,8m	Le cas plus défavorable : Longueur = 650 m H talus = 6 m Largeur de la plateforme = 6,8m
Plateforme	Cr	0,9	0,9
	P(m/m)	0.013	0,005
	A(Km2)	0,005814	0,00442
	Tc(h)	$T_c = 0.127 \times \sqrt{(A/P)}$	
		0,085	0,119
	I (mm/h)	$I = a \times t_c^{-b}$ avec $a = 31,6$ $b = 0,82$	
		238,54	181,025
	Qpf (m3/s)	$Q = C_r \times I \times A$	
Talus		0,35	0,2
	Cr	0,7	0,7
	P(m/m)	1/3	1/1
	A(Km2)	0,00684	0,0039
	Tc(h)	$T_c = 0.127 \times \sqrt{(A/P)}$	
		0,018	0,008
	I (mm/h)	$I = a \times t_c^{-b}$ avec $a = 31,6$ $b = 0,82$	
		851,85	1656,35
	QT (m3/s)	$Q = C_r \times I \times A$	
		1,13	1,25
Qa (m3/s) (totale)		Qpf + QT = 1,48	Qpf + QT = 1,45

Tableau VI.16 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai. [3]

Remarque : Il convient de noter que notre plateforme ferroviaire est conçue selon une disposition en forme de chapeau chinois, avec une largeur de 6,8 m à gauche et de 1,2 m à droite. Par conséquent, il est nécessaire de dimensionner le fossé situé à gauche, car il représente le cas le plus contraignant en termes de conception et de drainage.

Le choix de type du fossé se fait en fonction du débit à évacuer rapporté par la plateforme et les talus.

/	b	h	z	Sm (m ²)	Pm (m)	Rh	Ks	I (m/m)	Qs (m ³ /s)
Cas remblai	0,6	0,6	0,849	0,665	2,174	0,306	70	0,013	2,41
Cas déblai	0,6	0,6	0,849	0,665	2,174	0,306	70	0,02	1,49

Tableau VI.17 : Dimensionnement du fossé proposé [3]

Les dimensions retenues pour les fossés sont celles qui répondent à la condition suivante :
 $Q_a < Q_s$

En conclusion, les dimensions des fosses adoptés pour notre projet sont :

$b=0,6$ m ; $h=0,6$ m ; $B=1,8$ m (Canal trapézoïdal).

VI.7. CONCLUSION :

Cette étude hydrologique et hydraulique a permis d'identifier les caractéristiques climatiques et hydrologiques de la zone d'étude, de délimiter les bassins versants interceptés par le tracé ferroviaire et d'évaluer les débits de crue centennale. Sur la base des résultats obtenus, les ouvrages hydrauliques nécessaires ont été dimensionnés et vérifiés conformément aux exigences techniques de la SNTF. Les vérifications hydrauliques réalisées ont confirmé l'aptitude des ouvrages proposés à assurer l'évacuation des eaux de ruissellement et la protection de la plateforme ferroviaire contre les risques d'inondation, garantissant ainsi la sécurité et la pérennité de l'infrastructure.



CHAPITRE VII

ETUDE GEOLOGIQUE ET
GEOTECHNIQUE



CHAPITRE VII : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

VII.1. INTRODUCTION

Après la définition du couloir traversé par la voie ferrée, une analyse approfondie du contexte géologique s'impose. Cette étape essentielle permet d'identifier et d'anticiper les risques naturels susceptibles d'affecter le projet, notamment les phénomènes d'instabilité des terrains tels que les mouvements de versants, les affaissements et les effondrements.

Dans cette optique, l'étude géologique est complétée par une étude géotechnique détaillée visant à caractériser le comportement mécanique des sols et des formations en place. Cette approche globale permet d'interpréter les phénomènes gravitationnels et de garantir la stabilité des ouvrages ainsi que leur durabilité à long terme.

L'objectif de ce chapitre est de présenter les caractéristiques géologiques, géotechniques et sismiques de la zone du projet, ainsi que d'acquérir une connaissance précise du sous-sol, de sa composition, de sa nature et de son comportement. L'étude porte spécifiquement sur le tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire Ghardaïa-Ménéaa, compris entre le PK 39+00 et le PK 49+00.

VII.2. L'ETUDE GEOLOGIQUES :

L'étude géologique a été réalisée sur la base de l'analyse et de l'exploitation des documents existants, notamment les cartes géologiques et les données disponibles auprès des différents intervenants (bureaux d'études techniques, entreprises), ainsi que les publications spécialisées.

Les principales sources utilisées sont les suivantes :

- ❖ La carte géologique de l'Algérie (2^e édition) à l'échelle 1/500 000 ;
- ❖ Les données issues des campagnes géologiques et géotechniques fournies par l'entreprise SETIRAIL.

D'un point de vue géologique, le territoire algérien se subdivise, du Nord vers le Sud, en quatre grands domaines structuraux distincts :

- **L'Atlas tellien (ou Tell) :**
Il correspond à une zone montagneuse caractérisée par des reliefs escarpés et des plaines littorales parmi les plus fertiles du pays, telles que la Mitidja au centre, le Chélif à l'ouest et la Seybouse à l'est. Ce domaine est marqué par une activité tectonique relativement importante.
- **Les Hauts Plateaux :**
Situés entre l'Atlas tellien au nord et l'Atlas saharien au sud, ils constituent une vaste zone steppique à relief globalement tabulaire. Cette région se distingue par la présence de bassins endoréiques et de dépressions salines (chotts et sebkhas).
- **L'Atlas saharien :**
Il forme une chaîne montagneuse orientée globalement Nord-Est / Sud-Ouest, s'étendant de la frontière marocaine à la frontière tunisienne. Ce domaine constitue une zone de transition structurale entre le Nord tellien et la plateforme saharienne.

- **Le Sahara algérien :**

Occupant la majeure partie du territoire national, il correspond à une plateforme stable caractérisée par des formations sédimentaires subhorizontales. Cette région se distingue par la présence de vastes étendues.

VII.2.1. Présentation de la zone d'étude :

La zone d'étude est située au Nord du Sahara algérien, A environ 600 Km de la capitale Alger. au pied de l'Atlas Saharien, dans la wilaya de Ghardaïa.

Géographiquement, cette zone marque la limite entre deux domaines différents l'Atlas saharien au Nord et la plateforme saharienne au Sud.

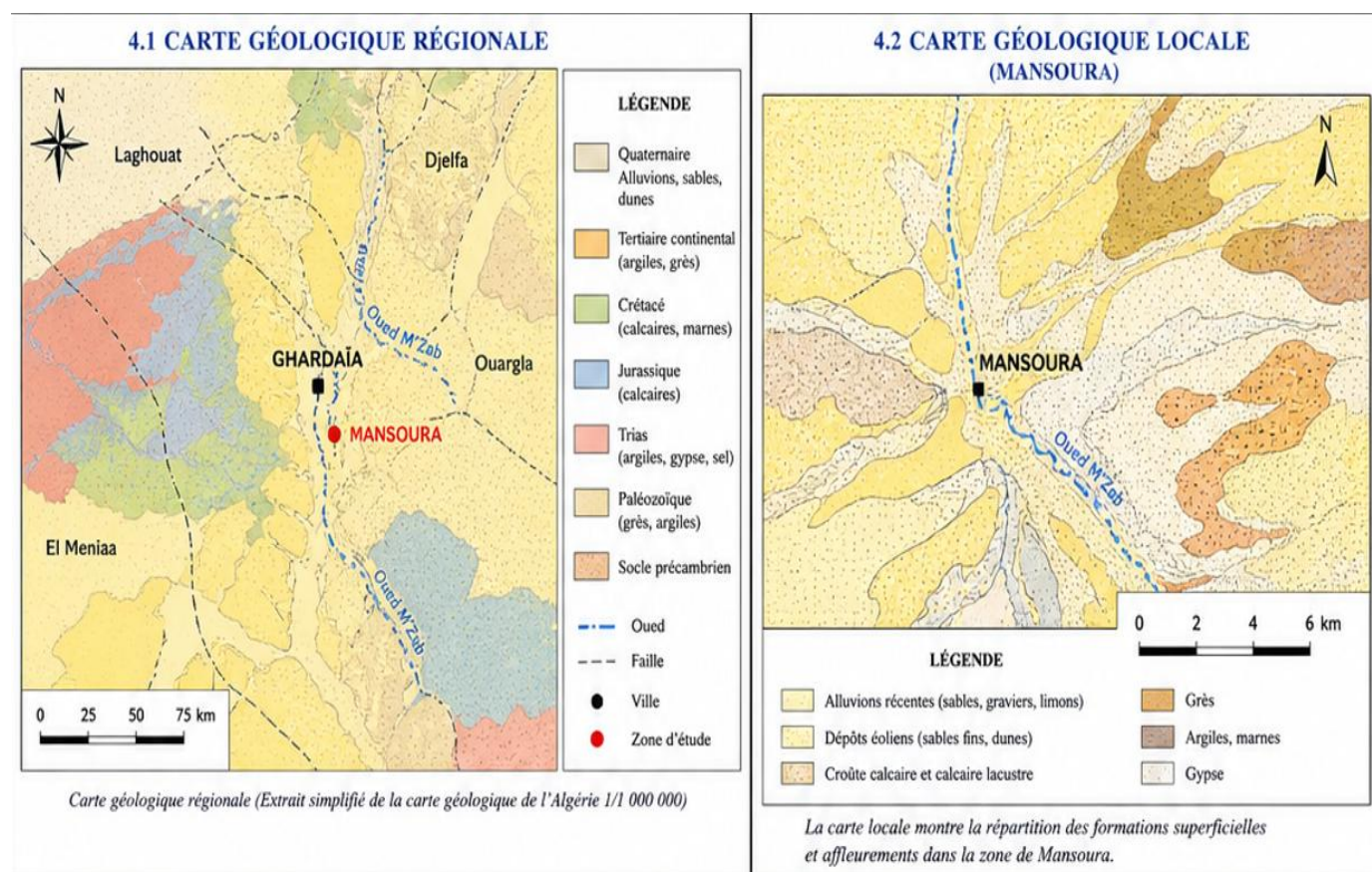


Figure VII.1 : carte géologique locale et régionale [9]

VII.2.2. Géologie régionale :

La zone d'étude est située sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Bas - Sahara. Les terrains affleurants sont en grande partie attribués au Crétacé supérieur, composés principalement par des dépôts calcaires turoniens dolomitiques ; qui forment un plateau subhorizontal appelé couramment "la dorsale du M'Zab".

Ce plateau rocheux est découpé en tous les sens par de petites vallées irrégulières, caractérisées par des dépôts quaternaires.

Du point de vue lithologique. Les affleurements sont de type :

- Argiles verdâtres et bariolées à l'Ouest et le Sud-ouest attribués au Cénomanien. En grande partie il est couvert par les dunes du grand erg occidental ;
- Calcaires massifs durs ; blanc grisâtre au centre. Attribués au Turonien ;

- Calcaires marneux et argiles gypseuses à l'Est. Attribués au Sénonien ;
- Sables rougeâtre consolidés à l'Est et au Nord-est attribués au Mio-pliocène ;
- Alluvions quaternaires tapissant le fond des vallées des oueds.

Par ailleurs, la région d'El-Goléa est située sur un niveau alluvial ancien creusé dans un plateau caillouteux dont les assises géologiques appartiennent au Cénomanién.

On rencontre à El-Goléa deux structures naturelles caractéristiques du milieu désertique :

La falaise et les "cours" plateaux d'âge cénomanién inférieur constituées par des calcaires et des marnes grises avec intercalation d'argile bigarrée ;

La plaine ou la dépression allongée formée d'albién et de quaternaire qui recouvre les marnes, les grès et les sables rouges vraciens. Le dépôt du quaternaire continental présente des épaisseurs zonalement très variables.

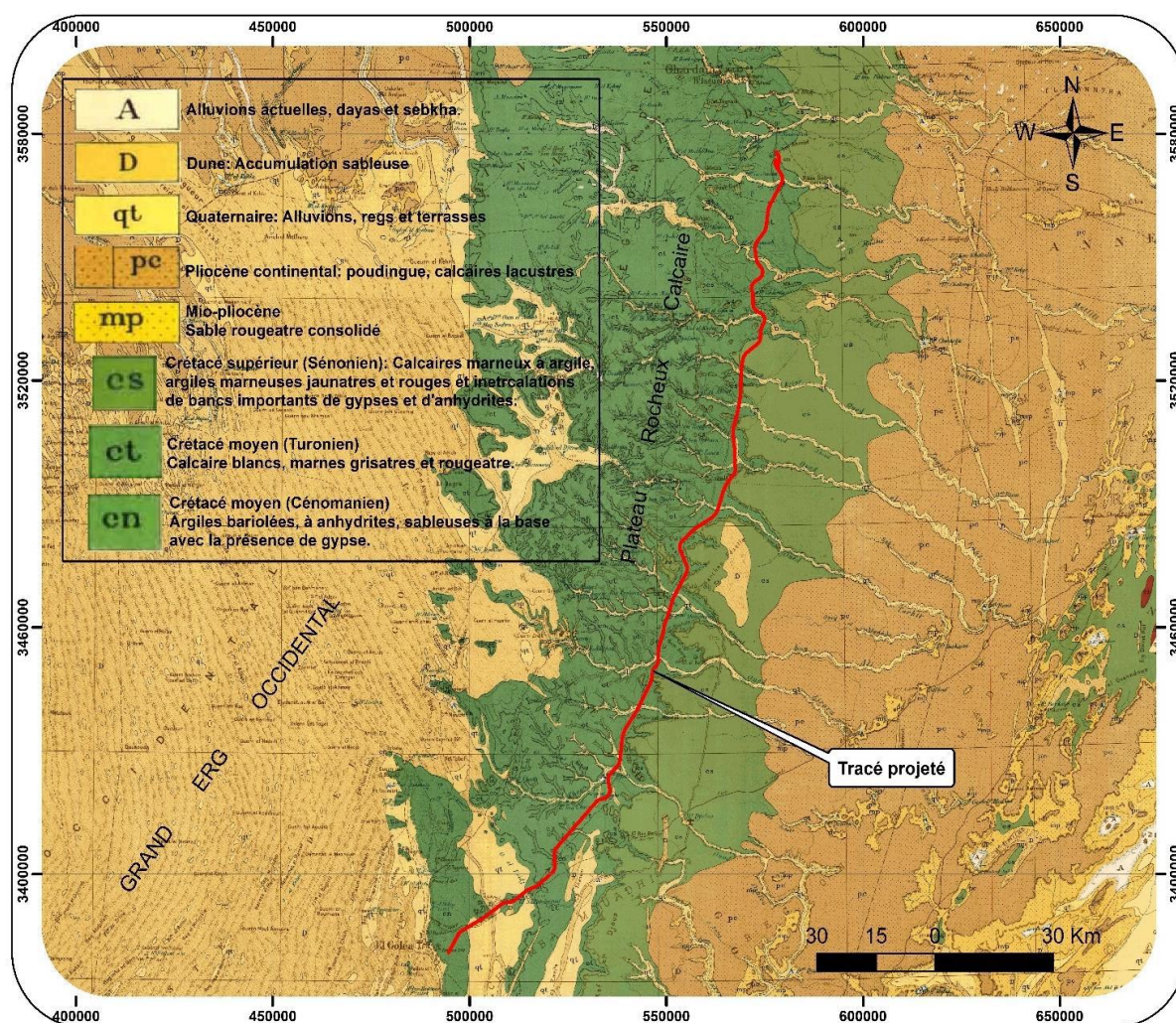
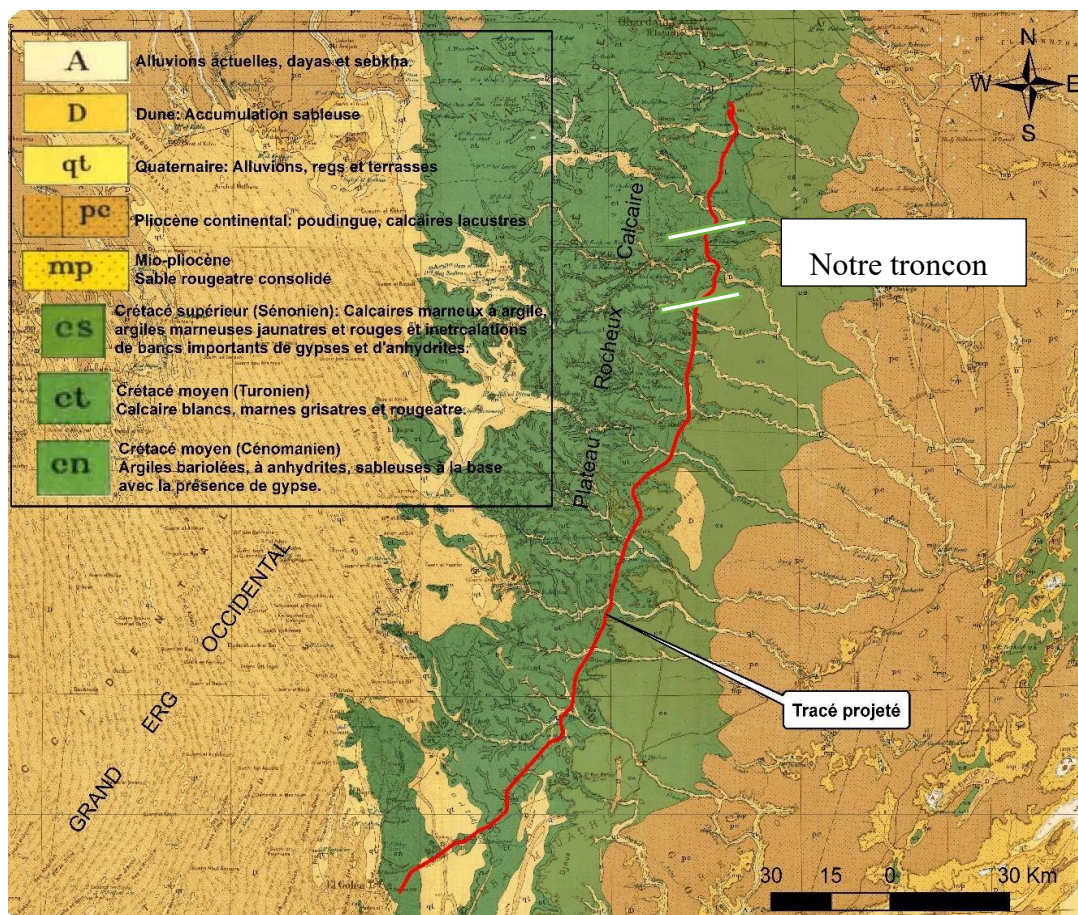


Figure VII.2 : Tracé projeté sur carte géologique d'Algérie 1/500 000 [9]

VII.2.3. Géologie locale :

- ❖ Du PK 39+850 au PK 40+850 (CS) : Le Sénonien (Crétacé supérieur) est formé soit par des calcaire marneux à argile (Sénonien supérieur), soit par des argiles marneuses jaunâtres et rouges, à intercalations de bancs importants de gypses et d'anhydrites (Sénonien inférieur) ;

- ❖ **Du PK 40+850 au PK 43+300 (Ct) :** Le Turonien est composé de calcaires massifs durs : blancs grisâtres au centre ;
- ❖ **Du PK 43+300 au PK 46+550 (qt) :** le Quaternaire est formé d'alluvions et de sables plus au moins grossiers, argileux, remplissant le bas-fond de la vallée d'oued Touiel ;
- ❖ **Du PK 46+550 au PK 50+650 (Ct) :** Le Turonien est composé de calcaires massifs durs : blancs grisâtres au centre ;



VII.2.4. La sismicité de la zone d'étude :

D'après le règlement parasismiques algérienne (RPA, 2024) le territoire national est subdivisé en sept (07) zones de sismicité croissante, définies ci-dessous :

- **Zone 0 :** sismicité Très faible
- **Zone I :** Sismicité faible.
- **Zone II :** Sismicité faible à moyenne
- **Zone III :** Sismicité moyenne
- **Zone IV:** Sismicité moyenne à élevée
- **Zone V:** Sismicité Élevée
- **Zone VI:** Sismicité très élevée.

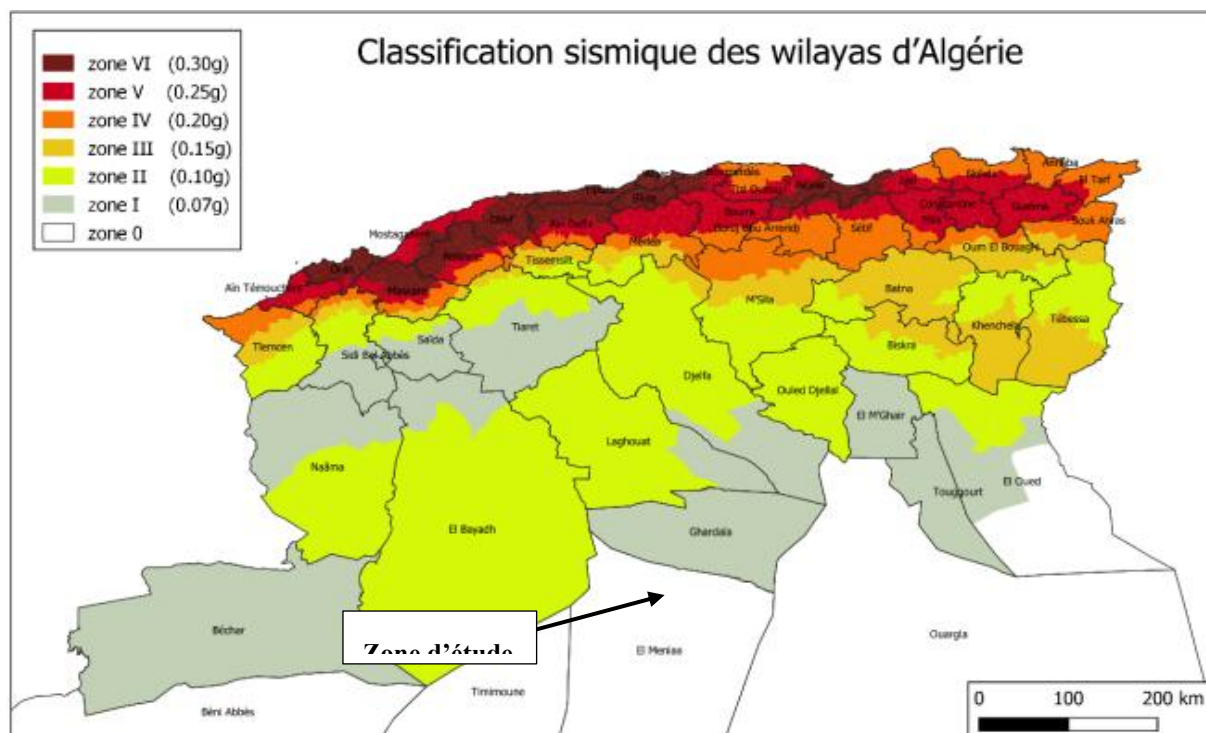


Figure VII.4 : classification sismique d'Algérie [4]

D'après ce découpage la zone d'étude la wilaya de Ghardaïa est située dans la Zone I, caractérisées par une sismicité faible.

VII.2.5. Contraintes géologiques :

Le domaine de la plate-forme saharienne constitue un vaste bassin sédimentaire, dont la partie la plus profonde se localise au niveau de la région des chotts, au centre du bassin. Il est caractérisé par d'importantes séries sédimentaires, à la fois marines et continentales, d'âge Crétacé à Tertiaire, reposant en discordance angulaire sur un socle primaire plissé. La tectonique y est globalement stable et faiblement marquée.

VII.2.5.1. Inondation :

La morphologie de la zone d'étude, combinée à la densité du réseau hydrographique et aux conditions climatiques arides, confère à la région une forte vulnérabilité vis-à-vis du risque d'inondation.

Le tracé projeté de notre projet peut traverser plusieurs zones à risque d'inondation comme ; Large lit d'Oued, chevelu hydrographique important, zones basses et stagnation des eaux et débordement d'Oued.

Le tableau ci-dessous présente les principales zones à risque d'inondation :

PK	Type d'inondation	Risque	Protection	Dimension (zone inondable)
Du PK 40+275 au PK 41+050	Oued Ghzalate	Ecoulement	Protection en gabionnage sur la partie amont et protection de la plateforme avec matériaux zone inondable (sur une hauteur NPHE +0.5 m)	Protection de la plateforme avec matériaux zone inondable sur une longueur = 642 m.
Du PK 42+500 au PK 43+100	Ecoulement en parallèle : le tracé longe l'oued entre le PK 42+500 au PK 43+100.	Ecoulement	Protection en gabionnage	/
Du PK 44+350 au PK 44+525	Interception de plusieurs petites cours d'eau sur le côté droit de la voie (forte pente de terrain)	Risque d'érosion de la plateforme	Protection en gabionnage sur la partie amont	/
Du PK 47+700 au PK 47+950	Oued Touiel	/	Pas de protection : l'écoulement est traversé en sa totalité par un ouvrage d'art	/

Tableau VII.1 : Zones à risque d'inondation [9]

PROFILE EN TRAVERS TYPE ZONE INONDABLE : (VOIR PLANCHE 4).

VII.2.5.2. Ensablement :

L'ensablement est le processus par lequel le sable est déplacé par le vent ou l'eau et se dépose sur les terres environnantes. Les particules de sable peuvent être transportées sur de longues distances et s'accumuler dans diverses régions, y compris les zones agricoles, les villages, les routes et les infrastructures.

Au niveau des bassins versants et des lits d'oueds, ce phénomène s'explique par la dynamique fluviale, qui arrache les sables piégés sur les versants et les redistribue le long du réseau hydrographique lors des épisodes de crue. Par ailleurs, les reliefs, en tant qu'éléments structurants du paysage, constituent des obstacles qui contraignent les dépôts sableux d'origine éolienne à épouser leur morphologie.

La zone d'étude est située près du Grand Erg Occidental, ce qui fait que le risque d'ensablement des infrastructures et voiries est très élevé.

On remarque, en général, une pollution ou des accumulations de sable éolien sur le plateau rocheux de Ghardaïa, les lits d'Oued, les dépressions et le niveau alluvial d'El Menéa. La matrice sableuse se trouve généralement :

CHAPITRE : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

- Piégé dans le couvert végétal ;
- Sur les bassins versants et les lits d'oueds, cela est dû à la dynamique fluviale qui soutire les sables piégés des versants et les redistribue le long du réseau hydrographique, au cours des crues ;
- Auteurs des reliefs, ces derniers constituent un obstacle ce qui fait que le sable éolien épouse la forme des reliefs.

Ci-dessous on mentionne les principales zones ensablées le long du tracé, le détail est donné dans l'étude environnementale :

Du PK 47+475 au PK 47+725 : Le tracé traverse des dunes jointives formant un cordon dunaire assez long.



Du PK 48+025 au PK 51+550 : Présence de dunes de sable sur les deux côtés du tracé.



Figure VII.5 : Zones à risque d'ensablement [9]

VII.2.5.3. Protection contre l'ensablement

Dans les zones désertiques, l'ensablement constitue une menace pour l'exploitation ferroviaire en raison de l'accumulation de sable sur la voie. Pour limiter ce phénomène, plusieurs dispositifs peuvent être mis en place, tels que les barrières pare-sable, la fixation des dunes par la végétation et les ouvrages de protection.

Lorsque la ligne traverse des dunes mobiles, des **voûtes ou galeries de protection anti-ensablement** peuvent être réalisées. Ces ouvrages permettent au sable transporté par le vent de passer au-dessus de la voie, réduisant ainsi les dépôts sableux et les besoins de maintenance, tout en garantissant la sécurité et la continuité de l'exploitation ferroviaire.

VII.3. ETUDE GEOTECHNIQUE :

Dans tout projet linéaire ou de construction, la reconnaissance géotechnique doit être menée avec rigueur afin de permettre une caractérisation précise des conditions géologiques et géotechniques du site, et de fournir les données indispensables à la conception et au dimensionnement des ouvrages.

VII.3.1. Programme d'investigation géotechnique :

Le but initial de ces investigations est de fournir les éléments nécessaires pour les études et les travaux de terrassement et de fondation.

Dans cette partie sont énumérés les différents types d'investigations de terrain et les essais de laboratoire proposés :

- ❖ Reconnaissance sur site.
- ❖ Sondages mécaniques.
- ❖ Puits de reconnaissance.
- ❖ Essais de pénétration dynamique.
- ❖ Essais de laboratoire sur les échantillons des puits et des sondages.

L'ensemble des travaux réalisés et les résultats obtenus de la campagne géotechnique ont été synthétisés et exposés de telle manière à déterminer :

- ❖ La nature et les propriétés des sols en place avec la classification des matériaux en basant sur le GTR et le UIC
- ❖ Le dimensionnement de la structure de plateforme ferroviaire .
- ❖ L'identification et la localisation des problèmes et/ou des contraintes techniques du point de vue géologique rencontrés le long du tracé .
- ❖ La définition des zones d'emprunt, ainsi que les carrières pour granulats et ballast .
- ❖ Les propositions relatives aux modes de fondations des différents ouvrages à construire .

VII.3.1.1. Essai in situ :

Le tableau ci-dessous, présente l'ensemble des essais in-situ prévus pour le lot de la voie avec leurs objectifs :

Essai	Objectifs
Sondage Carotté	-Identification du sol. ✓ Distinction des types de formation. ✓ Prélèvement des échantillons.
Essais de pénétration dynamique	– Détermination de profondeur du couche de sol résistante et l'homogénéité de sol. – Evaluation du Capacité portante du sol.
Les puits de reconnaissance	– Déterminer la portance du sol et caractériser les – Propriétés géotechniques des matériaux rencontrés.
Essai SPT	– Tester la résistance du sol, tout en prélevant des échantillons remaniés du terrain. – Connaître la compacité des sols pulvérulents et la consistance des sols cohérents.

Tableau VII.2 : Essais in-situ et les leurs objectifs [9]

VII.3.1.2. Sondages carottés :

Quatre (04) sondages carottés de vent (20.00 m) de profondeur ont été réalisés dans le but de saisir convenablement la succession stratigraphique et les caractéristiques géotechniques des sols existants et de définir plus particulièrement le niveau lithologique susceptible de constituer une bonne assise pour les fondations projetées.

Les résultats des mesures sont montrés ci-après :

X	Y	PK	Essai in situ	Prof (m)	niveau piezometrique	Natures des terrains
571725	3538252	40+575	F 11 GH-M	20.00	20.00	0.00 – 0.25 : TVR, composé de sable caillouteux légèrement limoneux a argileux, jaune a rougeâtre. 0.25 – 9.00 : encroutement de calcaire tufacé, légèrement gypseux, induré, de couleur beige grise, sec, renferment des graviers de grès et de calcaire. 9.00 – 17.00 m : marne argileuse, indurée, bariolé, peu graveleuse, friable, rougeâtre a verdâtre
573300	3532098	48+025	F 12 GH-M	20,00	20.00	0.00 – 0.20 m : Tous Venant de Reg, composé de sable, jaunâtre, légèrement limoneux à argileux. 0.20 – 15.00 m : Conglomérats calcaireuse à dominance de ciment de calcite entre (0.20-7.60m) et de ciment argileux entre (7.60-15.00m), plus altéré en profondeur renferment des passages plus sain et plus dur, généralement elle est récupérée sous forme de fragments désagregés lors de forage.
582804	3584632	42+403	F 61 GH-M	20,00	20.00	0.00-0.40m Sable grésifié, récupéré broyé, gris beige. 0.40-2.50m Grés à aspect conglomératique, récupéré sous une forme broyée. 2.50-20.00m Calcaire beige gris, poreux par certaines profondeurs, récupéré parfois broyé.
		46+575 AU 46+474	F100 GH-M	20,00	20.00	0.00-9.00m Sable grésifié rougeâtre, récupéré broyé. Avec passage centimétrique de grés fin beige gris entre 7.80-8.00m 9.00-19.80m Sable limoneux très graveleux de couleur rouge 19.80-20.00m Grés calcaireux poreux de couleur grisâtre.

Tableau VII.3 : Résultats des sondages carottés [9]

VII.3.1.3. Puits de Reconnaissances :

Comme prévu dans le programme d'investigations géotechniques, un (01) puit de reconnaissances ont été réalisés jusqu'à une profondeur de quatre mètres (4 m). Les coordonnées de ce puit sont récapitulées dans le tableau suivant :

Type	Designation Puit	PK	Coordonnés		Prof. (m)
			X	Y	
Remblai	PU 05 GH-M	46+600	574400	3533517	4
Profondeur (m)		Description lithologique			
00.00 – 00.20		Tout venant de REG, composé de sables gravello- argileux, de couleur rouge brunâtre, renferment des fragments de grès et de calcaire.			
00.20 – 00.30		Dalle calcaire gréseux, beige blanchâtre, peu vacuolaire, moyennement dense			

Tableau VII.4 : Coordonnées des puits de reconnaissance [9]



Photo de la fin de l'excavation du puits



Photo de la coupe du puits d'exploration.

VII.3.1.4. Pénétromètre dynamique : (NFP 94-115)

L'essai de pénétration dynamique consiste à enfoncer dans le sol, par battage et de manière quasi-continue, un train de tiges lisses muni à son extrémité d'une pointe débordante. Le nombre de coups de mouton correspondant à un enfoncement donné est noté au fur et à mesure de la pénétration de la pointe dans le sol, Permet de :

- Mesure de la résistance dynamique à l'enfoncement d'un pieu battu .
- Estimation de la résistance dynamique de pointe par la formule dite des Hollandais .

Dans la section étudiée, nous avons une seul essai PDL

Dont la dimension moyenne des éléments ne dépasse pas 60 mm .Cet essai est limité à une profondeur de 15 m .

Nombre de coups nécessaires pour faire pénétrer dans le sol la pointe d'une hauteur h de 20 cm. L'injection de la boue de forage permet de supprimer le frottement latéral des tiges dans le sol.

Le mouton a une masse adaptable de 63,5 kg et une hauteur de chute de 0,75 m.

Pour pouvoir interpréter les résultats des essais de pénétration, la résistance à la pénétration est égale à :

$$q_d = \left(\frac{M \cdot g \cdot H}{A \cdot e} \right) \left(\frac{M}{M + M'} \right)$$

Étant :

- M = Masse du mouton (63,5 kg) .
- M' : masse cumulée, de l'enclume, des tiges, de la pointe .
- H =Hauteur de chute (75cm) .
- A =Section de la pointe (20 cm²) .
- g : accélération de la pesanteur (9,81 m/s²) .
- e : enfoncement par coup $e = 0,2/N_{coups}$ (20cm) .

Type	X	Y	PK	Essai in situ	Variation de la résistance de la pointe Rp (Bars)	Profondeur de refus avec résistance de la pointe
Remblai	574436	3533610	46+500	PDL 03 GH-M	390 < Rp < 1830	Refus à 0.6m avec Rp=1824 bars

Tableau VII.5 : Essai au pénétromètre dynamique [9]

VII.3.1.5. Essais De « Standard Pénétration Test » SPT :

L'essai de pénétration au carottier consiste à déterminer la résistance à la pénétration dynamique d'un carottier normalisé battu au fond d'un forage préalable. Les essais SPT effectués permettent de connaître la compacité des sols pulvérulents et la consistance des sols cohérents traversés .

En fonction de la profondeur, on donne le nombre de coups de mouton N nécessaire pour enfoncer le carottier de 30 cm. Ce nombre N caractérise la résistance à la pénétration .

SPT s'applique aux sols fins et grenus dont la dimension moyenne des éléments ne dépasse pas 20 mm parce que le diamètre de carottier est 37 mm

L'enfoncement est exécuté en deux phases :

Enfoncement d'amorçage ou démarrage :

On note le nombre de coups de mouton N0 pour enfoncer le carottier de 15 cm.

Enfoncement d'essai :

On note le nombre N de coups de mouton pour enfoncer le carottier de 30 cm supplémentaires.

Battage sur 15 cm , on note N1

Poursuivre le battage sur 15cm autre, on note N2

$$N_{spt} = N1 + N2$$

Après chaque essai, le carottier est remonté à la surface pour récupérer l'échantillon de sol remanié .

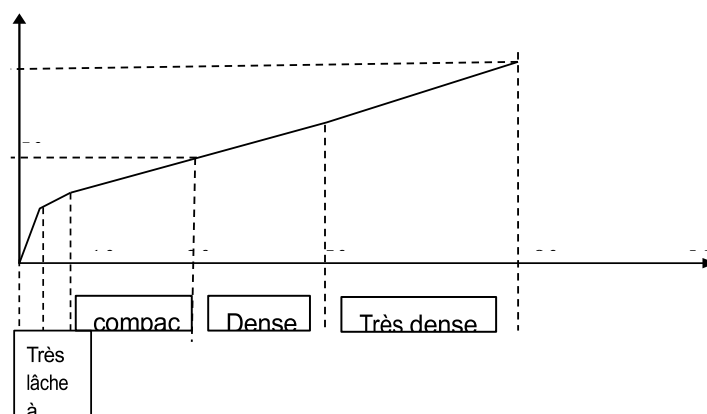


Figure VII.6 : Densité relative (SPT) des matériaux sableux

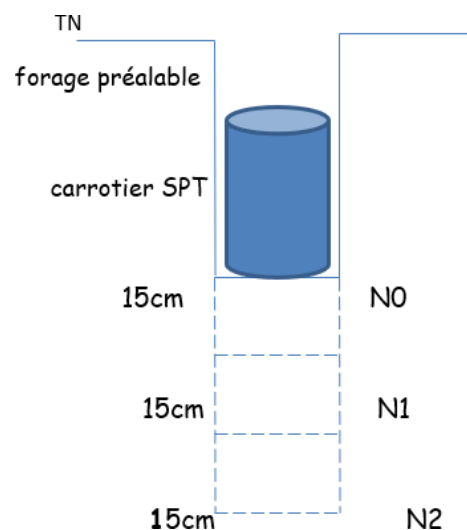


Figure VII.5 : Essai SPT

N° Sondage	PK	Profondeurs (m)	Nombres des coups			N ₂ +N ₃	Classification du sol selon la norme NF P94-261
			N ₁	N ₂	N ₃		
F12 GH-M	48+025	03.00-03.08	R			Refus >50	Sol très dense (roche)
		06.00-06.07	R				
		07.50-07.60	R				
F61 GH-M	42+403	3.00-3.04	Refus à 1.0cm			Refus >50	Sol très dense (roche)
		6.00-6.03	Refus à 2.0cm				
		9.00-9.02	Refus à 2.0cm				
		12.00-12.01	Refus à 1.0cm				
F100 GH-M	46+575	2.00-2.29	22	Refus 14cm	-	Refus >50	Sol très dense (roche)
		6.00-6.24	31	Refus à 9cm	-		
		12.00-12.13	Refus à 13.0cm				

Tableau VII.6 : Les résultats de l'essai SPT [9]

➤ D'après les Résultats de SPT on a observé que le sol est **très compacte (Dense)** .

VII.3.2. Essais en laboratoire :

Les essais de laboratoire ont été effectués sur les échantillons remaniés et intacts prélevés par le carottier de la sondeuse ainsi que par la pelle mécanique ; la récupération pendant la phase de carottage était plus au moins difficile pour les formations traversées constituées d'encrouement calcaire et de blocs rocheux fracturés.

VII.3.2.1. Essai d'identification et de classification :

	Essai	Norme	Objectifs
Essai physique	Analyse granulométrique moyenne	(NF P94-041)	Permet de détecter les pourcentages des différentes familles de grains constituant l'échantillon, Elle s'effectue par tamisage pour les grains d'un diamètre supérieur à 80 µm et par sédimentométrie pour les grains les plus fins.
	Limite d'Atterberg	(NF P94-051)	Détecter les teneurs en eau (exprimées en %) correspondant aux limites des différents états (limite de liquidité, limite de plasticité)
	Teneur en eau naturelle	(NF P94-050)	Représente la quantité d'eau contenu dans un échantillon de sol
	Essai (VBS) valeur de bleu méthylène	(NF P94-068)	Déterminer l'argilosité d'un sable d'un granulat et plus généralement d'un sol.
	Essais de propreté		L'équivalent de sable est un indicateur caractérisant la propreté d'un sable ou une grave. Il indique la teneur en éléments fins.
Essai mécanique	Portance CBR	(NF P94-078)	Mesure la capacité portante d'un sol ou d'un matériau de chaussée
	Proctor normal et modifié	(NF P94-093)	Détermine la teneur en eau optimale et la densité sèche maximale
	Essai de disablement retiling	(NF P94-071-1)	Permet de déterminer les paramètres de résistance au cisaillement du sol (cohésion C et angle d
	Essai de compression uni axial (sol et roche)	(NF P94-077) (NF P94-420)	Détermine la résistance à la compression simple du matériau et évalue son comportement mécanique sous chargement axial.
Essai Chimique	Matières organiques	(NF P 94-055) (P 94-058) (XP P 94-047)	Mesure la teneur en matières organiques du sol afin d'évaluer leur influence sur les caractéristiques mécaniques et la stabilité des remblais.
	Teneur en sulfates	(NF ISO 11048)	Détermine la concentration en sulfates susceptibles d'être agressifs pour les bétons, mortiers et matériaux de construction.
	Teneur en carbonate	(NF P94-048)	Mesure la teneur en carbonates présents dans le sol afin d'identifier sa nature géologique et son comportement géotechnique.
	Teneur en chlorures	(NF EN 196-2)	Détermine la concentration en ions chlorure pouvant provoquer la corrosion des armatures et l'altération des ouvrages.

Tableau VII.7 : Essais au laboratoire et les leurs objectifs [3/6]

CHAPITRE : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Les résultats des essais au laboratoire ont permis de classer le sol selon GTR et l'UIC.

Classification des sols (identification géotechnique)	Classe de qualité des sols
0.1 Sols organiques 0.2 QS0 0.2. Sols fins (comportant plus de 15% de fines (1)) Foisonnés, humides et donc non compactables. 0.3 Sols thixotropes (2) (quick –clay par exemple) 0.4 Sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse) 0.5 Sols comportant des matériaux polluants (déchets Industriels, par exemple) 0.6 Sols mixtes « minéraux Organiques » (2).	QS0
1.3 Sols comportant de 15 à 40% de fines (1) (sauf sols 0.2) 1.4 Roches évolutives par exemple : - craies de $\rho_d < 1,7 \text{ t/m}^3$ - marnes - schistes altérés 1.5 Roches meubles Par exemple : - Si MicroDeval en présence d'eau (MDE) > 40 et Los Angeles (LA) > 40	QS1
2.1 Sols comportant de 5 à 15 % de fines (1) 2.2 Sols comportant moins de 5 % de fines (1) mais uniformes ($CU \leq 6$) 2.3 Roches moyennement dures Par exemple : Si $25 < MDE \leq 40$ et $30 < LA \leq 40$	QS2
3.1 Sols comportant moins de 5 % de fines (1) 3.2 Roches dures Par exemple : Si $MDE \leq 25$ et $LA \leq 30$	QS3

Tableau VII.8 : Classification UIC 719R [6]

N° forages	W		Densité (t/m3)		Limites d'Atterberg %			Granulométrie %					Analyses chimiques %			
	Profondeur	%	$\gamma_d(t/m3)$	$\gamma_h(t/m3)$	Wl	Wp	Ip	<80 μm					SO4	CaCO3	Cl-	CO2
F11-GH-M	3.00-3.60	/	1.77	1.92	/	/	/	/					0.39	81.8	0.2	35.99
	14.40-14.60	27.9	1.77	2.03	79	35	14	90					0.35	62	0.3	27.28
	16.00-16.20	16.2	/	/	81	37	14	90.9					/	/	/	/
F12-GH-M	8-8.45	8.7	1.88	2.04	90	39	51	/					0.5	65	0.1	24.3
	11-1.35	17.7	1.63	1.92	/	/	/	76.3					0.9	24.1	0.58	10.6
F61 GH-M	2.7-3.00	7.5	2.02	2.17	56	26	30	93					0.8	44.8	0.47	19.72
F100 GH-M	5.7-6	14.5	1.71	1.96	57	27	30	67.8					0.35	64.4	0.25	28.42
	8.00-8.3	16	1.61	1.87	/	/	/	76.3					0.5	8.6	0.58	3.79

Tableau VII.9 : récapitulatif des paramètres géotechniques à partir des sondages carottés [9]

Puits	PK	Profondeur		Granulométrie		Limites d'Atterberg (%)			γ_d (t/m3)	VBS	Classification
		DE	A	<80 μm		Wl	Wp	Ip			
PU03 GH-M	46+600	0.00	0.20	12		31	/	/	1.85	/	QS2

Tableau VII.10 : paramètres géotechniques à partir des puits de reconnaissance [9]

VII.3.3. REUTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI :

VII.3.3.1. CLASSIFICATION DES MATERIAUX EN DEBLAI

Les matériaux rencontrés en déblai le long du tracé sont classés selon GTR comme suit :

Pour les calcaire R₂

Matériaux rocheux	Roches sédimentaires	Roches carbonatées	Calcaires	R ₂
		Roches argileuses	Marnes, argilites, pelites ...	R ₃
		Roches siliceuses	Grès, poudingues, brèches ...	R ₄
		Roches salines	Sel gemme, gypse	R ₅
	Roches magmatiques et métamorphiques	Granites, basaltes, andésites, gneiss, schistes métamorphiques et ardoisiers ...		R ₆

Cette classe regroupe l'ensemble de la gamme des matériaux calcaires rocheux. Leurs caractéristiques prédominantes, vis-à-vis de leur utilisation dans des remblais ou des couches de forme, sont la friabilité et éventuellement, pour les plus fragmentables d'entre eux, la gélivité. D'une manière générale, ces matériaux ne sont pas des matériaux rocheux évolutifs et ne posent pas de problèmes particuliers dans leur emploi en remblai. En couche de forme, leur friabilité peut conduire, par attrition ou désagrégation, à la formation de fines pouvant conférer à l'ensemble du matériau un comportement sensible à l'eau sous circulation des engins

D'après le GTR les matériaux appartiennent aux sous classe R21

MDE ≤ 45	calcaire dur	R ₂₁
MDE > 45 et pd > 1,8	calcaire de densité moyenne	R ₂₂
pd ≤ 1,8	calcaire fragmentable	R ₂₃

VII.3.3.2. L'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI

OBSERVATION GENERALE

R21 Matériaux rocheux sains Ces matériaux habituellement insensibles à l'eau, sont utilisables en remblais quelles que soient les conditions météorologiques

CONDITION D'UTILISATION EN REMBLAI

- Élimination des éléments ≥ 800 mm.
- Compactage moyen.

VII.3.3.3. L'UTILISATION DES MATERIAUX EN COUCHE DE FORME

OBSERVATION GENERALE

R21 : Ces matériaux issus de roches saines et dures peuvent être utilisés en couche de forme :

- Soit dans leur état naturel après avoir éliminé ou fragmenté, les éléments grossiers ne permettant pas le réglage de la plate-forme conformément aux exigences formulées
- Soit traités avec un liant hydraulique. Le traitement n'est cependant envisageable que dans la mesure où un malaxage intime du liant avec le sol peut être réalisé soit en place avec des malaxeurs à outils animés (pulvimixers...) soit en centrale.

CONDITION D'UTILISATION EN COUCHE DE FORME

Solution 1 :

- Elimination de la fraction grossière empêchant un réglage correct de la plate-forme

Solution 2 :

- Elimination de la fraction grossière empêchant le malaxage correct du sol avec le liant
- Arrosage pour maintien de l'état hydrique du mélange sol + liant
- Traitement avec un liant hydraulique
- Application d'un enduit de cure éventuellement gravillonné

VII.4. CONCLUSION :

Cette étude approfondie a permis d'évaluer avec précision les caractéristiques géologiques et géotechniques du site, d'identifier les risques potentiels liés au terrain et de proposer des mesures d'atténuation adaptées. L'analyse des données recueillies a également permis de caractériser les différentes formations géologiques présentes sur l'emprise du projet.

Par ailleurs, l'étude a mis en évidence certaines zones sensibles, notamment les secteurs exposés aux risques d'inondation. Cette identification précoce a favorisé la définition de mesures préventives et correctives visant à réduire les impacts éventuels sur l'infrastructure.

Il est important de souligner que l'étude géologique et géotechnique constitue un processus évolutif nécessitant un suivi continu tout au long des phases de construction et d'exploitation du projet ferroviaire.

L'ensemble des résultats obtenus a servi de base à la conception d'une infrastructure robuste, durable et résiliente, garantissant des services ferroviaires sûrs et fiables, tout en préservant l'environnement naturel et en limitant les impacts sur les populations locales.

D'après l'étude géologique et géotechnique de la région on est conclu Le sol support est classé en **QS2** Roches moyennement dures.



CHAPITRE VIII
DIMENSIONNEMENT DE
L'ASSISE FERROVIAIRE



CHAPITRE VIII : : DIMENSIONNEMENT DE L'ASSISE FERROVIAIRE

VIII.1. INTRODUCTION

La structure d'assise, appelée également infrastructure de la voie ferrée, constitue le soubassement sur lequel repose l'ensemble de la voie. Elle comprend principalement la couche de ballast, la sous-couche ou sous-ballast ainsi que la plate-forme. Cet ensemble joue un rôle essentiel dans le bon fonctionnement et la durabilité de la voie ferrée, en assurant à la fois la stabilité, la rigidité et le drainage de l'infrastructure.

Les principales fonctions de la structure d'assise sont les suivantes :

- ❖ Assurer la répartition des charges transmises par les traverses vers la plate-forme de manière uniforme ;
- ❖ Amortir les vibrations et les sollicitations dynamiques générées par le contact roue-rail ;
- ❖ Contribuer à la stabilité longitudinale et transversale de la voie ferrée ;
- ❖ Garantir l'évacuation des eaux de ruissellement grâce à un système de drainage efficace ;
- ❖ Protéger le ballast contre la contamination par les fines provenant du sol support.

Ainsi, la structure d'assise constitue un élément fondamental de l'infrastructure ferroviaire, puisqu'elle assure la pérennité, la sécurité et le confort d'exploitation de la voie ferrée.

VIII.2. COUCHE D'ASSISE :

La couche d'assise est composée de couche de ballast, Couche Sous ballast, une couche de fondations et bien éventuellement une couche anti contaminant ainsi qu'une couche drainante. Le type et l'épaisseur du matériau choisi pour la couche d'assise dépend de plusieurs paramètres :

- Les caractéristiques du sol de la plateforme (la portance, sensibilité à l'eau et au gel-dégel).
- Les conditions hydrologiques et hydrogéologiques du site.
- Les conditions climatiques. Le trafic du site.
- Armement de la voie (rails, nature et espacement des traverses etc....).

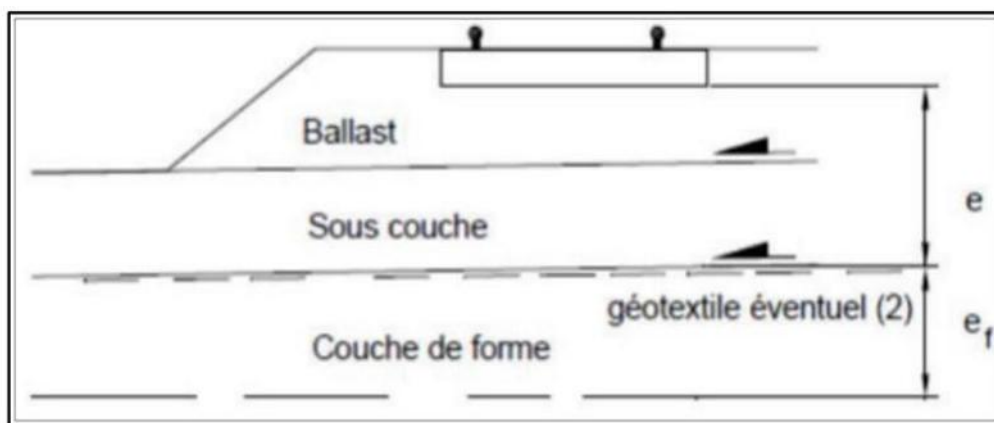


Figure VIII.1: Les couches d'assise [7]

VIII.2.1. Le ballast :

Le Ballast est un élément support majeur de la voie ferrée. C'est un matériau granulaire et dont 100 % de la surface des grains est entièrement concassée provenant du concassage de roches extraites dans des carrières de pierres dures (granit, diorite, quartzite...), de forme polyédrique à arêtes vives.

La couche de Ballast supporte les efforts transmis par les traverses et elle doit être compactée lors de la mise en place de la voie, afin d'améliorer sa stabilité

VIII.2.1.1. Caractéristiques du ballast :

Le ballast est composé de roche concassée, conformément aux exigences définies dans le référentiel technique de la SNTF et la norme NF P53-695. Ces exigences doivent être satisfaites pour assurer la qualité du ballast utilisé dans les voies ferrées. Pour cela il faut que :

Caractéristiques physiques	Granulométrie	25 mm ≤ D ≤ 50 mm La granulométrie la plus utilisée (31,5/50) ; (25/50) Respecte la Norme Européenne CEN/TC/154 AD HOC
	Formes Des granulates	Elle doit être poly hydrique avec des éléments d'arêtes vives, les granulats ne doivent être ni trop longs ni trop plats.
	Homogénéité des granulates	Un ballast hétérogène se dégrade rapidement. Il doit être propre, sans fines ni débris, afin d'assurer une bonne stabilité et un drainage efficace. La teneur en éléments passant au tamis de 1,6 mm doit être inférieure à 0,5 %.
Caractéristique mécanique	La résistance à l'usure	Micro Deval soit de : MDE ≤ 6 %.
	Resistance aux chocs	Los-Angeles soit de : LA ≤ 19 %.
	Dureté	Elle est évaluée par des essais statiques mesurant la résistance du ballast à l'attrition et aux chocs. Cette propriété est exprimée par le coefficient de dureté relative globale (DRG), dont la valeur varie selon le type de traverses et l'intensité du trafic ferroviaire.
	La résistance à la compression	(RC) ≥ 1200 kg/cm ²

Tableau VIII.1 : Caractéristiques du ballast [7]

VIII.2.1.2. Les principales fonctions et rôles du ballast :

Le ballast remplit plusieurs fonctions essentielles dans la construction des voies ferrées :

- ✓ Il assure une répartition uniforme des charges induites par les véhicules ferroviaires sur la plate-forme, permettant ainsi une transmission homogène de ces charges, tout en évitant toute déformation due à l'affaissement.
- ✓ En encastrant les traverses, il contribue à la stabilité de la superstructure de la voie.
- ✓ Grâce à sa granularité spécifique, il facilite le drainage et l'évacuation des eaux superficielles, prévenant ainsi les problèmes d'inondation.
- ✓ Le ballast agit comme un amortisseur de vibrations efficace grâce à sa propriété rhéologique, dissipant l'énergie des vibrations par frottement entre ses éléments. Garantissant ainsi la sécurité et le confort des circulations.
- ✓ Il limite la dilatation thermique à un niveau minimal.
- ✓ Il empêche la croissance des plantes sous la voie, évitant ainsi des problèmes potentiels.

Ces diverses fonctions du ballast sont cruciales pour assurer la performance, la sécurité et la durabilité des voies ferrées.



Figure VIII.2 : Ballast sur la voie [3]

VIII.2.2. SOUS COUCHE :

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

Elle comprend du haut vers le bas, une couche sous ballast en grave propre entièrement concassée (0 /31.5 mm) bien graduée, une couche de fondation dans le cas de mauvais sol exécutée en grave sableuse entièrement concassée puis enfin s'il y a lieu une couche anti contaminatrice complétée par des feuilles de géotextile de séparation.

VIII.2.2.1. Importance de la sous-couche :

La sous-couche joue un rôle crucial dans la construction des voies ferrées, avec plusieurs fonctions importantes :

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

VIII.2.2.2. Le géotextile :

Les géotextiles sont des types de géo-synthétiques perméables à l'eau et à l'air qui peuvent être utilisés pour des applications variées, notamment la séparation et la prévention de la contamination, le drainage filtrant et le renforcement des structures.

VIII.2.3. LA PLATE-FORME :

La partie supérieure de l'ouvrage en terre qui soutient la sous-couche, appelée plateforme, est constituée soit de terres rapportées pour un remblai, soit du sol naturel pour un déblai.

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

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

Afin d'évaluer la qualité de la plateforme, il est nécessaire de réaliser les actions suivantes :

- Évaluer la qualité de chaque sol constituant la plateforme.
- Évaluer la qualité de la plateforme dans son ensemble : Cela implique de considérer la combinaison de la couche de forme et du sol sous-jacent.

L'évaluation de la qualité de la plateforme est indispensable. Elle permet de prendre des mesures appropriées, telles que la modification du sol, le renforcement du sol ou la mise en œuvre de techniques spécifiques, afin d'assurer une plateforme solide, fiable et durable.

VIII.2.3.1. Classification des sols pour la plateforme :

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

- La nature géotechnique du sol ; à cet égard, on utilise l'identification géotechnique.
- Les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales.

Ces conditions, sont réputées bonnes si :

- ✓ La couche supérieure du sol considéré est hors de toute nappe naturelle (niveau de cette dernière mesuré avant toute opération de rabattement complémentaire et en période climatique défavorable).
- ✓ La plateforme n'est pas le siège de percolations (pénétration par l'eau circulant dans le sol (éventuellement pollué)) naturelles transversales, longitudinales ou verticales nocives.
- ✓ Les eaux de pluie sont évacuées correctement de la plateforme et les dispositifs longitudinaux de drainage sont en bon état de fonctionnement.

L'analyse de la fiche UIC 719 R nous permet de distinguer quatre classes de qualité de sols selon la classification des sols (identification géotechnique) :

- ❖ QS0 : Sol impropre à toute utilisation.
 - ❖ QS1 : Sol médiocre.
 - ❖ QS2 : Sol de qualité moyenne.
 - ❖ QS3 : Sol de bonne qualité.
- ❖ Pour tous les puits de reconnaissance réalisés dans notre projet la classe de qualité du sol de la plateforme, la classe prépondérante dans cette zone est de classe QS2 Selon la fiche UIC 719R.

VIII.2.3.2. La classe de portance de la plateforme :

Le choix du type de plate-forme est déterminé par la nature et l'état hydrique des sols constituant le couronnement des remblais ou les sols situés au niveau de la fondation de la plate-forme en excavation, ainsi que leur épaisseur.

Selon le code - UIC 719 R, p16 -, trois classes de qualité des sols sont définies :

- ❖ P1 : plate-forme de médiocre qualité (une capacité de support limitée)
- ❖ P2 : plate-forme de moyenne qualité (une capacité de support modérée)
- ❖ P3 : plate-forme de bonne qualité (composées de sols de haute qualité et peuvent supporter des charges importantes)

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

Tableau VIII.2: La classe de portance de la plateforme (Fiche UIC 719) [7]

❖ Plate-forme proposée :

Compte tenu de ce qui précède, notamment de la classe des qualités du sol support le plus souvent rencontré le long du tracé est **QS2**, ainsi que les prescriptions données par les UIC nous conseillons d'opter pour une plateforme de **type P3** (plateforme bonne) dimensionnée préalablement pour un tel type de sol (QS2).

❖ *Couche de forme* :

Concernant le besoin d'obtention d'une plate-forme de qualité de support du type P3, Sur les matériaux QS2 on a adopté une couche de forme dont la qualité de sol est QS3 et cela sur une épaisseur de 35 cm.

VIII.3. CALCUL DES ÉPAISSEURS MINIMALES DES COUCHES D'ASSISE :

Une plateforme ferroviaire est constituée généralement par un ensemble de sous couches à savoir :

Une couche de ballast, Une sous-couche qui comprend les couches de sous ballast, couche de fondation, couche anti-contaminant et géotextile.

L'épaisseur de l'ensemble ballast + sous-couche, conformément à la fiche UIC 719 est donnée par l'expression suivante :

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

Avec :

E : facteur dépendant des classes de portance (P1, P2 ou P3).

a : facteur dépendant de l'UIC groupes (groupe 1 à 6, UIC714R).

b : facteur dépendant de type de traverse.

c : facteur dépendant des conditions de travail.

d : facteur dépendant de la charge maximale d'essieu des véhicules.

f : facteur dépendant de la vitesse.

g : facteur dépendant de l'installation de géotextiles.

CHAPITRE : DIMENSIONNEMENT DE L'ASSISE FERROVIAIRE

Paramètres de Epaisseur(m) Dimensionnement		Conditions
E	E=0.45m	Pour les plateformes de classe de portance P3.
a	a=0m	Pour les groupes UIC 1 et 2 (ou ligne à $V > 160$ km/h quel que soit le groupe UIC).
	a= -0.05m	Pour les groupes UIC 3 et 4.
	a= -0.10m	Pour les groupes UIC 5 et 6.
b		Pour les traverses béton de longueur L.
C	C=0	Pour un dimensionnement normal.
	C=-0.10m	À titre exceptionnel pour des opérations difficiles pour les lignes existantes de groupe UIC autre que 7.8 et 9 avec Voyageurs.
d	d= 0	Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 KN.
	d= +0.05m	Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN.
	d= +0.12m	Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250KN.
f	f=0	Pour toutes les lignes parcourues à $V \leq 160$ km/h pour les plateformes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse.
g	g= +0.01	Géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS 1 ou QS2
	g=0	(Pas de géotextile) lorsque la couche de forme est en sol QS3

Tableau VIII.3 : Les paramètres de dimensionnements et leurs valeurs (UIC 719R) [7]

Paramètre	Valeur	Critère de choix
E	0,45	Pour une plateforme P3
a	0.00	pour les lignes de vitesse $V > 160$ Km/h.
b	0.13	Traverse en béton avec $L = 2.245$ m.
c	0.00	pour un dimensionnement normal.
d	0,05	pour la charge nominale d'essieu de 22.5 ton/axe
f	0.00	pour une plate-forme P3, et ligne à grande vitesse.
g	0.00	Sans géotextile en sol QS3.
Épaisseur de e (m)	0.63	
Épaisseur adopte (m)	0.70	

Tableau VIII.4 : Dimensionnement de la couche d'assise. [3]

VIII.4. APPLICATION AU PROJET :

Pour la couche de ballast on a :

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

Couches	Épaisseur (cm)	Matériaux
Ballast	35	GC (grave concassée) (25/50 mm)
Sous-ballast	20	Grave propre (0 /31.5 mm) bien graduée
Couche de fondation	15	Grave sableuse entièrement concassée
Couche de forme de type QS3	35	TUV

Tableau VIII.5 : Structure de la voie. [3]

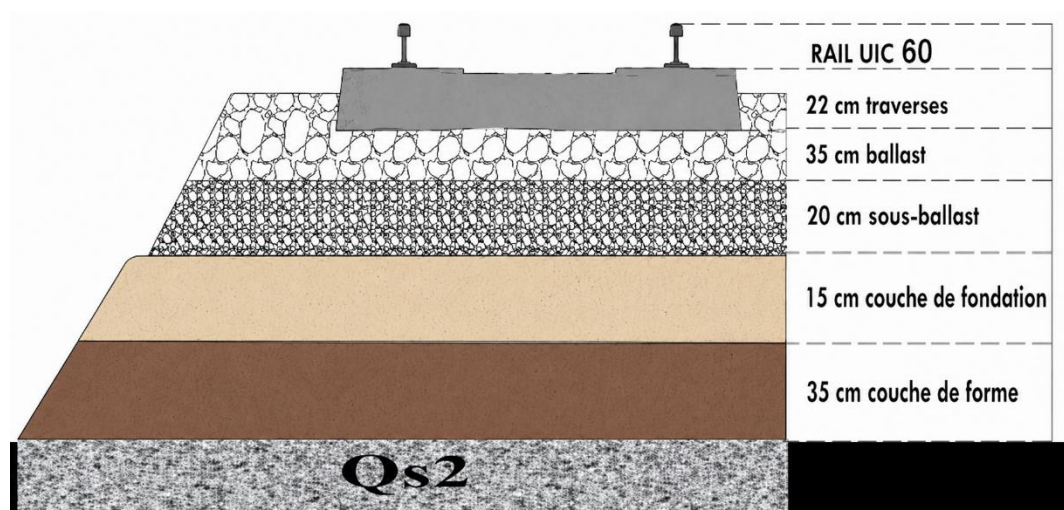


Figure VIII.3 : Les composants de la structure d'assise [3]

VIII.5. CONCLUSION :

À travers ce chapitre, nous avons mis en évidence le rôle fondamental de l'assise ferroviaire ainsi que l'importance de son dimensionnement dans la réalisation de voies ferrées sûres et performantes. Il ressort de cette étude qu'un dimensionnement approprié de l'assise garantit la stabilité de la structure, la bonne répartition des charges et la durabilité de la voie ferrée. Enfin, cette analyse a permis de souligner que la maîtrise des principes de dimensionnement, associée à une maintenance régulière et rigoureuse, constitue un facteur essentiel pour assurer la pérennité, la sécurité et l'efficacité du réseau ferroviaire.



CHAPITRE IX

PROFIL EN TRAVERS



CHAPITRE IX : PROFIL EN TRAVERS

IX.1. INTRODUCTION

Le profil en travers d'une voie ferrée est la coupe transversale de cette voie suivant un plan perpendiculaire à l'axe de cette dernière. L'échelle la plus fréquemment utilisée est celle de 1/100. Il contient tous les éléments de la superstructure, de l'infrastructure et d'assainissement donc il permet de visualiser :

- Les différentes couches constituant l'assise ferroviaire.
- Les gabarits, entraxes et clôtures.
- Les dispositifs hydrauliques et les équipements de signalisation et de télécommunications.

On distingue deux types de profil :

IX.1.1. Profil en travers type :

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

IX.1.2. Profil en travers courant :

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

Le profil en travers courant est une pièce de base dessinée dans les projets à une distances régulières (10, 15, 20, 25m...). Qui servent à calculer les cubatures.

IX.2. LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS :

IX.2.1. Les éléments de superstructure :

- Le type de rail utilisé.
- La valeur de l'écartement de la voie.
- La distance entre les axes (cas de plusieurs voies), pour notre projet : voie unique.
- Le type de traverse utilisé.
- La valeur de devers en courbe (maximum).
- L'épaisseur de la couche de ballast.
- Les Positions des Poteaux caténaires et caniveaux à câbles (pour les voies électrifiées).

IX.2.1.1. Les éléments de l'infrastructure :

- Les épaisseurs et la nomination de chaque couche.
- Les pentes transversales de chaque couche.
- La pente latérale de la plate-forme.

IX.2.1.2. Les éléments du talus :

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

IX.2.1.3. Les éléments d'assainissement :

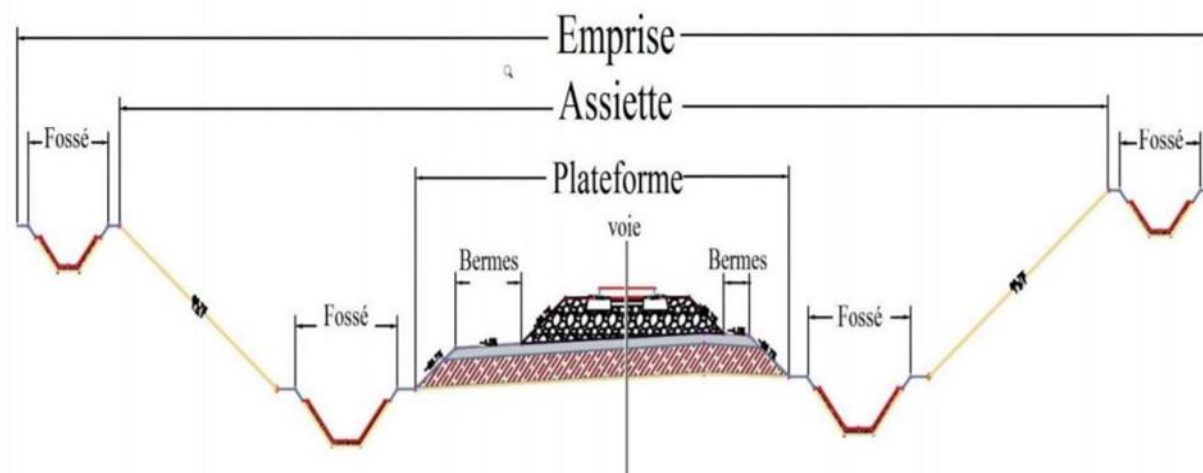


Figure IX.1 : Constituant d'un profil en travers [18]

- Le type et la dimension des ouvrages d'assainissement et/ou des draines.
- **Emprise** : C'est la surface du terrain naturel affecté à la voie, limitée par le domaine public.
- **Assiette** : C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.
- **Plate-forme** : C'est la partie qui reçoit la voie et le ballast (face supérieure du sous ballast).
- **La voie** : C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.
- **La berme** : Support des équipements de signalisations ferroviaires, Sa largeur dépend de L'espace nécessaire au fonctionnement de ces équipements.
- **Le fossé** : C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la voie et talus et les eaux de pluie.

IX.3. PROFIL TYPE DE NOTRE PROJET :

Le profil type utilisé sur notre tronçon a été choisi selon les exigences de la SNTF, il est le suivant :

- Type de ligne : voie unique mixte électrifié.
- Écartement de la voie de 1435mm.
- La voie repose sur une plateforme de 8 m de largeur. avec une largeur droite de 4,70 m et une largeur gauche de 3,30m mesurés à partir de l'axe de la voie.
- La superstructure est formée par des rails UIC-60 et des traverses mono-bloc.
- La pente latérale de la plateforme est de 4%.
- Les talus de déblais 1H/1V et de remblais 3H/1V en pente.
- Épaisseur du ballast 35cm.
- Épaisseur de la sous-ballast 20cm.
- Épaisseur de la couche de fondation 15cm.

CHAPITRE : PROFIL EN TRAVERS

- L'épaisseur de la couche de forme est de 35cm.
- La construction de fossés longitudinaux au pied de talus dimensions $b = 0.6 \text{ m}$ et $h = 0.6 \text{ m}$.

Remarque :

- En cas de raccordement (en pleine courbe), les épaisseurs de toutes les couches sauf le ballast seront fixes, c'est l'épaisseur de ballast qui va être augmenté pour créer le dévers exigé.
- Un projet ferroviaire peut avoir plusieurs profils en travers types, comme c'est le cas pour mon projet :
 - **Zone inondable** : ajout du géotextile anti-contaminant au tour du noyau de remblai et des enrochements latéraux.

IX.4. CALCUL DES CUBATURES :

Volume déblais (m ³)	Volume remblais (m ³)	Volume enrochement (m ³)
588923	2415291	13000

Tableau IX.1 : Les cubatures des terrassements.

Nature	Ballast	Sous ballast	Couche de fondation	Couche de forme
Volume (m ³)	28216.1	17557	14052.1	35736.3

Tableau IX.2 : Les cubatures des couches d'assise. [3]

IX.5. CONCLUSION :

En définissant la section type projetée et en estimant les volumes de déblais et de remblais, tout en intégrant les considérations environnementales, cette étape contribue à la conception d'une infrastructure ferroviaire répondant aux exigences de sécurité, d'efficacité et de pérennité.

PROFILE EN TRAVERS TYPE : (VOIR PLANCHE 1).



CHAPITRE X
TERRASSEMENTS ET
OUVRAGES



CHAPITRE X : TERRASSEMENTS ET OUVRAGES.

X.1. LES TERRASSEMENTS

Les travaux de terrassement font référence aux activités visant à altérer la topographie d'un terrain en vue de créer une plate-forme ferroviaire. Ces modifications du sol sont réalisées en effectuant des déblais et des remblais, parfois de grande hauteur.

Le **remblai** consiste à apporter des matériaux de remplacement afin d'élever le niveau du sol existant. Il s'agit d'une opération visant à combler les creux ou les dépressions du terrain.

En revanche, le **déblai** implique la réduction du niveau du sol en retirant des matériaux.

Cette opération permet de diminuer les élévations ou les reliefs excessifs du terrain.

Un **talus** en construction est une pente résultant des travaux de terrassement effectués. Il s'agit d'une surface inclinée du terrain qui peut être sujette à des mouvements non désirés si les mesures appropriées ne sont pas prises pour assurer sa stabilité.

Il est important de noter que lorsque les hauteurs des déblais et des remblais dépassent un certain seuil, il existe un risque de rupture, généralement sous la forme d'un glissement de talus.

D'une manière générale les travaux de terrassement sont exécutés en trois phases :

L'extraction → Le transport → La mise en remblai ou en dépôts.

X.1.1. SECTION EN REMBLAI

Les remblais seront profilés à 3H/1V (Horizontal/Vertical) avec une berme de 3m chaque 8m de hauteur. Les pentes de talus pourront être optimisées et cela en fonction des résultats des études de stabilité et des caractéristiques mécaniques des matériaux de réutilisation.

Les terres végétales seront décapées et stockées pour leur réutilisation ; ainsi que les talus des remblais seront protégés contre l'érosion et l'infiltration des eaux par la mise en place d'une couche de terre végétale d'environ 0,30 m d'épaisseur.

Les principales zones de remblai le long du tracé sont celles dont la hauteur dépassant les 8,00 m de hauteur est présentée dans le tableau. Il est à noter que la hauteur de ces remblais est variable.

Les zones de remblais tout au long du tracé sont délimitées selon le profil en long comme

Suit :

Début	Fin	Hmax (m)	Pk Hmax	Longueur	Pente
				(m)	
41+900	43+150	13.04	42+425	1250	3H/1V
44+175	44+575	10.13	44+400	400	3H/1V
46+075	47+175	11.43	47+175	1100	3H/1V

Tableau X.1 : Les principales zones des remblais [3]

X.1.1.1. Matériaux de corps de Remblais et exigences constructives pour exécution

Les matériaux constituant le corps de remblais doivent être exécutés par couches élémentaires superposées. La dimension des plus gros blocs ne doit pas dépasser les deux tiers de la couche élémentaire. Les blocs dont les dimensions sont incompatibles doivent être fractionnés ou enlevés.

Dans les corps des remblais, on peut envisager l'utilisation des matériaux de qualité argileux et/ou limoneux sableux, excepté les sols de nature argileuse très plastiques qui appartiennent aux classes A4, ainsi que les roches évolutives tel que les gypses, les argilites les schistes, il est recommandable d'utiliser des sols propres pour la base des remblais et pour la PST.

En général, les matériaux provenant des excavations des déblais pourront être utilisés dans la construction des remblais (corps), tant qu'ils soient appliqués de façon appropriée avec quelques restrictions constructives d'après les normes en vigueur, comme le GTR.

La réutilisation des matériaux des déblais et des zones d'emprunt devra être menée avec soin, en conformité avec les recommandations du GTR, en particulier en ce qui concerne l'état hydrique des sols.

Le taux de compactage et le module de déformation minimale sont :

$$\gamma_d \geq 95\% \text{ de l'OPM, } EV2 \geq 45 \text{ MN/m}^2 \text{ pour les sols fins et } EV2 \geq 60 \text{ MN/m}^2 \text{ pour les sols sableux et graveleux.}$$

Dans les zones inondables susceptible d'être immergés temporairement et doivent être constitué de matériaux granulaires, peu sensible à l'eau conformément à la fiche N°7 de la norme ST590 (Voir annexe) avec $VBS \leq 0.1$, les passants à $80\mu \leq 5\%$.

Pour la couche de forme il est recommandable de sélectionner des sols de meilleure qualité, conformes à la fiche n° 4 de la norme ST590 (voir annexe), notamment des sols des classes B3, CiBi, D2, D3, R21 et R41 de la classification GTR et par sols avec des matériaux passant à $80 \mu \leq 12\%$.

Les matériaux à utiliser devrait être composé par sols des classes CiB3, D3, R21, R22, R41, R42, R61, et R62, et R42 de la classification GTR, et conformes à la fiche N°7 du document intitulé : Spécification Technique (ST 590 Indice B).

X.1.1.2. Protection de surface des remblais

➤ Décapage de la terre végétale :

Après le décapage de la couche de terre végétale sur une épaisseur moyenne de 30 à 50 cm, le volume de terre végétale que l'on prévoit de réutiliser devra être mis à dépôt provisoire, pour l'ultérieur revêtement des talus de remblais. Le volume de matériel qui n'est pas nécessaire devra être mis en dépôt définitif.

➤ Végétalisation :

Les talus des remblais, devront être protégés/revêtus d'une manière systématique pour prévenir l'érosion induite par l'écoulement des eaux superficielles sur leur surface. Le revêtement recommandé, à l'épaisseur moyenne de 0,20 m.

Pour une adéquate protection des talus avec terre végétale, il faudra faire quelques travaux préparatoires du terrain dont on souligne les suivants :

- ✓ Avant l'éparpillement de la terre végétale, la surface des talus devra présenter un degré de rugosité appréciable et absence de sillons verticales qui facilitent l'érosion ;

- ✓ Cet objectif sera obtenu avec une mobilisation superficielle du sol jusqu'à environ 0,10 ou 0,15 m, à travers d'une scarification ;
- ✓ Sillons d'érosion plus profonds devront être préalablement remplis avec matériaux granulaires, de manière à assurer leur consolidation et ultérieure fixation de la terre végétale ;
- ✓ L'éparpillement pourra être manuel ou mécanique, mais après cette application on devra procéder à une régularisation et léger compactage.

X.1.2. SECTION EN DEBLAI

Les déblais seront profilés comme suite :

- 1H/3V pour une hauteur $H > 6\text{m}$ pour les déblais en terrains rocheux et semi rocheux avec une 3m berme chaque 6m de hauteur.
- 1H/1V pour une hauteur $H > 6\text{m}$ pour les déblais en terrains meuble avec une 3m berme chaque 6m de hauteur.

Les principales zones des déblais le long du tracé sont récapitulées dans le tableau ci-dessous, avec leurs caractéristiques géométriques dont la hauteur est variable :

Début	Fin	Hmax (m)	Pk Hmax	Longueur (m)	Pente
41+075	41+725	30.52	41+525	650	1H /1V

Tableau X.2 : Les principales zones des déblais [3]

X.1.2.1. Protection Des Talus

Les talus des ouvrages en terre, ou des terrassements nécessitent une protection afin de ;

- Eviter l'altération des matériaux superficiels des talus en évitant toute modification des caractéristiques intrinsèques ;
- Protéger les matériaux en place des évolutions liées aux agents météorologiques (eau, gel, soleil).

X.1.2.2. Végétalisation

La végétalisation consiste en la mise en place par épandage d'une couverture de terre végétale sur les ouvrages en terre, puis à son ensemencement et à son éventuelle plantation. Les objectifs de cette opération sont :

- D'éviter le lessivage des fines, le ravinement et la détérioration des talus par leur exposition prolongée aux intempéries,
- D'apporter une aide à la stabilisation superficielle des talus de déblais et de remblais,
- D'améliorer l'environnement en intégrant les ouvrages en terre dans le contexte végétal

X.1.2.3. Conditions D'excavabilité / Rippabilité

Selon la nature géologique et les caractéristiques mécaniques des matériaux de déblais, ils seront classés comme suit selon leur mode d'excavation :

- ✓ Terrain meuble : ils comprennent tous les terrains extractibles avec une pelle mécanique, niveleuse.
- ✓ Terrain semi dur (rippable) : on considère les terrains semi durs quand les matériaux ne peuvent pas être enlevés par les engins de terrassement utilisés pour les terrains meubles. Matériaux nécessitant l'emploi d'un ripper
- ✓ Terrain rocheux dur (non ripable) : sont considéré comme terrains rocheux dur tous les matériaux qui nécessitent pour leur extraction l'utilisation d'explosifs et/ou de brise roche.

Compte tenu des résultats disponibles, tous les terrains sont classés comme étant des terrains meubles et peuvent être excavés par des engins de terrassements légers (pelle mécanique, niveleuse).

X.1.3. ETUDE DE LA STABILITE :

La stabilité des ouvrages en terre est essentielle pour assurer leur sécurité à court et à long terme. Elle est évaluée à l'aide de calculs basés sur les caractéristiques du sol, tels que la résistance, le poids spécifique γ , la cohésion C' et l'angle de frottement interne ϕ' . Les méthodes de calcul appropriées prennent en compte la pente du terrain, la charge appliquée et les conditions environnementales.

L'objectif est de minimiser les risques de glissement ou d'affaissement en démontrant la capacité de l'ouvrage à résister aux forces exercées sur lui.

Pour les calculs des stabilités, les facteurs de sécurité globaux, à prendre en considération

- $F_s \geq 1.3$ à court terme.
- $F_s \geq 1.5$ à long terme.
- $F_s \geq 1.1$ situation accidentelle (séisme).

X.1.3.1. Vérification de la stabilité des déblais et remblais (Logiciel GEO5) :

La vérification consiste à calculer le facteur de sécurité global pour les différentes positions des centres de cercles de rupture, en comparant la valeur obtenue avec le minimum normalisé : Facteur de sécurité globale : $F_s = T_r / T_s$ dans laquelle :

T_r : représente la résistance au cisaillement le long du cercle de rupture, T_s est la force totale de cisaillement agissante le long du cercle critique.

Le calcul de la stabilité se fait dans le cas statique car la wilaya de Ghardaïa est située dans la Zone sismique 0.

❖ Zone déblai :

Pente proposée : 1H/1V avec une risberme de 3m. Sismicité Zone : Zone 0 (sismicité négligeable).

PK début-PK fin	Hmax	Nature du terrain	$\gamma_h(\text{KN/m}^3)$	$\gamma_{\text{sat}}(\text{KN/m}^3)$	$C'(\text{kPa})$	ϕ°
41+075-41+725	30m	Calcaire	20	22	100	35

Tableau X.3 : Caractéristique mécanique des déblais [9]

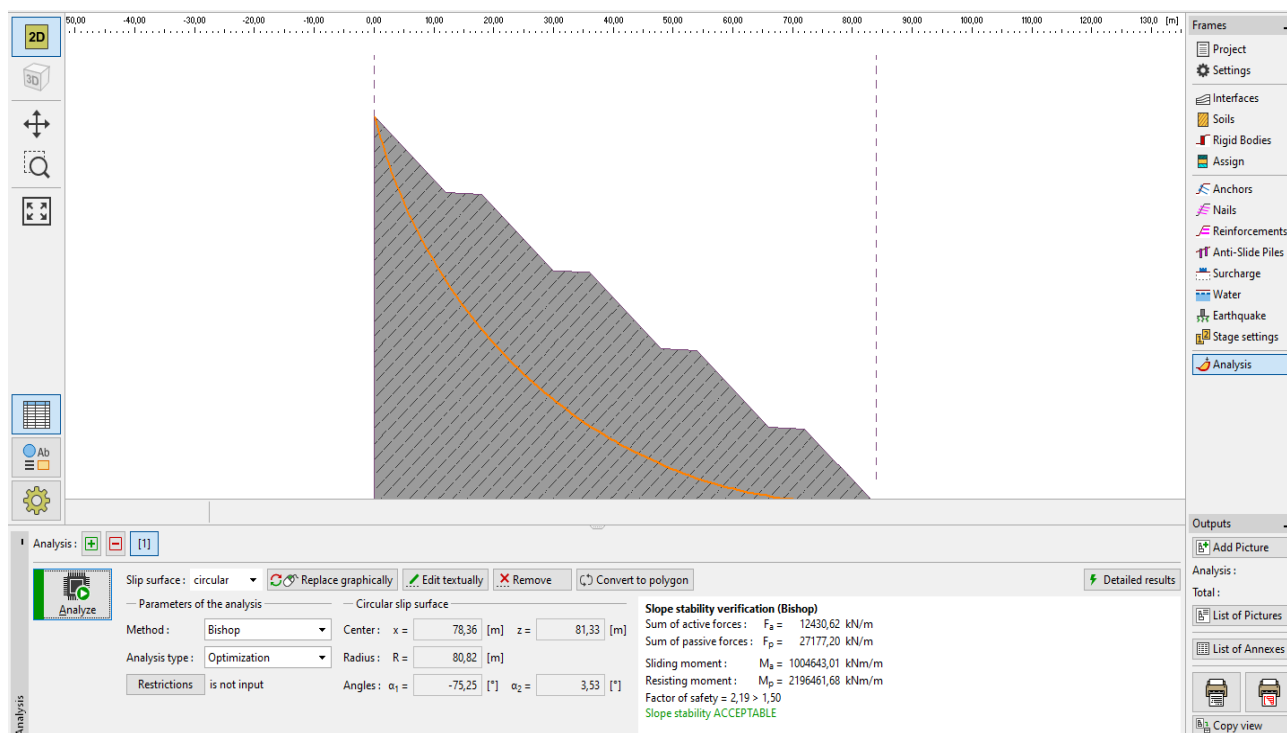


Figure X.1 : Calcul de la stabilité statique du déblais PK 41+075 ($F_s=2,19$ vérifié) [3]

❖ Zone remblai :

Pente proposée : 3H/1V avec une risberme de 3m. Sismicité Zone : Zone 0 (sismicité négligeable).

PK début-PK fin	Hmax	Nature du terrain	$Y_h(\text{KN/m}^3)$	$Y_{\text{sat}}(\text{KN/m}^3)$	$C'(\text{kPa})$	φ°
41+900-43+150	13m	Calcaire	19	21	100	35

Tableau X.4 : Caractéristique mécanique des remblais [9]

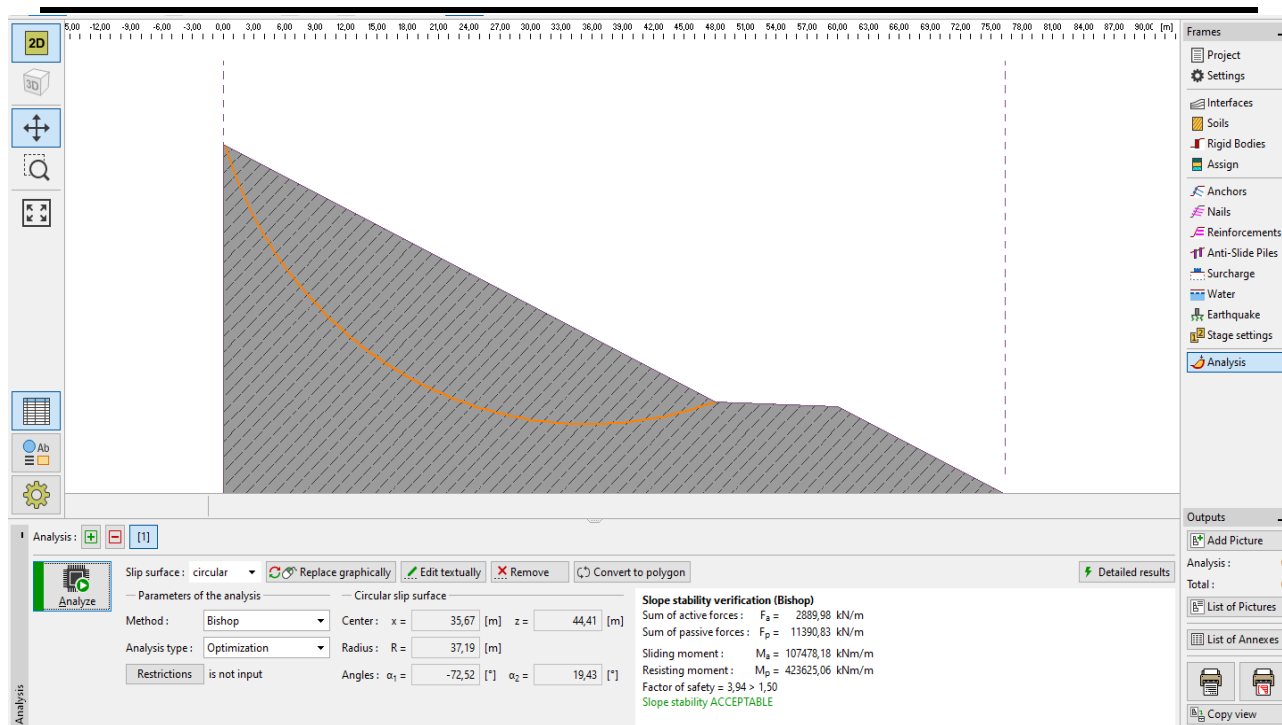


Figure X.2 : Calcul de la stabilité statique du remblais PK 41+900 ($F_s=3,94$ vérifié) [3]

En conclusion, les vérifications de stabilité réalisées à l'aide du logiciel GEO5, selon la méthode de Bishop et en conditions statiques (Zone sismique 0), montrent que les talus de déblai et de remblai présentent des niveaux de sécurité satisfaisants. Les facteurs de sécurité obtenus, respectivement $F_s = 2,19$ pour le déblai de 30 m de hauteur et $F_s = 3,94$ pour le remblai de 13 m de hauteur, sont largement supérieurs au seuil minimal requis, confirmant ainsi la stabilité des talus et l'adéquation des pentes retenues.

X.2. LES OUVRAGES

Afin de concevoir un tracé optimal qui satisfait aux exigences techniques et économiques, tout en garantissant la traversée transversale de la future ligne ferroviaire et des diverses infrastructures existantes, y compris les cours d'eau, il est nécessaire d'incorporer les éléments suivants dans cette nouvelle ligne :

- Ponts Rail.
- Ponts routiers.
- Passages inférieures (Ponts cadre).
- Les ouvrages hydrauliques (buses, Dalots).
- Les structures de protections.

Il est essentiel que ces ouvrages soient dimensionnés conformément aux critères de sécurité et de confort des voyageurs imposés par les normes de (UIC) ainsi que par les normes européennes en vigueur.

X.2.1. INFLUENCE SUR LE CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE :

Le choix du type d'ouvrage est influencé par diverses contraintes imposées, qui peuvent être regroupées en deux catégories :

- **Contraintes liées aux données naturelles :** Ces contraintes concernent des éléments tels que l'écoulement des eaux, la nature du sol, etc. Elles peuvent avoir une incidence sur le choix du type d'ouvrage afin de garantir la stabilité, la durabilité et la résistance de la structure face aux conditions naturelles spécifiques du site.
- **Contraintes techniques :** Elles incluent des aspects tels que la portée, le programme de charge, le gabarit, etc. Ces exigences techniques doivent être prises en compte pour assurer la fonctionnalité et la sécurité de l'ouvrage.

Cependant, certaines **contraintes dimensionnelles et fonctionnelles** sont particulièrement importantes lors du choix du type d'ouvrage. Il est essentiel de prendre en compte l'obstacle à franchir, le respect du gabarit, le tirant d'eau, l'adaptation architecturale à la région, ainsi que la protection des structures existantes.

En tenant compte de ces contraintes, le choix du type d'ouvrage sera orienté de manière à garantir la fonctionnalité, la sécurité et l'intégration harmonieuse de la nouvelle infrastructure dans son environnement.

X.2.2. LES OUVRAGES D'ART DU PROJET :

X.2.2.1. RÉTABLISSEMENT ROUTIER :

Étant donné que la future ligne ferroviaire GHARDAIA – MENEÀ sera conçue pour une vitesse de 220 km/h, supérieure à 100 km/h, il est nécessaire d'éliminer les passages à niveau. Ainsi, pour assurer la continuité des pistes qui devront être supprimées et des routes qui seront intersectées par la ligne, il sera nécessaire d'opter pour des passages supérieurs ou inférieurs, dans la mesure où la topographie le permet. Ces ouvrages permettront de franchir les voies ferrées en toute sécurité et de garantir la continuité des infrastructures routières.

Obstacle à franchir	PK de l'ouvrage	Ouvrage Projeté
Piste	44+925	Passage inférieure
Piste	45+750	Passage supérieure

Tableau X.5 : Liste des ouvrages d'art [2]

X.2.2.2. LES OUVRAGES HYDRAULIQUES

Pour les écoulements d'eau à débit important, des ponts ferroviaires ont été prévus pour assurer une traversée sécurisée et efficace des cours d'eau.

Obstacle à franchir	Ouvrage Projeté	Longueur	PK début/fin
Oued	Ouvrage ferroviaire	130 ml	40+495/40+628
Oued	Ouvrage ferroviaire	938 ml	47+183/48+125

Tableau X.6 : Liste des ouvrages ferroviaires. [2]

PROFILE EN TRAVERS TYPE (ouvrage ferroviaire) : (VOIR PLANCHE 3).

X.3. CONCLUSION :

À l'issue de ce chapitre, nous retenons l'importance réservée aux opérations de terrassements et à la réalisation des ouvrages d'art car ils sont des éléments essentiels pour la réalisation réussie d'un projet ferroviaire. Ils nécessitent une approche rigoureuse dans les moindres détails et une collaboration étroite entre les différents acteurs.

En effet, le respect strict de ces phases clés ne peut qu'assurer un réseau ferroviaire sûr, fiable et efficace. En investissant dans la qualité des terrassements et des ouvrages d'art, nous contribuons à la création d'une infrastructure ferroviaire durable qui répond aux besoins de mobilité et de connectivité de notre société moderne.



CHAPITRE XI

CHAPITRE XI : CONCEPTION ET AMÉNAGEMENT DE LA GARE MANSOURA



CHAPITRE XI : CONCEPTION ET AMÉNAGEMENT DE LA GARE MANSOURA

XI.1. INTRODUCTION

La gare ferroviaire constitue un point stratégique d'échange et de développement au sein du réseau ferroviaire. Elle assure l'arrêt des trains et regroupe différentes installations destinées à la montée et à la descente des voyageurs, ainsi qu'au chargement et au déchargement des marchandises. Certaines de ces installations participent également à la sécurité et à la gestion de la circulation ferroviaire.

Dans ce chapitre, l'accent sera mis sur les principaux critères de conception de la gare Mansoura (gare voyageurs), notamment l'intégration urbaine, l'accessibilité, la fonctionnalité, ainsi que les considérations liées à l'innovation et au développement durable.

XI.2. TYPES DES GARES :

On distingue plusieurs types des gares :

- ❖ **Gare de voyageur** : Les gares de voyageurs sont généralement implantées dans les grandes villes, et dans les lieux de grandes populations, ces gares sont chargées de toutes installations pour recevoir les voyageurs.
- ❖ **Gare marchandise** : Les gares de marchandise sont implantées dans les lieux industriels, agricoles et commerciaux importants, à proximité des grandes villes, des ports, des mines, des raffineries de pétrole et des grands laboratoires. Les gares marchandise sont chargées de toutes les installations pour le chargement, le déchargement et le stockage des marchandises. Émis et reçus par eux.
- ❖ **Gare mixte** : Ces gares seront implantées dans la ville industrielle, agricole et commerciale, et elles seront chargées de plusieurs installations pour recevoir les passagers et pour charger, décharger et stocker les marchandises délivrées par la gare.
- ❖ **Gare de croisement** : C'est l'une des plus petites gares, Ces gares sont implantées généralement sur les chemins de fer à voie unique, et elles sont chargées d'effectuer le travail de réception des trains des deux côtés de la gare en toute sécurité après l'arrêt de l'un des deux (ou sans arrêt).

XI.3. ETUDE DU PLAN DE MASSE DE LA GARE :

Le chargé de la conception de la gare a pour mission d'établir un plan de masse qui prend en compte les fonctions de toutes les installations fondamentales qui la compose en tenant compte de trois éléments clés lors de l'étude.

- ❖ **Catégories de la voie** : jouent un rôle déterminant dans la définition des fonctions spécifiques de chaque voie de la gare et les éléments qui y sont associés.
- ❖ **Le trafic** : revêt une importance primordiale dans l'évaluation de l'importance de la gare et ainsi que dans sa conception de manière appropriée ou le dimensionnement adéquat des installations et des espaces nécessaires pour répondre à la demande prévue.

- ❖ **L'emplacement de la gare** : influe directement sur le type de trafic attendu ainsi que les catégories de voies nécessaires. Par conséquent, l'emplacement doit être soigneusement étudié et pris en compte lors de la conception du plan de masse.

Ainsi, la prise en compte attentive de ces trois éléments est essentielle pour établir un plan de masse précis et adapté à la fonctionnalité et à la pertinence de la gare.

XI.4. CONDITIONS DE CONCEPTION DES GARE :

Les conditions de conception des gares sont définies par plusieurs aspects importants :

- L'étude du bâtiment voyageurs (B.V) doit être réalisée en coordination avec le plan d'urbanisme existant. Cela garantit une intégration harmonieuse de la gare dans son environnement urbain.
- Le plan de la gare doit être élaboré de manière à optimiser la prise en charge des besoins de transport des voyageurs et des marchandises. Cela implique la prise en compte des conditions géologiques alentours, de l'accessibilité aux routes existantes et des futurs plans d'urbanisme.
- Le terrain choisi pour la construction de la gare doit non seulement offrir un espace suffisant pour les installations, mais également tenir compte de la possibilité d'extensions futures de la ville. Cela garantit la pérennité et l'adaptabilité de la gare aux évolutions urbaines à long terme.

La prise en compte de ces conditions lors de la conception d'une gare peut répondre de manière optimale aux exigences du transport ferroviaire et s'intégrer de manière harmonieuse dans son environnement, en prenant en compte les aspects géographiques, les besoins de mobilité et les perspectives de développement urbain.

XI.5. AMENAGEMENT D'UNE GARE

XI.5.1. Installations d'une gare voyageurs :

Les installations présentes dans une gare ferroviaire comprennent plusieurs constructions et structures qui varient en fonction du type, de la conception et de la catégorie de la gare.

- ❖ **Le bâtiment de voyageurs** : c'est un espace dédié aux passagers, offrant des installations telles qu'une salle d'attente, un guichet de billetterie, un poste de sécurité et un kiosque, entre autres.
- ❖ **Les bâtiments à usages divers (B.U.D)** : c'est un espace de service réservé au personnel ferroviaire, destinés à diverses fonctions.
- ❖ **Quais** : c'est une bande parallèle à la voie ferrée, permettant aux voyageurs d'accéder aux trains en toute sécurité.
- ❖ **Abris de quais** : c'est une installation sur les quais afin de protéger les voyageurs des intempéries.

CHAPITRE : CONCEPTION ET AMÉNAGEMENT DE LA GARE

- ❖ **Les passages sous terrain et les passerelles** : c'est construction permettant aux passagers de traverser les voies et de changer de quai en toute sécurité.

Ainsi, ces différentes installations contribuent à la fonctionnalité et à la sécurité des voyageurs au sein de la gare ferroviaire.

XI.5.2. Halle à marchandise :

C'est l'élément le plus important dans une gare à marchandise, ce dernier est un bâtiment conçu spécialement pour le stockage (charge et décharge) des wagons portants de la marchandise.

XI.6. CARACTÉRISTIQUES DES INSTALLATIONS DE LA GARE MANSOURA :

XI.6.1. L'EMPLACEMENT DE LA GARE :

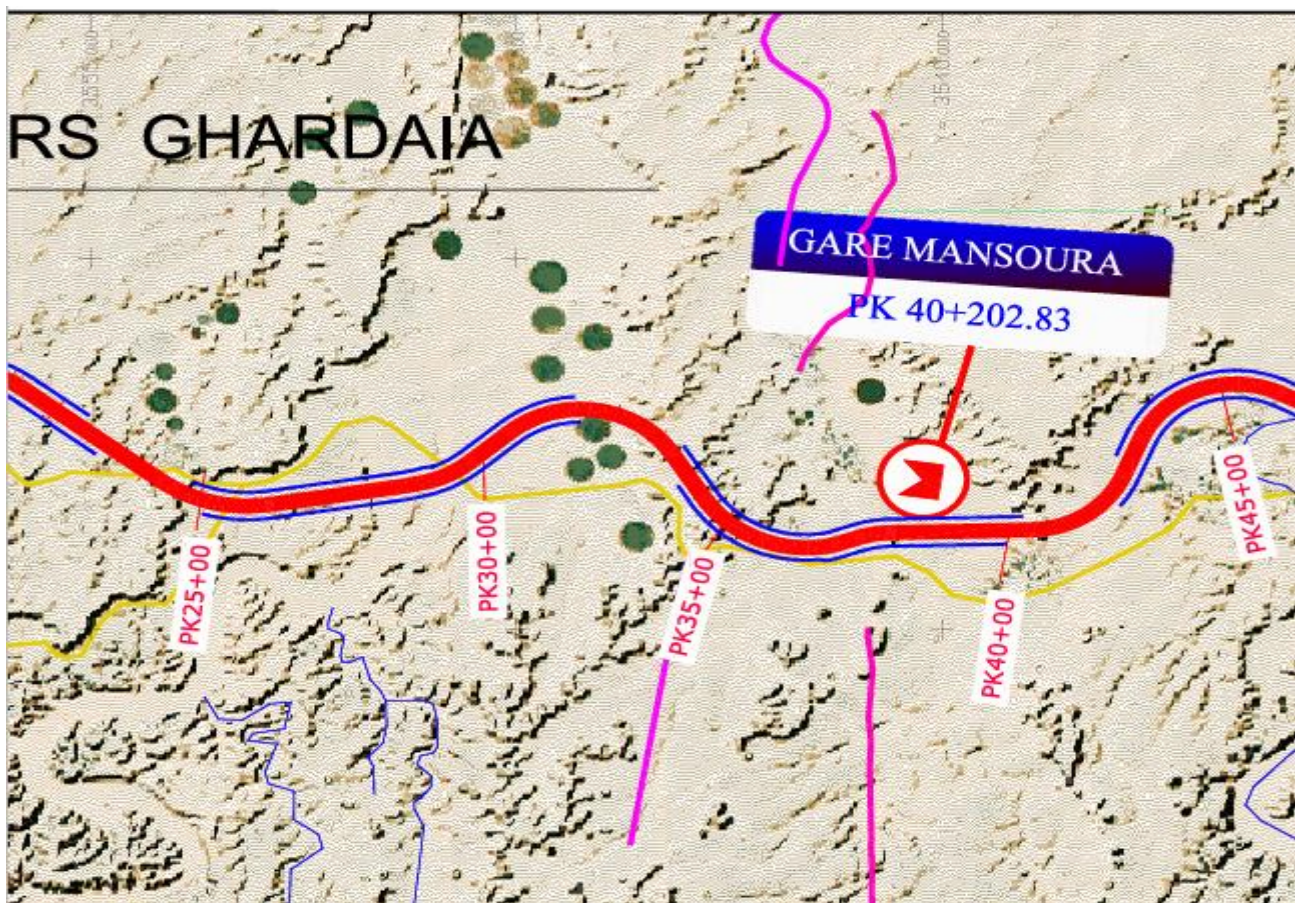


Figure XI.1 : l'emplacement de la gare du Mansoura [2]

XI.6.2. NOMBRE DE VOIES :

Le nombre de voies requises pour la Gare de Mansoura est de 4 voies, 2 voie principale et 2 voies d'évitement destinées au stationnement des trains.

XI.6.3. CARACTÉRISTIQUES DES DISPOSITIFS DE LIAISON :

XI.6.3.1. LES APPAREILS DE VOIE

Les appareils de voie jouent un rôle crucial dans la gestion des itinéraires ferroviaires, offrant la flexibilité nécessaire pour acheminer les trains sur les voies appropriées et faciliter les

CHAPITRE : CONCEPTION ET AMÉNAGEMENT DE LA GARE

opérations de changement de direction. Un appareil de voie se compose généralement de trois parties : l'aiguillage, la partie intermédiaire et la partie cœur (croisement).

- Les appareils de voie comprennent différents types, tels que :
 - ✓ Les branchements simples.
 - ✓ Les traversées.
 - ✓ Les traversées jonctions simple (T.J.S) et jonctions double (T.J.D).
- Les appareils de voie se distinguent par :
 - ✓ Leur type : aiguillage simple, branchement double, (T.J.S), (T.J.D).
 - ✓ Le type de rail.
 - ✓ Le type de lame.
 - ✓ Le rayon.
 - ✓ Le type de traverses.
 - ✓ La tangente.
 - ✓ Le type de cœur de croisement

Pour la présente conception, il y aura :

- ✓ 4 (quatre) ADV **UIC 60 500 1/12** dont 2 (deux) déviations à gauche et 2 (deux) déviations à droite (ADV1-ADV7-ADV8-ADV10).
- ✓ 4 (quatre) ADV **UIC 60 190 1/9** dont 2 (deux) déviations à gauche et 2 (deux) déviations à droite (ADV3-ADV5-ADV6-ADV12).

XI.6.3.2. GARAGE FRANC :

Le garage franc (GF) marque la limite de la partie de la voie à occuper par les véhicules garés. La valeur théorique du garage franc est de 3.57 m entre l'entraxe de la voie directe et la voie déviée (voie de stationnement). En raison de sécurité, le garage franc sera installé à 1.0 m de distance di garage franc théorique :

$$GF = 3.57 * \tan(\alpha) + 1.0$$

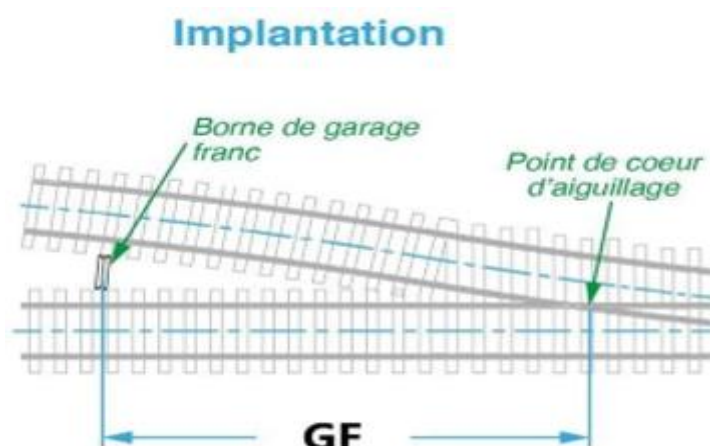


Figure XI.2 : Implantation de garage franc [13]

Cette marque est constituée par une plaque rectangulaire en béton, peinte en blanc, Elle matérialise le point limite où un train peut s'arrêter sans engager le gabarit de la voie convergente.



Figure XI.3 : Marque de garage franc [13]

Pour notre projet, on prend les longueurs :

- Pour UIC 60 500 1/12 → $GF = 3,57 \times 12 + 1 = 43,84m$
- Pour UIC 60 190 1/9 □ $GF = 3,57 \times 9 + 1 = 33,13m$

XI.6.3.3. LA LONGUEUR UTILE D'UNE VOIE DE STATIONNEMENT :

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

V1(principale)	V2	V3	V4	VH1	VH2
1200m	1200m	730m	685m	30m	30m

Tableau XI.1 : les longueurs utiles des vois [13]

XI.6.4. MARGE DE GLISSEMENT À L'AVAL DES SIGNAUX :

La marge de glissement est la section de voie située dans le prolongement d'un parcours du train à l'aval d'un signal fermé, sur laquelle aucune autre circulation de train n'est autorisée. Elle a pour but de minimiser les conséquences d'un accident et même, en cas d'interdiction d'occupation d'éviter une collision lorsqu'un train n'a pas pu être arrêté avant cette marge.

Les longueurs de la marge de glissement sont définies selon la norme UIC 739 comme suit : $50 \leq LG \leq 200$, selon la vitesse de la ligne, on l'utilise comme marge à l'aval des signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie.

- LG = 200m pour $V \geq 60$ km/h.
- LG = 100m pour $40\text{km/h} \leq V \leq 60$ km/h.
- LG = 50 m pour $V < 40$ km/h

XI.6.5. HEURTOIR :

C'est un dispositif placé à l'extrémité d'une voie ferrée en cul-de-sac, pour arrêter d'éventuels véhicules en dérive et les empêcher de continuer leur chemin en dehors de la voie. Il doit être précédé à 10m par des patins de freinage. Ils matérialisent la fin d'une voie de garage ou de sécurité, il existe deux types : heurtoirs fixes, patinant petit et grand model.

XI.6.6. LES QUAIS :

La Gare de Mansoura a 2 quais à l'intérieur des voies. Il faut considérer en plus le quai additionnel qui donne accès aux voyageurs depuis le Bâtiment Voyageur. Les quais sont Communiquées par des passages inférieurs au bâtiment voyageurs.

- **Longueur des quais :**
 - ❖ L = 300 m ce qui correspond à 4 fois un wagon de 75 m.
- **Largeur des quais :**
 - ❖ Pour le quai A extérieur L = 6 m
 - ❖ Pour le quai B intermédiaire L = 8 m

- **Hauteur des quais :**

La hauteur nominale des bordures des quais au-dessus du plan de roulement est fixée à 0.55m
La hauteur du quai dépend du type du matériel roulant qui est susceptible de s'arrêter dans ce quai.

- ❖ Plus grand que 760 mm → quais dits hauts.
- ❖ Plus petit que 550 mm → quais dits bas.

- **La distance à l'axe de la voie :**

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 :

$$L (mm) = 1650 + S.$$

La valeur de S est donnée par la formule : $S(mm) = \frac{3750}{R} - \frac{I-1435}{2}$

- ❖ R : le rayon de la voie (m) = 0 (Alignement droit)
 - ❖ I : l'écartement de la voie (mm) = 1435 mm
- $$\Rightarrow S = 0, \text{ Donc } L = 1650 \text{ mm}$$

- **L'entre axe des quais :**

- ❖ e normal > 11.3 m.
- ❖ e minimal > 9.3 m.

CHAPITRE : CONCEPTION ET AMÉNAGEMENT DE LA GARE

Quais	Pk début	Pk fin	Longueur	Largeur	Hauteur	Distance à l'axe	Entre-axe des quais	Entre-axe des voies
A	39+562	39+862	300 m	6 m	55 cm	1650 mm	14.50 m	4.20 m
B				8 m				

Tableau XI.2 : Les caractéristiques des quais [2/5]

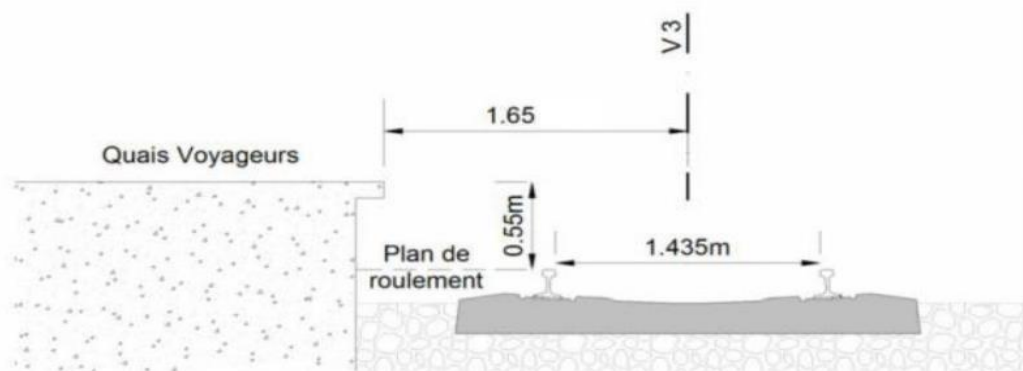


Figure XI.4 : Gabarits – Quais Voyageurs [5]

XI.6.7. PASSAGE SOUTERRAIN :

L'exécution du passage souterrain de la gare de Mansoura par :

- ❖ Deux voiles et radier et la dalle.
- ❖ Hauteur totale : 5.61 m.
- ❖ Largeur : 4 m.
- ❖ Longueur : 17.96 m.

XI.7. ASSAINISSEMENT TRANSVERSALE :

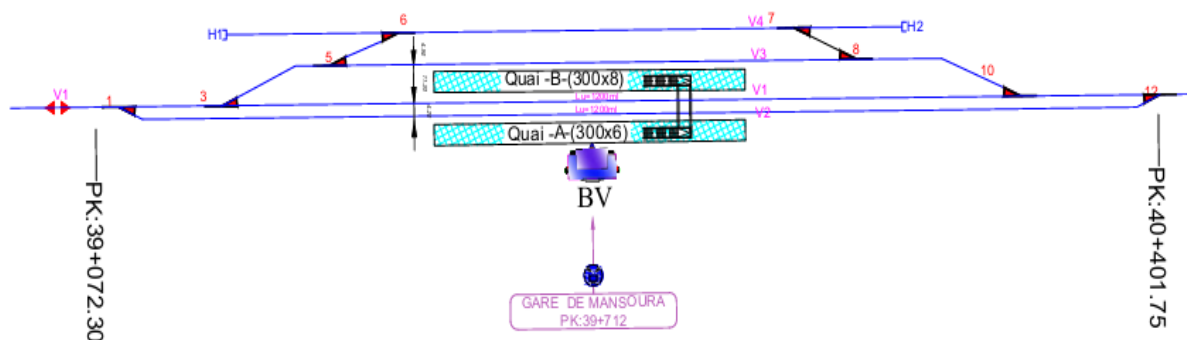


Figure XI.5 : Schéma de la gare [2]

Pour assurer un bon drainage des eaux pluviales dans la gare, les quais doivent avoir une pente de 2% en toit, avec inclinaison transversale des plates-formes de 4%.

XI.8. ASSAINISSEMENT LONGITUDINAL :

Les drains disposés longitudinalement avec des pentes de 4‰ permettent de recueillir les eaux de ruissellement qui s'infiltreront dans le ballast et la plate-forme et les évacuer vers le réseau d'assainissement via les regards de visite.

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

XI.9. PROFILE EN TRAVERS TYPE ET LE SCHÉMA DE LA GARE : (VOIR PLANCHE 2).



CHAPITRE XII
CHAPITRE XII : SIGNALISATION
FERROVIAIRE



CHAPITRE XII : SIGNALISATION FERROVIAIRE

XII.1. INTRODUCTION

La signalisation ferroviaire englobe l'ensemble des dispositifs conventionnels et des équipements techniques installés sur le réseau ferré afin de garantir la sécurité de l'exploitation ferroviaire et de réduire les risques ainsi que leurs conséquences. Elle est commandée et supervisée à partir de différents postes d'aiguillage répartis sur l'ensemble du réseau ferroviaire. Ces systèmes permettent de contrôler les mouvements des trains, d'éviter les collisions et d'assurer la coordination harmonieuse des différentes lignes et itinéraires.

Dans ce chapitre, nous aborderons les principes fondamentaux de la signalisation ferroviaire, dont l'objectif principal est d'assurer la sécurité et la fluidité du trafic ferroviaire. Nous examinerons également les différents types de signaux employés ainsi que les systèmes de commande et de contrôle utilisés sur le réseau ferré.

XII.2. FONCTIONS DES SIGNAUX :

L'implantation des signaux ferroviaires se répartit en deux catégories principales. En règle générale, les signaux sont disposés à gauche de la voie concernée par la circulation des trains, sauf dans certains cas particuliers où des contraintes techniques ou d'exploitation imposent une autre disposition.

- **Panneaux** : comportant un ou plusieurs feux de couleur fixes ou clignotants, sont regroupés sur un écran noir bordé de blanc, à l'exception de certains tunnels.
- **Tableaux lumineux** : qui peuvent présenter une bande colorée, une inscription ou un signe conventionnel.

Les signaux ferroviaires sont principalement destinés à assurer les fonctions suivantes :

- **La signalisation d'arrêt** : indique aux conducteurs de train de s'arrêter complètement avant de poursuivre leur trajet.
- **La signalisation de limitation de vitesse** : Informe les conducteurs de train de la vitesse maximale autorisée sur une section donnée des voies.
- La signalisation de direction.

Chacune de ces fonctions comporte généralement une signalisation d'annonce ainsi qu'une signalisation d'exécution ou de rappel. Par usage, la signalisation d'arrêt, qu'elle soit d'annonce ou d'exécution, est étudiée séparément, tandis que les signalisations de limitation de vitesse et de direction sont généralement associées dans un même ensemble.

XII.3. OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION :

La signalisation ferroviaire occupe une place primordiale dans la transmission des informations et des consignes aux conducteurs de trains afin de garantir une circulation sûre et efficace. Les installations de signalisation sont spécialement conçues pour prévenir les différents risques liés à l'exploitation ferroviaire et pour répondre aux principaux problèmes de sécurité, comme l'illustre le tableau suivant :

RISQUE	DESCRIPTION	SOLUTION
Nez-à-nez 	Deux trains se retrouvant face à face sur la même voie.	La Prise en charge par les enclenchements de sens.
Rattrapage 	Un train suivant rattrapant celui qui le précède.	L'utilisation du système de cantonnement → maintien de distances de sécurité entre les trains.
Prise en écharpe 	Un train arrivant sur un aiguillage déjà occupé par un train venant d'une autre direction.	L'équipement des postes d'aiguillage d'enclenchements internes (enclenchements d'itinéraires et de transit).
Déraillement 	Une ou plusieurs roues d'un véhicule quittant le rail sur une voie ferrée.	- L'application de limitations de vitesse dans les courbes, les zones d'aiguillage et les zones de travaux. - La Mise en place des systèmes de surveillance.
Obstacles 	Les Risques associés aux passages à niveau.	La gestion par des dispositifs d'annonce des trains → alerte les conducteurs routiers de l'approche d'un train.

Tableau XII.1 : Les risques ferroviaires [16]

XII.4. DIFFERENTS TYPES DE SIGNAUX :

XII.4.1. Signalisation lumineuse :

En signalisation lumineuse, les signaux donnent, de jour comme de nuit, les mêmes indications. Il est fait usage :

- Soit de panneaux portant un ou plusieurs feux de couleur fixes ou clignotants.
- Soit de tableaux lumineux ou réflectorisés, pouvant présenter une bande colorée, une inscription ou un signe conventionnel.



Figure XII.1 : Signalisation lumineuse [16]

XII.4.2. Signalisation mécanique :

En signalisation mécanique, il est fait usage de signaux réalisés au moyen d'une aile ou d'une Cocarde de couleur, ou bien d'un tableau mécanique.



Figure XII.2 : Signalisation mécanique
[16]

XII.5. IMPLANTATION LONGITUDINALE :

L'implantation longitudinale des signaux ferroviaires est importante dans la prévention des arrêts devant un signal d'arrêt ou d'une limitation de vitesse dans une zone spécifique. Dans ce but, il est crucial d'avertir le mécanicien à une distance adéquate afin de permettre un freinage en toute sécurité dans des conditions normales. Cette fonction est remplie par les signaux d'annonce à distance.

À cet effet, deux distances clés sont prises en compte lors de l'implantation de ces signaux :

- ❖ La distance d'arrêt : Correspond à la distance, entre le signal d'arrêt et le point à protéger, requise pour arrêter le train en toute sécurité.
- ❖ La distance de ralentissement : Représente la distance nécessaire pour ralentir le train et respecter la limitation de vitesse dans la zone délimitée.

La distance d'implantation d'un signal à distance est fonction :

- Du profil moyen de la partie de voie intéressée (déclivité moyenne).
- De la vitesse maximale à laquelle est abordé le signal à distance.
- Des caractéristiques de freinage des circulations.

XII.6. ASPECTS DES SIGNAUX :

Les aspects prévus pour la ligne ghardaia-Ménéa et les indications nécessaires pour leur interprétation figurent dans le tableau suivant :

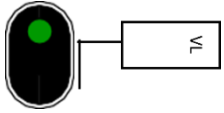
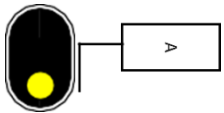
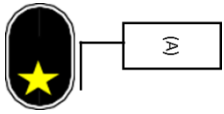
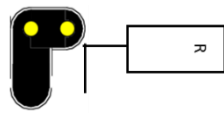
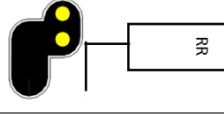
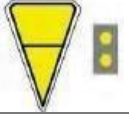
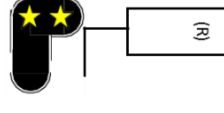
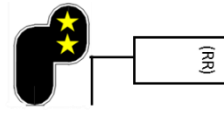
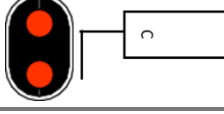
Signal	Indication	Signalisation lumineuse	Signalisation mécanique
Signal ouvert Voie libre	La voie libre indique au conducteur que la circulation en marche normale est autorisée, franchissement à la vitesse admise.		
L'avertissement Feux jaune	Il commande au mécanicien de pouvoir s'arrêter avant les signaux suivants : Carré, sémaphore, carré violet, un rouge clignotant.		
Le feu jaune Clignotant (A)	Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal annoncé à distance réduite par le signal suivant.		
Le ralentissement 30 Fermé	Limiter la vitesse à 30km/h pour franchir une aiguille		
Le rappel 30 fermé			
Le ralentissement 60 km/h	Limiter la vitesse à 60km/h pour franchir une aiguille		
Le rappel 60 km/h			
Carré	Arrêt avant le signal.		
Feu blanc	Il commande ou confirme au conducteur l'observation de la marche en manœuvre.		
Feu blanc clignotant	Il interdit dans tous les cas le départ en ligne d'un train.		
Feu violet Carré Violet	Commande l'arrêt, il est installé sur les voies de service, son ouverture seule.		

Tableau XII.2 : Aspect des signaux [16]

XII.7. LE PRINCIPE DE CANTONNEMENT : (SIGNALISATION CLASSIQUE)

Le terme "**canton**" désigne une section spécifique de voie ferrée, alimentée en énergie électrique, qui joue un rôle fondamental dans le système de régulation de l'espacement des trains, permettant ainsi d'éviter les collisions par l'arrière (risque de rattrapage et la prise en écharpe, voir Tableau N°XI.01).

Une voie ferrée est constituée de plusieurs cantons distincts, et chacun est protégé par un signal et isolé de manière indépendante par l'intermédiaire d'un joint isolant.

En principe, un seul train est autorisé à circuler dans un canton à la fois. Dans ce type de signalisation, aucune intervention humaine n'est nécessaire, car c'est le train lui-même qui assure sa propre protection. L'interaction entre les signaux des cantons consécutifs est représentée dans la figure ci-dessous :

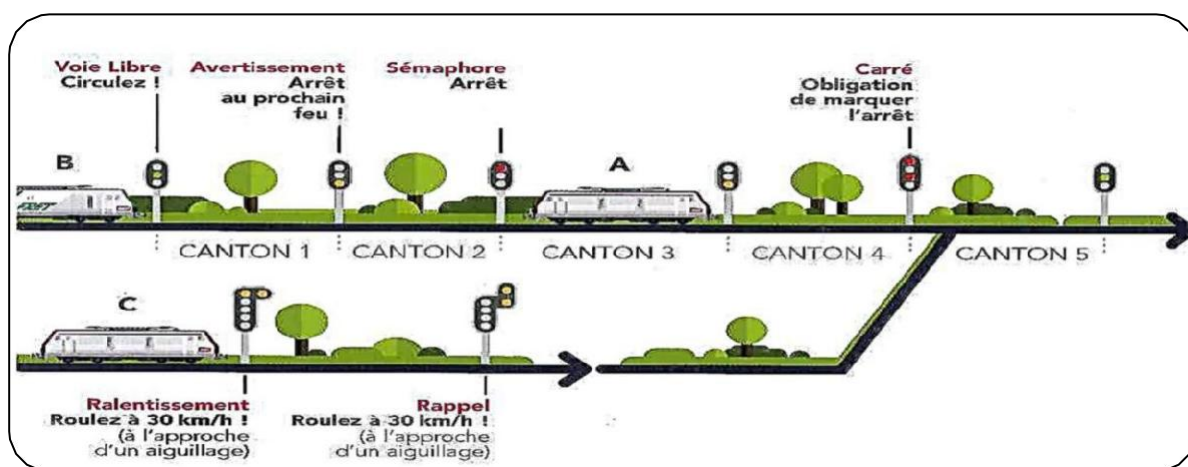


Figure XII.3 : Schéma illustratif du canton [16]

Les différents systèmes utilisés pour gérer les signaux sont appelés block, selon la catégorie de la ligne sont ci -dessous :

- ❖ **Le block manuel (B.M)** est utilisé sur des lignes à faible trafic, où l'exploitation est gérée manuellement. Il se caractérise par un nombre limité de signaux installés le long des voies et des installations de commande simples. Cependant, l'inconvénient majeur de ce block est sa capacité limitée à gérer un volume important de trains sur les lignes.
- ❖ **Le block automatique à permissivité restreinte (B.A.P.R)** est utilisé sur des lignes présentant un trafic moyen. Il s'agit d'un système automatique, mais avec des cantons relativement longs, s'étendant sur plusieurs kilomètres. Ce système offre l'avantage d'une sécurité accrue par rapport au B.M, car il réduit le risque d'erreur humaine. De plus, il reste économique car le nombre de signaux implantés reste limité. Cependant, en raison de son fonctionnement, il ne permet pas des débits élevés sur une ligne.

- ❖ **Le block automatique lumineux (B.A.L)** est utilisé principalement sur les lignes à fort trafic. Il se caractérise par l'utilisation de cantons courts, ce qui implique un nombre plus élevé de signaux, ce qui peut être plus coûteux. Cependant, il offre une grande souplesse dans la régulation des circulations ferroviaires. Grâce aux cantons courts, l'espacement entre les trains est réduit.

XII.8. LE PRINCIPE DU SYSTÈME ERTMS : (SIGNALISATION MODERNE)

Européen Railways Traffic Management System signifie en Français système européen de la gestion de la circulation ferroviaire, il est à trois niveaux. (Voir Figure N°XII.02)

Il s'agit d'un système de contrôle et de commande qui permet d'assurer un trafic ferroviaire standardisé et interopérable. Ce système vise à harmoniser et à faciliter les opérations de gestion du trafic ferroviaire, en garantissant une coordination efficace entre les différents acteurs et en favorisant l'interopérabilité des réseaux ferroviaires.

XII.8.1. LES FONCTIONS D'ERTMS :

ERTMS assure les fonctions suivantes :

- Contrôler l'aspect de la signalisation latérale par la balise standard qui communique avec un autre système à bord de train.

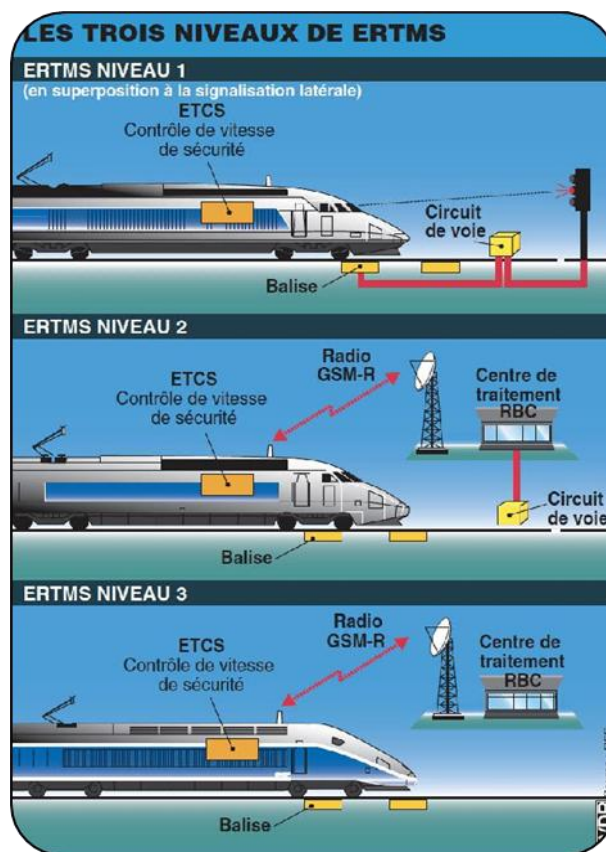


Figure XII.4 : le système de contrôle des trains ERTMS [16]

- Donner l'autorité de déplacement jusqu'au prochain système de signalisation latérale en basant sur le principe de blocage fixé.
- Transformer les informations de signalisation latérale à travers l'Unité de contrôle latéral (LEU) afin de transmettre par la balise jusqu'au train.
- Permet au train de transmettre via une antenne sa position et sa vitesse de façon continue à n'importe quel moment.
- Protection des trains : Communication discontinue voie-train via les balises.

XII.9. COMPTEUR D'ESSIEU :

Le compteur d'essieu, permet de détecter la présence d'une circulation dans un canton par comparaison entre le nombre d'essieux qui entrent dans le canton et le nombre d'essieux qui en sortent, par l'intermédiaire de "point de comptage" constitué par deux détecteurs installés à chaque extrémité de la section. Lorsqu'une circulation entre dans le canton, le point de comptage enregistre le nombre d'essieux qui entrent dans ce canton et incrémente un compteur "d'entrée". Les deux détecteurs électroniques sont décalés et permettent ainsi de connaître le sens de passage de la circulation.

Lorsque cette circulation quitte le canton, le point de comptage enregistre le nombre d'essieux qui sortent de ce canton et incrémente un compteur de "sortie". Ces informations sont envoyées à un point de traitement central qui vérifie en permanence la coïncidence ou pas de ces deux compteurs, il en résulte que :

- S'il y a coïncidence, l'indication "voie libre" peut être indiquée.
- S'il n'y a pas coïncidence, l'indication "voie occupé" est indiquée.



Figure XII.5 : Compteur d'essieux [16]

Remarque :

Dans la nouvelle ligne Ghardaïa-Ménée, le type de système de signalisation choisi par le maître d'ouvrage est ERTMS.



CHAPITRE XIII
ETUDE D'IMPACT SUR
L'ENVIRONNEMENT



CHAPITRE XIII : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XIII.1. INTRODUCTION

L'étude d'impact permet d'analyser les effets possibles du projet ferroviaire sur l'environnement naturel et humain. Elle constitue un outil essentiel d'aide à la décision en identifiant les risques ainsi que les mesures nécessaires pour réduire les impacts négatifs et assurer un développement durable. De plus, elle favorise la transparence et la participation des parties prenantes, afin de mieux prendre en considération les préoccupations des populations locales et de garantir l'acceptabilité sociale du projet.

Le projet de ligne ferroviaire Ghardaïa-Ménée aura des répercussions significatives, qu'elles soient positives ou négatives, sur les wilayas traversées et la région. Une gestion proactive et un engagement continu des parties prenantes sont cruciaux pour optimiser les bénéfices et atténuer les effets indésirables.

XIII.2. DÉLIMITATION DE LA ZONE D'ÉTUDE :

XIII.2.1. APERÇU GÉNÉRAL :

Elle est située au centre de la partie Nord du Sahara algérien. A environ 600 Km de la capitale Alger. Administrativement, le tracé projeté traverse le territoire de deux Wilayas, Ghardaïa et Ménée.

De par sa position géographique, la zone est limitée par six (6) Wilayas, dont les liens demeurent très étroits dans tous les domaines de l'activité économique et Sociale.

XIII.2.2. SITUATION DE LA ZONE D'ÉTUDE :

La zone d'étude est située au nord de la wilaya de Ghardaïa, dans la vallée du M'zab, au sud de l'Algérie. Elle se trouve à environ 35 km du chef-lieu de wilaya de Ghardaïa, à près de 110 km au sud de Laghouat, à environ 190 km à l'ouest de Ouargla et à plus de 600 km au sud de Alger.

XIII.3. DESCRIPTION DES IMPACTS PROJET :

Le projet de ligne ferroviaire Ghardaïa-Ménée aura des répercussions significatives, qu'elles soient positives ou négatives, sur les wilayas traversées et la région. Une gestion proactive et un engagement continu des parties prenantes sont cruciaux pour optimiser les bénéfices et atténuer les effets indésirables.

XIII.3.1. Description des impacts sociaux positifs du projet :

La construction et l'exploitation de la ligne ferroviaire reliant Ghardaïa à El Ménée sont bien plus qu'un simple projet d'infrastructure ; elles représentent un levier puissant de développement social et économique pour ces deux wilayas et, par extension, pour toute la région. Les retombées positives attendues sont multiples et se manifesteront à différentes étapes du projet.

XIII.3.1.1. Durant la Construction :

Dès le lancement des travaux, la phase de construction constituera un important levier de développement pour l'économie locale. Elle engendrera de nombreux emplois temporaires, directs et indirects, notamment dans le secteur du BTP, mobilisant ouvriers, techniciens et ingénieurs de différentes spécialités. Cette dynamique contribuera à réduire le chômage et à améliorer les revenus des ménages, tout en stimulant la consommation locale.

Par ailleurs, les besoins liés au chantier, tels que le transport, l'approvisionnement en matériaux et les services destinés aux équipes de travail, auront un impact positif sur plusieurs activités économiques locales. Les commerces, restaurants, hébergements et autres services bénéficieront d'une hausse de la demande, favorisant ainsi le développement de l'économie régionale et la création de nouvelles opportunités d'affaires.

XIII.3.1.2. Durant l'Exploitation :

Une fois la ligne opérationnelle, ses bienfaits sociaux seront encore plus profonds et durables.

- **Amélioration de la mobilité :** La ligne ferroviaire facilitera les déplacements des voyageurs et le transport des marchandises en offrant un moyen plus rapide, plus sûr et plus économique, tout en améliorant l'accès aux services publics et aux marchés.
- **Valorisation des productions locales :** La réduction des coûts et des délais de transport permettra aux producteurs locaux de mieux commercialiser leurs produits, renforçant ainsi leur compétitivité et leurs revenus.
- **Attraction des investissements et développement du tourisme :** L'amélioration des infrastructures encouragera les investissements et favorisera l'essor du tourisme saharien, créant de nouvelles opportunités économiques dans plusieurs secteurs.

En résumé, la ligne ferroviaire Ghardaïa-El Ménéa représente un investissement stratégique aux multiples retombées positives :

- **Facilitation du Transport :** Elle rendra les déplacements de voyageurs et le transport de marchandises plus efficaces, plus sûrs et plus économiques.
- **Désenclavement des régions isolées :** La ligne ouvrira de nouvelles perspectives de développement pour les zones éloignées et réduira l'isolement de certaines populations.
- **Amélioration de la qualité de vie :** En proposant une alternative au transport routier, elle contribuera à réduire la congestion, améliorer la sécurité routière et limiter les impacts environnementaux.
- **Valorisation foncière :** L'accessibilité accrue augmentera la valeur des terrains situés à proximité de la ligne et des gares, favorisant le développement urbain et économique.
- **Développement socioéconomique :** La création d'emplois et la dynamisation des activités économiques locales aideront à freiner l'exode rural et à améliorer les conditions de vie des habitants.
- **Mise en valeur du patrimoine :** La ligne contribuera à promouvoir le patrimoine culturel et naturel de la région, renforçant ainsi son attractivité et son développement touristique.

XIII.3.2. Description des impacts sociaux négatifs du projet

Le projet de la ligne ferroviaire Ghardaïa-Ménéa génère des impacts sociaux négatifs bien identifiés, répartis en deux phases principales : la construction, durant laquelle les nuisances sont temporaires, et l'exploitation susceptible d'occasionner des effets sur les populations environnantes.

XIII.3.2.1. Pendant la Phase de Construction :

Les impacts négatifs seront limités à la période d'exécution des travaux. Il s'agit surtout de l'installation et du repli du chantier et du personnel, des travaux d'excavation, de défrichement, de déblai-remblai, de nivellement, d'exploitation des carrières et des zones d'emprunts, du transport des matériaux de construction, et de l'entretien des véhicules.

D'autres impacts négatifs qui pourront se manifester concernent :

- **L'émanation de poussières, de bruit, de vibrations sonores** et des problèmes de **sécurité** pendant les travaux et la mise en place des équipements et des matériaux nécessaires.
- Le rejet de produits de purges/curages de travaux d'assainissement.
- Par ailleurs, la **pollution du sol et des cours d'eau** par le déversement des sédiments et des matières polluantes sera négligeable grâce à la mise en œuvre des mesures préconisées.

Parmi ces effets temporaires, on identifie notamment :

- Risque d'**atteinte aux cours d'eau** (pollution de l'eau lors des travaux de réalisation).
- Risque d'**atteinte à la faune et la flore**.
- Risque de provoquer une **barrière physique** due à la présence de la ligne ferroviaire.
- **Érosion et/ou tassement des sols** durant la phase de réalisation.
- **Émission de gaz à effet de serre** par les engins utilisés dans la réalisation du projet.
- Risques de **chute de roches** durant la phase de réalisation du tunnel et/ou déblai rocheux.

XIII.3.2.2. Pendant la Phase d'Exploitation :

- **Bruit permanent** dû au passage fréquent des trains, perturbant le sommeil et la tranquillité des riverains.
- **Effets sur la santé publique**, tels que l'augmentation du stress, de l'anxiété et des troubles cardiovasculaires liés à l'exposition continue au bruit ferroviaire.
- **Perte de revenus** pour les commerçants ou agriculteurs dont les activités sont affectées par la présence de la ligne ferroviaire.
- **Pollution sonore** affectant la qualité de vie des riverains et perturbant les écosystèmes locaux.
- **Émissions de gaz à effet de serre** liées au fonctionnement des trains, contribuant au changement climatique et affectant la santé publique.

Remarque : ces points négatifs sont minimisés lorsque la ligne doit être électrifiée.



CHAPITRE XIV
DEVIS ESTIMATIF ET
QUANTITATIF



CHAPITRE : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

CHAPITRE XIV : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

N° Article	Désignations	Unité	Quantité	Prix Unitaire	Montant HT
1	ÉTUDE D'EXÉCUTION ET INSTALLATION DE CHANTIER				
1.1	Amenée du matériel et installation générale de chantier	F	1	70.000.000	70.000.000
1.2	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1	18.000.000	18.000.000
1.3	Étude d'exécution et plan de recollement	F	1	40.000.000	40.000.000
TOTAL 1					128.000.000
2	TERRASSEMENTS GENERAUX				
2.1	Décapage des terres végétale sur un épaisseur de 0,30 m	M3	25.320	750	18.990.000
2.2	Déblais en terres rocheux	M3	588.923	2.500	1.472.307.500
2.3	Remblai provenant des zones de déblais en terrain rocheux	M3	300.000	2.500	750.000.000
2.4	Remblai provenant des zones d'emprunt	M3	2.115.291	1.300	2.749.878.300
2.5	Fourniture Mise en place du Géotextile	M2	10400	1.500.00	15.600.000
2.6	Matériau de zone inondable/humide	M3	13.000	4.200	54.600.000
TOTAL 2					5.061.375.800
3	ASSISE FERROVIAIRE				
3.1	Fourniture et mise en place du matériau pour Couche de forme	M3	35.736	2.200	78.619.200
3.2	Fourniture et mise en place du matériau pour Couche de fondation	M3	14.000	3.200	44.800.000
3.3	Fourniture et mise en place du matériau pour Couche de sous ballast	M3	17500	3.800.00	66.500.000
3.4	Fourniture et pose de Ballast	M3	28216.1	7 547.68	212.966.093.6
TOTAL 3					402.885.294
4	DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT				
4.1	Buses en béton arme diamètre (1500)	ML	804	50 000.00	40.200.000
4.2	Dalot en béton armé	M3	288	45.000	12.960.000
4.3	Fossé en béton arme.	ML	4100	5.900.00	24.190.000
4.4	Buses en béton arme diamètre (2000)	ML	240	74.000.00	17.760.000
TOTAL 4					95.110.000

CHAPITRE : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

5	TRAVAUX DE VOIE				
5.1	Fourniture des rails neufs UIC 60	T	512748	199.962.00	1.025.301.156
5.2	Pose de la voie à blanc	ML	31000	8.500	263.500.000
5.3	Fourniture des traverses bi-bloc en béton armé (VAX U31)	U	5900	10.000	59.000.000
5.4	Fourniture des traverses monobloc	U	23400	12.000.00	280.800.000
5.5	Fourniture des attaches	U	117200	1800	210.960.000
5.6	Semelle cannelée	U	58600	450	26.370.000
5.7	Soudure aluminothermique	U	173	20.800.00	3.598.400
5.8	Soudure électrique	U	1722	18.400.00	31.684.800
TOTAL 5		TOTAL 5			1.901.214.356
6	TRAVAUX DE LA GARE				
6.1	Fourniture des ADV UIC E1 60-500-1/12	U	4	26.000.000.00	104.000.000
6.2	Fourniture des ADV UIC E1 60-300-1/9	U	4	22000000	88.000.000
6.3	Traverse de garage franc	U	8	593.07	474.456
6.4	Bâtiment voyageurs	F	1	20.000.000	20.000.000
6.5	Fourniture et pose des quais avec ces installations	F	2	19.417.281.00	38.834.562
6.6	Passage souterrain	F	1	11 000 000.00	11.000.000
6.7	Réalisation des travaux d'aménagement extérieur de la gare	F	1	74 000 000.70	740.000.007
TOTAL 6					336.309.019
7	SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION				
7.1	Électrification 25 kV/50 Hz	F	1.00	120.000.000.00	120.000.000
TOTAL 7					120.000.000
8	OUVRAGE D'ART				
8.1	Pont rail	M2	1820	350.00	660.000.000
8.2	Viaduc	M2	12600	400.000	4.445.000.000
8.3	Passage Supérieur	F	1	222.437.000	222.437.000
8.4	Passage inferieur	F	1	624.855.000	624.855.000
TOTAL 8					595.2292.000
Montant total du projet (hors taxe)					13.997.186.468
Montant de TVA (19%)					2.659.465.429
Montant total du projet (TTC)					16.656.651.897



CONCLUSION

GENERALE



CONCLUSION GENERALE :

Les infrastructures de transport représentent aujourd'hui un facteur clé du développement d'un pays en termes de mobilité, de communication et d'échanges commerciaux. C'est dans ce contexte que les pouvoirs publics ont entrepris un ambitieux programme de modernisation des lignes existantes et de réalisation de nouvelles lignes ferroviaires.

Notre projet de fin d'étude porte sur une étude d'APD de la nouvelle ligne ferroviaire mixte (ghardaia-Ménéa) sur le tronçon du PK 39+00 au PK 49+00 avec la conception de la gare de Mansoura.

Ce projet de fin d'études nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine du transport ferroviaire et de mettre en pratique les acquis théoriques de notre formation à l'ENSTP. Il nous a également permis de mieux appréhender les contraintes et les défis techniques rencontrés par les ingénieurs dans le secteur ferroviaire.

Au cours de ce travail, nous avons également développé des compétences en analyse de données ainsi qu'en utilisation d'outils de modélisation et de simulation, notamment AutoCAD, Covadis, GEO5 et Global Mapper.

En conclusion, ce projet de fin d'études a constitué une expérience précieuse dans le domaine du transport ferroviaire. Il nous a permis de consolider nos acquis et de confirmer notre intérêt pour ce secteur. Nous sommes convaincus que les compétences et les connaissances développées seront utiles dans notre future carrière, et nous sommes motivés à contribuer au développement et à l'amélioration des systèmes de transport ferroviaire.

Bibliographie

- [1] : SNTF, (pour les figures et tableaux)
- [2] SETIRAIL, (pour les figures et tableaux)
- [3] Notre travail/photos (pour les figures et tableaux)
- [4] Groupe d'experts nationaux et internationaux, Règlement Parasismique algérien 2024, Alger, ministère des Travaux Publics.
- [5] Les normes UIC (741). Quais des gares à voyageurs-Règles pour l'implantation des bordures des quais par rapport à la voie.
- [6] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2ème Edition.
- [7] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 3ème Edition.
- [8] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 2005.
- [9] SETIRAIL, « Rapport de l'étude géologique et géotechnique ».
- [10] SETIRAIL, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».
- [11] SETRA, Guide technique : Assainissement routier, Octobre 2006.
- [12] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 7.2.2 : Ouvrages en terre pour plateformes ferroviaires.
- [13] SNTF, Fiche de normalisation : aménagement et gare, trace des voies, 3e édition, JUIN 1985.
- [14] IN-3278-Tome 2 – Ouvrage en terre.
- [15] ST N°590 B-Oct 95.
- [16] SNTF, chapitre 10, signalisation et télécommunication, version 2.
- [17] Nationale des Transports Ferroviaires, [<http://www.sntf.dz>], Société Algérie.
- [18] Mémoires de voie ferrée école nationale des travaux publics.
- [19] ANRH : Agence nationale des ressources hydrauliques.



ANNEXE



ANNEXE A : Listing Axe en plan

Axe En Plan					
Elts Caractéristiques			Points de Contacts		
Nom	Paramètres	Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement 198.42gr	2019.453	39+000.000	571956.467	3540805.805
Clothoïde 1	Paramètre 663.325	200.000	41+019.453	572006.740	3538786.978
Arc 1	Rayon 2200.000 m	2298.212	41+219.453	572014.746	3538587.157
	Centre X 574209.304 m				
	Centre Y 3538741.802 m				
Clothoïde 2	Paramètre -663.325	200.000	43+517.665	573240.901	3536766.405
Droite 2	Gisement 126.12gr	284.856	43+717.665	573423.050	3536683.857
Clothoïde 3	Paramètre -616.441	200.000	44+002.521	573684.258	3536570.220
Arc 2	Rayon -1900.000 m	2926.809	44+202.521	573866.204	3536487.240
	Centre X 573017.633 m				
	Centre Y 3534787.261 m				
Clothoïde 4	Paramètre 616.441	200.000	47+129.329	574742.595	3533990.703
Droite 3	Gisement 230.89gr	1040.230	47+329.329	574652.440	3533812.203
Clothoïde 5	Paramètre 616.441	200.000	48+369.559	574167.254	3532892.055
Arc 3	Rayon 1900.000 m	665.786	48+569.559	574077.099	3532713.555
	Centre X 575802.061 m				
	Centre Y 3531916.997 m				
Clothoïde 6	Paramètre -616.441	200.000	49+235.345	573908.476	3532072.993
Droite 4	Gisement 201.88gr	114.655	49+435.345	573899.059	3531873.239
			49+550.000	573895.670	3531758.634
Longueur totale de l'axe 10550.000 mètre(s)					

ANNEXE B : Listing profil en long

Profil En Long Projet				
Elts Caractéristiques			Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon	Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente 0.00 %	2467.698	39+000.000	423.158
Cercle 1	Rayon -50000.000 m	667.295	41+467.698	423.158
	Sommet Absc. 41+467.698 m			
	Sommet Alt. 423.158 m			
Pente 2	Pente -1.33 %	743.245	42+134.994	418.705
Cercle 2	Rayon 50000.000 m	615.751	42+878.238	408.785
	Sommet Absc. 43+545.533 m			
	Sommet Alt. 404.332 m			
Pente 3	Pente -0.10 %	6056.011	43+493.989	404.358
			49+550.000	398.115
Longueur totale de l'axe 10550.000 mètre(s)				
Longueur développée totale de l'axe 10550.109 mètre(s)				

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 (identification géotechnique)
QS0 : Sols impropres	0.1 sols organiques. 0.2 sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonnés, 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 $p_d < 1.7 \text{ t/m}^3$ et de friabilité forte – Marnes - Schistes altérés. 1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (sauf sols 0.2). 1.4 Roches évolutives par exemple : - Craies de $p_d < 1.7 \text{ t/m}^3$ et de friabilité faible - Schistes non altérés. 1.5 Roches tendres par exemple : Si Microdeval en présence d'eau (MDE) > 40 et Los Angeles LA > 40.
QS2 : Sols moyens	2.1 Sol comportant de 5 à 15% de fines. 2.2 Sols comportant moins de 5% de fines mais uniformes ($C_u \leq 6$). 2.3 Roches moyennement dures par exemple : Si $25 < \text{MDE} \leq 40$ et $30 < \text{LA} < 40$.
QS3 : Bons sols	3.1 Sols comportant moins de 5% de fines 3.2 Roches dures par exemples : Si $\text{MDE} \leq 25$ et $\text{LA} \leq 30$

Annexe E : Les épaisseurs minimales de la couche d'assise.

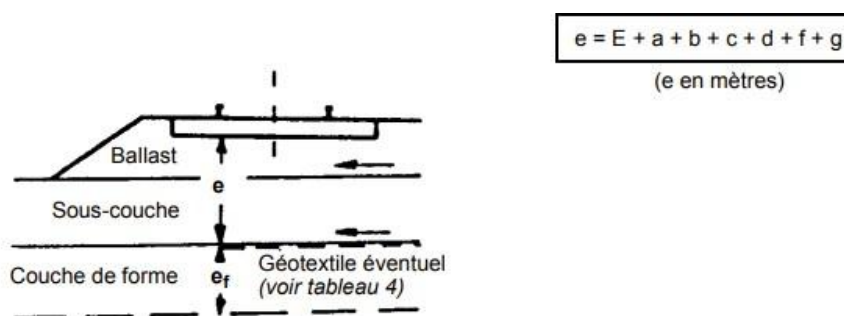


Fig. 9 - Calcul de l'épaisseur minimale "e" des couches d'assise

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 : FICHE 1 de la norme ST N°590

« Sous-couche pour couche (sous-ballast) »

SPECIFICATION TECHNIQUE N° 590B	CHAPITRE 2	SPECIFICATIONS TECHNIQUES	EDITION mars-99	PAGE 20
ARTICLE 9		SPECIFICATIONS		

Fiche n° 1 : Sous-couche pour couche "sous-ballast"

Type de matériau : D2 , D3 , R21 [1] , **R41 , R61**

		lignes parcourues à grandes vitesses V > 160 km/h	autres lignes	Observations
<u>désignation</u>		Grave 0 / 31,5 bien graduée		voir § 7.3.2
Caractéristiques intrinsèques				
résistance	LA+MDE	<= 40	<= 50	
Caractéristiques de fabrication				
dimensions nominales	d	0		
	D	31,5	31,5 (ou 40)	
granularité (fuseau de spécification)	P[2D]	100	<i>fuseau de la courbe moyenne</i> P[D/2] : 73 - 65 P[D/5] : 52 - 42 P[D/10] : 40 - 31 P[D/20] : 31 - 22 P[D/50] : 21 - 16 P[D/100] : 15 - 12 P[D/200] : 10 - 8	[2]
	P[1,58D]	100 - 99		
	P[D]	99 - 85		
	P[D/2]	81 - 55		
	P[D/5]	57 - 31		
	P[D/10]	45 - 23		
	P[D/20]	36 - 17		
	P[D/50]	26 - 11		
	P[D/100]	19 - 8		
	P[D/200]	13 - 6		
	P[0,08]	8 - 4		
angularité		Entièrement concassée	>= 95 sec. (sur fraction 6,3/10)	voir § 7.4
forme	A	<= 25		
propreté	Vbg	<= 1		voir § 7.6.1
Caractéristiques complémentaires				
compacité		>= 82 %	>= 80 %	
sensibilité au gel		non gélif		voir § 8.2.3
granulats artificiels		[3]		

[1] L'utilisation de granulats calcaires d'origine géologique autre que "Primaire" doit être soumise à l'accord du Département IG-LG

[2] La limite inférieure du fuseau de spécification est la même que la limite inférieure du fuseau des graves non traitées routières 0 / 31,5 dures (Norme P 98-129)

[3] utilisation possible de matériaux de démolition : F71 , sous réserve des recommandations des annexes 1 et 2

ANNEXE G : FICHE 2 de la norme ST N°590

« Sous-couche pour couche de fondation »

SPECIFICATION TECHNIQUE N° 590B	CHAPITRE 2	SPECIFICATIONS TECHNIQUES	EDITION mars-99	PAGE 21
------------------------------------	------------	---------------------------	--------------------	------------

ARTICLE 9	SPECIFICATIONS
-----------	----------------

Fiche n° 2 : Sous-couche pour couche de fondation

Type de matériau : B5 , D , R21 , R41 , R61

		lignes parcourues à grandes vitesses V > 160 km/h		autres lignes		Observations
<u>désignation</u>		Grave sableuse				
Caractéristiques intrinsèques						
résistance		LA+MDE	<= 50			
Caractéristiques de fabrication						
dimensions nominales		d	0			
		D	20 à 40			
granularité (fuseau de spécification)		P[2D]	100			
		P[1,58D]	100 - 99			
		P[D]	99 - 85			
		P[D/2]	88 - 66			
		P[D/5]	67 - 46			
		P[D/10]	54 - 35			
		P[D/20]	46 - 27			
		P[D/50]	38 - 19			
		P[D/100]	30 - 13			
		P[D/200]				
		P[0,08]	14 - 5			
angularité		Entièrement concassée	>= 95 sec. (sur fraction 6,3/10)		voir § 7.4	
forme		A	<= 25			
propreté		Vbg	<= 1		voir § 7.6.1	
Caractéristiques complémentaires						
compacité		>= 82 %		>= 80 %		voir § 8.2.3
sensibilité au gel		non gélif				
granulats artificiels		[1]				

[1] utilisation possible de matériaux de démolition : F71 , sous réserve des recommandations des annexes 1 et 2

ANNEXE H : FICHE 4 de la norme ST N°590

Fiche n° 4 : couche de forme de qualité S3 ou Rt3

Type de matériau : B3 , CiBi , D2 , D3 , R21 , R41 , R61 , F31 , F71

		Observations
<u>désignation</u>	Grave 0 / D	
Caractéristiques intrinsèques		
résistance	R [1] ≤ 60	
Caractéristiques de fabrication		
dimensions nominales	d 0 D 20 à 125	
granularité (fuseau de spécification)	P[2D] 100 P[Dmax] 100-99 P[D] 99 - 85 P[D/2] 84 - 55 P[D/5] 60 - 31 P[D/10] 49 - 23 P[D/20] 40 - 17 P[D/50] 30 - 11 P[D/100] 22 - 8 P[D/200] 16 - 6 P[D/500] 9 - 3 P[D/1000] 6 - 2	
angularité		
forme	A ≤ 25	
propreté	Vbg < 2	
Caractéristiques complémentaires		
compacité	≥ 80 %	voir § 7.6.1
sensibilité au gel	[3]	
granulats artificiels	[4]	

[1] R = LA+MDE si D < 50

R = LA+MDA si D ≥ 50

[2] à prendre en compte si D ≥ 63

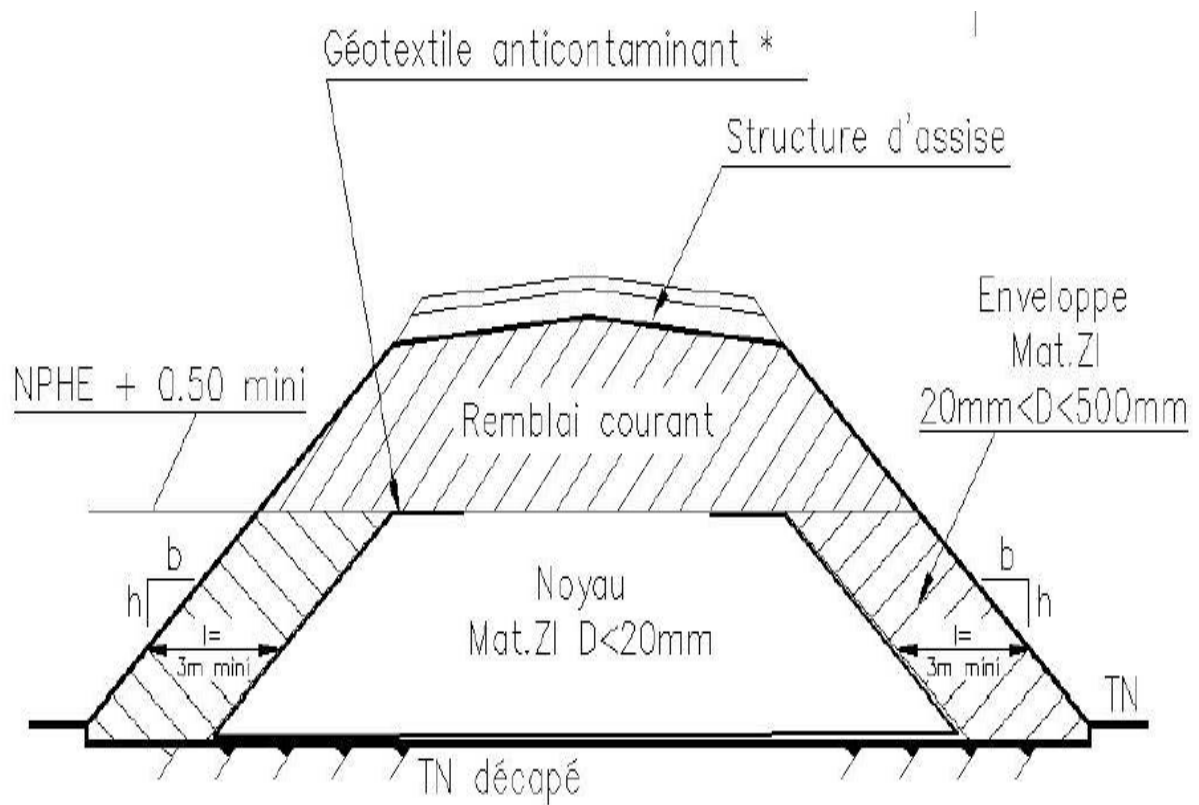
[3] Selon la situation géographique il n'est pas toujours nécessaire de vérifier que les granulats utilisés en couche de forme rapportée Rt 3 soient "non gélifs" .

[4] Voir recommandations d'emploi en annexes 1 et 2

RI

ANNEXE I : ANNEXE 7 de la norme IN 3278

« Remblai de zone inondable avec noyau et enveloppe »



ANNEXE J : FICHE 7 de la norme ST N°590

« MATERIAUX DE ZONE INONDABLE »

SPECIFICATION TECHNIQUE N° 590B	CHAPITRE 2	SPECIFICATIONS TECHNIQUES	EDITION mars-99	PAGE 26
ARTICLE 9		SPECIFICATIONS		

Fiche n° 7 : Matériaux de zone inondable

Type de matériau : CiB3 , D3 , R21 , R22 , R41 , R42 , R61 , R62 , F31 , F71

				Observations
<u>désignation</u>		Granulat 0/D		[2]
Caractéristiques intrinsèques				
résistance	LA+MDA	<= 80		
Caractéristiques de fabrication				
dimensions nominales	d	0		
	D	63 à 500		
granularité	P[Dmax]	>= 99 %		
(fuseau de spécification)	P[D]	[1]		
	P[D/20]			
	P[0,08]	<= 5 %		
angularité				
forme				
propreté				
Caractéristiques complémentaires				
sensibilité au gel		non gélif		
dégradabilité		non mesurable		
granulats artificiels		[3]		

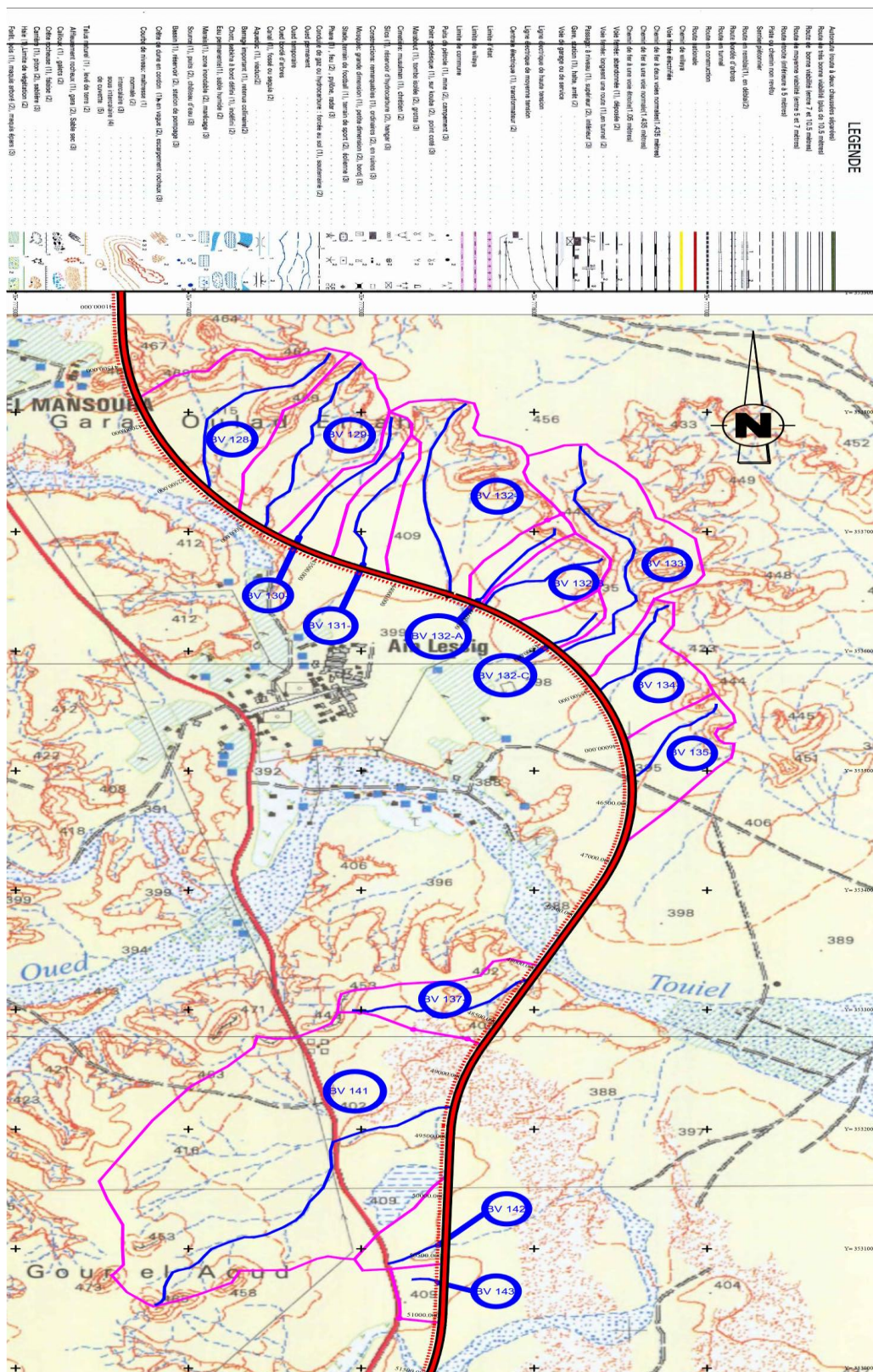
[1] si D <= 200 mm : P[D] = 99 à 85 % (Dmax = 1,25 D)

si D > 200 mm : P[D] >= 99 % (D = Dmax)

[2] mesuré sur la fraction 0/50

[3] voir recommandations d'emploi en annexes 1 et 2

ANNEXE K : Délimitation des bassins versant



ANNEXE L : Précipitation annuel

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	août	annuel
130427													
GHARDAIA													
X : 502.895													
Y : 210.917													
1990													
PJ max (mm)	0	0	9.8	1.7	2.6	2.7	3.9	1.3	10.3	0.7	0	0	10.3
Totaux (mm)	0	0	16.2	2.5	2.6	3.7	5.8	1.4	11.7	0.7	0	0	44.6
1991													
PJ max (mm)	1.4	0.5	2.6	2.5	4.1	0	8.3	3.5	7	0	0	0	8.3
Totaux (mm)	4.1	0.5	3.8	5.5	8	0	22.5	3.5	9.9	0	0	0	57.8
1992													
PJ max (mm)	0	0	7.9	0	0	14.6	0.5	0	0.5	0	0	0	14.6
Totaux (mm)	0	0	17.6	0	0	21.4	0.5	0	0.8	0	0	0	40.3
1993													
PJ max (mm)	0.7	11.2	1.2	0	3	0	26.7	1.1	0	7.3	0	0	26.7
Totaux (mm)	0.7	11.2	3.4	0	5.3	0	62.2	1.1	0	8.9	0	0	92.8
1994													
PJ max (mm)	31.8	10.2	4.6	1.3	0	0	6.3	0	0	0	0	0	31.8
Totaux (mm)	75.8	23.7	5.8	1.3	0	0	6.3	0	0	0	0	0	112.9
1995													
PJ max (mm)	26.5	7.6	5.4	3.5	12.5	12	8.3	0.2	0	0	1.3	0	26.5
Totaux (mm)	33.9	8.4	5.4	6.7	13.6	24.9	21.1	0.2	0	0	1.3	0	115.5
1996													
PJ max (mm)	0	0.8	0	2.3	0.2	1.7	0	46.5	1.1	0	0	0	46.5
Totaux (mm)	0	0.8	0	2.3	0.2	2.4	0	60.6	1.1	0	0	0	67.4
1997													
PJ max (mm)	18.9	0	10	30.4	0	0	2.5	0.6	0	0	0	0	30.4
Totaux (mm)	44.1	0	10.4	32.4	0	0	2.5	0.6	0	0	0	0	90
1998													
PJ max (mm)	5	0	0	0.3	18.6	0.8	4.4	0	1.2	0	3.6	0	18.6
Totaux (mm)	9.9	0	0	0.3	53.8	0.8	4.4	0	1.2	0	7.6	0	78
1999													
PJ max (mm)	0.9	0	8.4	18.1	0	0	2.6	0	4.9	1.8	0	0	18.1
Totaux (mm)	0.9	0	24.7	27.7	0	0	3.6	0	6.1	1.8	0	0	64.8
2000													
PJ max (mm)	3.9	12	0	0	0	1.3	0.3	1.7	0	0	0	0	12
Totaux (mm)	5.2	13.1	0	0	0	1.3	0.3	1.7	0	0	0	0	21.6
2001													
PJ max (mm)	7.3	0.5	4.6	19.1	0.7	0	2.1	0.8	1.6	0.1	0	2.6	19.1
Totaux (mm)	12.8	0.5	5.7	23.6	0.7	0	2.7	0.8	1.6	0.1	0	3.7	52.2
2002													
PJ max (mm)	9	23.3	13.9	0	7.7	2.6	18.8	0.2	0	0.1	0	6.9	23.3
Totaux (mm)	10.1	26.6	16.9	0	18.4	2.6	23.5	0.2	0	0.1	0	6.9	105.3
2003													
PJ max (mm)	6.9	9.6	0	2.4	44	0.4	7.2	38.7	0.9	31.2	0	6.3	44
Totaux (mm)	7.1	22.3	0	3.7	49	0.4	7.2	44.8	1	34.5	0	12.2	182.2
2004													
PJ max (mm)	0	0	13.6	1.8	6.4	0.5	0	0	0	2.4	1.7	7.7	13.6
Totaux (mm)	0	0	21.2	3.5	6.4	1.1	0	0	0	3.9	1.7	7.7	45.5
2005													
PJ max (mm)	39	10	1.3	0	48	0	0.2	6	4.1	0	4.3	1.9	48
Totaux (mm)	62.8	10.2	2.2	0	57.5	0	0.2	6.3	4.1	0	4.3	2.6	150.2
2006													
PJ max (mm)	4.8	5.8	2.3	7.8	0.1	0	4.1	8.7	1.8	0	0	10.2	10.2
Totaux (mm)	7.7	5.8	4.4	13.6	0.1	0	4.1	12.3	3.4	0	0	16.5	67.9
2007													
PJ max (mm)	1.5	0	0	3.5	5.4	7.8	0	0	0.6	1.2	1.1	0	7.8
Totaux (mm)	2.6	0	0	3.5	5.4	10.3	0	0	0.6	1.2	1.1	0	24.7
2008													
PJ max (mm)	40.5	24.9	5.4	3.7	25.4	0.6	10.1	0.4	0	16.2	0	0	40.5
Totaux (mm)	79.5	30.8	8.8	7.3	59.3	1	10.5	0.4	0	17.4	0	0	215
2009													
PJ max (mm)	19.1	0	0	0	3.4	0	0	0	2	1.5	2	0	19.1
Totaux (mm)	45.8	0	0	0	5.6	0	0	0	3.5	1.5	2	0	58.4
2010													
PJ max (mm)	0.5	3.5	0	0	1.5	0	8.5	6	1.5	14.5	0	0	14.5

ANNEXE L : Précipitation annuel

Totaux (mm)	0.5	3.5	0	0	1.5	0	16.9	15	1.5	27	0	0	65.9
2011													
PJ max (mm)	18	12	0	0	5.5	1	5.5	8.5	0	5.5	0	0	18
Totaux (mm)	24	18	0	0	6.5	1	7.5	8.5	0	5.5	0	0	71
2012													
PJ max (mm)	0	3.9	6.5	2	1.2	0	3.7	0.7	0	0	0.1	0.9	6.5
Totaux (mm)	0	6	7	2	1.2	0	3.7	0.7	0	0	0.1	1.7	22.4
2013													
PJ max (mm)	23	1.3	5.5	8.6	0	6.1	0	0	11.6	1.2	0	0	23
Totaux (mm)	23.5	1.5	8.7	23.3	0	7.2	0	0	11.6	2.3	0	0	78.1
2014													
PJ max (mm)	0	3	0	0.4	1.3	0	0	0	0	0.2	2.7		
Totaux (mm)	0	3.4	0	1	1.9	0	0	0	0	0.2	7.7		
2015													
PJ max (mm)	3.8	5.1	8.5	0	0	0	0	1.6	0	0	0	0	8.5
Totaux (mm)	4.6	5.9	8.5	0	0	0	0	2.6	0	0	0	0	21.6
2016													
PJ max (mm)	3.1	0	4.2	5.1									
Totaux (mm)	4.9	0	4.2	5.5									
2017													
PJ max (mm)	7				3.5	0.3	4.1	8.8	12.8	0	0	8.1	
Totaux (mm)	7				5.8	0.3	4.1	8.8	12.8	0	0	8.1	
2018													
PJ max (mm)	0.6	0	0	0	0	0	16.1	3.3	1.3	0	0	1.7	16.1
Totaux (mm)	0.6	0	0	0	0	0	46.7	3.3	1.8	0	0	1.7	54.1
2019													
PJ max (mm)					0.2	0	7.3						
Totaux (mm)					0.2	0	8.6						