

République Algérienne Démocratique et Populaire ministère de  
l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
المدرسة الوطنية العليا للأعمال العمومية  
فرنسيس جانشون

**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 en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie  
unique Ghardaia - Meniaa du PK27+000 au  
PK39+000 avec conception de la gare de Mansoura**

Présenté par :

TOUATI Abd Elbasset

ATTICHE Kamel

Encadré par :

Mr. GHAFFAR Karam

Mr. FEDGHOUCHE Ferhat

Promotion 2025 / 2026

## Résumé

Le présent mémoire s'inscrit dans le cadre d'une étude en Avant-Projet Détaillé (APD) portant sur la nouvelle ligne ferroviaire électrifiée à voie unique reliant Ghardaïa à El Meniaa, spécifiquement sur le tronçon s'étendant du PK 27+000 au PK 39+000.

L'étude intègre également la conception de la gare de Mansoura.

Elle a été menée conformément aux normes de l'Union Internationale des Chemins de Fer (UIC) et selon les exigences de la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF). Pour la modélisation, la conception géométrique et l'analyse du tracé, plusieurs outils numériques ont été mobilisés, notamment AutoCAD, Covadis 17, Google Earth, Global Mapper, HEC-RAS et GEO5.

**Mots-clés :** Ligne ferroviaire électrifiée, voie unique, Avant-Projet Détaillé (APD), conception géométrique, tracé ferroviaire, gare de Mansoura, Ghardaïa–El Meniaa, UIC, SNTF.

## الملخص

تندرج هذه المذكرة ضمن إطار دراسة المشروع التمهيدي المفصل (APD) المتعلقة بالخط الحديدي الجديد المكهرب أحادي المسار الرابط بين غرداية والمنيعه، تحديدا المقطع الممتد من النقطة الكيلومترية PK 27+000 إلى PK 39+000. كما تتضمن هذه الدراسة تصميم لمحطة المنصورة.

أنجزت هذه الدراسة وفقاً لمعايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC) ومتطلبات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية (SNTF). ولأغراض النمذجة والتصميم الهندسي وتحليل مسار الخط، تم اعتماد مجموعة من الأدوات الرقمية، من بينها AutoCAD, Covadis 17, Google Earth, Global Mapper, HEC- , RAS و GEO5.

**الكلمات المفتاحية :** الخط الحديدي المكهرب، السكة الأحادية، المشروع التمهيدي المفصل (APD) ، التصميم الهندسي، مسار السكة الحديدية، محطة المنصورة، غرداية–المنيعه، الاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC) ، الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية (SNTF).

## Abstract

This thesis is a Detailed Preliminary study (APD) concerning the new electrified single-track railway line connecting Ghardaïa to El Meniaa, specifically addressing the section extending from PK 27+000 to PK 39+000. The study also includes the design of the Mansoura railway station.

The project was carried out in accordance with the standards of the International Union of Railways (UIC) and the requirements of the National Railway Transport Company (SNTF). Several digital tools were employed for modelling, geometric design, and route analysis, including AutoCAD, Covadis 17, Google Earth, Global Mapper, HEC-RAS, and GEO5.

**Keywords:** Electrified railway line, single-track railway, Detailed Preliminary Design (APD), geometric design, railway alignment, Mansoura railway station, Ghardaïa–El Meniaa, International Union of Railways (UIC), National Railway Transport Company (SNTF).

# Remerciement

Avant tout, nous louons Allah, le Tout-Puissant, de nous avoir accordé la santé, la volonté et la patience nécessaires pour mener à bien ce modeste travail qui clôture notre cycle de formation d'ingénieur.

Ce mémoire de fin d'études est l'aboutissement d'un travail de longue haleine qui n'aurait pu être réalisé sans la disponibilité, la bienveillance et le soutien de nombreuses personnes. C'est avec un immense plaisir que nous tenons à leur exprimer notre profonde gratitude.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent tout d'abord à nos encadreur, **Mr K. GHAFAR** et **Mr F. FEDGHOUCHE**, pour la confiance qu'ils nous ont accordée, Leur disponibilité tout au long de l'élaboration de ce projet, leurs précieux conseils, leurs critiques constructives et leurs orientations méthodologiques ont été d'un apport inestimable.

Nous exprimons notre profonde gratitude à l'ensemble du corps professoral de l'**ENSTP** et plus particulièrement au département des Infrastructures de Base (DIB). Nous remercions chaleureusement nos professeurs pour la qualité de leur enseignement tout au long de notre cursus, avec une mention particulière pour **Mr R. MORSLI**, **Mr K. HAMMADI**, **Mr M. BENREDOUANE** et **Mme Y. MAHIAOUI** pour leurs précieux conseils et leur bienveillance.

Nous adressons également nos sincères remerciements au personnel administratif du département, notamment **Mme I. MAKOUDI** et **Mme M. BOUREBIA**, pour leur dévouement, leur accueil toujours souriant et l'aide précieuse apportée dans nos démarches.

Nous tenons également à exprimer notre reconnaissance à l'ensemble du personnel de l'entreprise **COSIDER** pour leur accueil chaleureux et leur bienveillance durant notre période de stage. Une mention toute particulière s'adresse à **Mr Djamel** pour son accompagnement, sa disponibilité et le temps précieux qu'il a consacré à partager son expérience et son expertise technique avec nous.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers les membres du jury qui nous font l'honneur d'évaluer notre modeste travail et d'enrichir ce mémoire par leurs remarques.

# Dédicace

Je dédie ce travail avec tout mon amour et ma reconnaissance :

**À mes chers parents**, ma mère pour son amour inconditionnel, sa tendresse et ses prières qui m'ont toujours accompagné, et mon père pour son soutien indéfectible, sa force et ses précieux conseils. Ce succès est le vôtre.

**À ma famille**, mes frères et sœurs Sara, Souhila, Amina, Mohamed, Walid, Abdennour, Ahmed, Abdelghani, pour leur présence constante, nos moments partagés et leurs encouragements quotidiens.

**À mes amis**, Abdellah, Layachi, Bechbak, Khalil, Rafik, Oussama, yassin, Abdou, Imad, Islam, pour votre soutien moral inébranlable et tous les bons moments partagés au fil des années.

**À mon binôme**, Kamel ATTICHE, pour ta collaboration précieuse, ta patience et les efforts partagés pour mener ce projet à son terme.

*Abd Elbasset TOUATI*

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes remerciements les plus sincères :

**Tout d'abord, je remercie Dieu** Tout-Puissant pour m'avoir donné la force, la patience et la volonté de mener à bien ce travail.

**À ma chère famille**, en particulier mon père et ma mère, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices, leur soutien moral et financier, et leurs encouragements constants tout au long de mon parcours. Sans vous, rien de tout cela n'aurait été possible.

**À mes frères et sœurs**, Ikram, Mourad, Nour et Racha, pour leur présence, leur affection et leur soutien tout au long de ces années.

**À toute ma famille**, que j'aime profondément, pour leurs prières et leurs encouragements.

Mes sincères remerciements à mes amis de l'ENSTP, Basset, Abdo, Yacine, Islam, Alaa, Amin, Mohamed, Rafik, Fikou, Oussama et Moad, pour les moments partagés, leur soutien et leur amitié précieuse durant ce parcours académique.

**À mon ami Walid**, ainsi qu'aux GSA BOYS et à Sidali, et à tous mes amis que je n'ai pas pu citer mais qui restent présents dans mon cœur, merci pour votre amitié sincère et votre soutien.

Enfin, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à l'ensemble du corps enseignant de l'ENSTP, et tout particulièrement à Madame Mahiaoui, pour son encadrement précieux, sa disponibilité et ses conseils qui ont grandement contribué à la réussite de ce travail.

À tous, merci du fond du cœur.

*Kamel ATTICHE*

## **Abbréviations**

A.P.D : AVANT-PROJET DETAILLE.

A.P.S : AVANT-PROJET SOMMAIRE.

ADV : APPAREIL DE VOIE.

ANRH : AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES.

ONM : OFFICE NATIONAL DE LA METEOROLOGIE.

BV : BASSIN VERSANT.

GF : GARAGE FRANC.

IDF : INTENSITE - DUREE – FREQUENCE.

LU : LONGUEUR UTILE.

NPHE : NIVEAU DES PLUS HAUT EAUX.

PK : POINT KILOMETRIQUE.

PU : PUIT DE RECONNAISSANCE.

QPS : DEBIT PLEINE SECTION.

RN : ROUTE NATIONALE.

RPA : REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES.

SNTF : SOCIETE NATIONALE DES TRANSPORTS FERROVIAIRES.

SP : SONDAGE PRESSIOMETRIQUE.

SPT : ESSAI DE PENETRATION STANDARD.

UIC : UNION INTERNATIONALE DES CHEMINS DE FER.

VBS : ESSAI BLEU DE METHYLENE.

LA : ESSAI LOS ANGELOS.

MDE : ESSAI MICRO-DEVAL.

VPS : VTESSE PLEINE SECTION.

PI : PASSAGE INFERIEUR.

PS : PASSAGE SUPERIEUR.

LRS : LONG RAIL SOUDE.

GTR : GUIDE TERRASSEMENT ROUTIER.

HT : HORS TAXES.

CBR : CALIFORNIA BEARING RATIO.

ERTMS : EUROPEAN RAIL TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM.

# Table de matière

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCTION GENERALE .....                                       | 1  |
| CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE CHEMIN DE FER .....               | 2  |
| I.1. Introduction .....                                           | 2  |
| I.2. Définition d'une infrastructure ferroviaire .....            | 2  |
| I.3. Composition d'une voie ferrée .....                          | 2  |
| I.4. Conclusion.....                                              | 2  |
| CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET .....                        | 3  |
| II.1. Introduction.....                                           | 3  |
| II.2. Localisation géographique .....                             | 3  |
| II.3. Géologie.....                                               | 3  |
| II.4. Géomorphologie.....                                         | 4  |
| II.4.1. Chebka du M'Zab (Pk 00+000 au Pk 203+000).....            | 4  |
| II.4.2. Transition vers El Goléa (Pk 203+000 au Pk 232+800) ..... | 4  |
| II.5. Climat.....                                                 | 5  |
| II.6. Précipitations.....                                         | 5  |
| II.6.1. Précipitations annuelles.....                             | 5  |
| II.6.2. Précipitations mensuelles .....                           | 6  |
| CHAPITRE III : SYNTHESE DE L'ETUDE APS.....                       | 7  |
| III.1. Introduction.....                                          | 7  |
| III.2. Présentation du tracé.....                                 | 7  |
| III.3. Résumé de l'étude APS .....                                | 7  |
| III.4. Analyse comparative des variantes.....                     | 8  |
| III.5. Objectifs globaux du tracé retenu .....                    | 9  |
| CHAPITRE IV : LA SUPERSTRUCTURE FERROVIAIRE .....                 | 10 |
| IV.1. Introduction .....                                          | 10 |
| IV.2. Fonctions mécaniques et géométriques .....                  | 10 |
| IV.3. Les éléments de la superstructure Le Rail.....              | 11 |
| IV.3.1. Le rail.....                                              | 11 |
| IV.3.2. Les traverses .....                                       | 17 |
| IV.3.3. Les attaches .....                                        | 18 |
| IV.3.4. Les caténaires .....                                      | 18 |
| IV.3.5. Les appareils de voie .....                               | 19 |
| CHAPITRE V : COUCHE D'ASSISE .....                                | 20 |
| V.1. Introduction.....                                            | 20 |
| V.2. Structure d'assise.....                                      | 20 |
| V.3. La couche d'assise .....                                     | 20 |
| V.3.1. La couche de ballast.....                                  | 20 |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| V.3.2. La sous-couche .....                                        | 21 |
| V.4. Épaisseur des couches d'assise .....                          | 21 |
| V.5. La couche anti-contaminante .....                             | 22 |
| V.6. La couche de forme .....                                      | 22 |
| V.7. Les géosynthétiques .....                                     | 22 |
| V.8. Classification des sols et conditions hydrogéologiques .....  | 23 |
| V.9. Conclusion .....                                              | 23 |
| CHAPITRE VI : ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE.....                               | 24 |
| VI.1. Introduction .....                                           | 24 |
| VI.2. Écartement de la voie .....                                  | 24 |
| VI.2.1. Définition.....                                            | 24 |
| VI.2.2. Différents types d'écartement .....                        | 24 |
| VI.3. Tracé en plan .....                                          | 25 |
| VI.3.1. Définition.....                                            | 25 |
| VI.3.3. Application au projet .....                                | 30 |
| VI.4. Profil en long .....                                         | 32 |
| VI.4.1. Introduction .....                                         | 32 |
| VI.4.2. Éléments de composition du profil en long .....            | 33 |
| VI.4.3. Les courbes de raccordement vertical .....                 | 34 |
| VI.4.4. Règles et normes à respecter pour le profil en long.....   | 34 |
| VI.5. Profil en travers .....                                      | 35 |
| VI.5.1. Introduction .....                                         | 35 |
| VI.5.2. Profil en travers type.....                                | 35 |
| VI.5.3. Caractéristiques et éléments constitutifs du profil.....   | 35 |
| VI.5.4. Application au projet .....                                | 36 |
| CHAPITRE VII : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE .....             | 37 |
| VII.1. Introduction.....                                           | 37 |
| VII.2. Cadre climatique .....                                      | 37 |
| VII.3. Cadre géomorphologique .....                                | 38 |
| VII.4. Réseau hydrographique .....                                 | 39 |
| VII.5. Cadres climatiques .....                                    | 41 |
| VII.5.1. Précipitations .....                                      | 41 |
| VII.5.2. Températures .....                                        | 45 |
| VII.5.2. Humidité.....                                             | 46 |
| VII.5.3. Le vent.....                                              | 46 |
| VII.6. Caractéristiques morphométriques des bassins versants ..... | 47 |
| VII.6.1. Délimitation des bassins versants.....                    | 47 |
| VII.6.2. Paramètres morphométriques .....                          | 48 |
| VII.7. Calcul débit des bassins versant (les crues) .....          | 52 |
| VII.7.1. Formule Rationnelle.....                                  | 52 |

|                                                                           |                                     |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| VII.7.2. Formule Crupédix .....                                           | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| VII.7.3. Formule de Transition .....                                      | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| VII.7.4. Formule de Mallet-Gauthier.....                                  | 54                                  |
| VII.7.5. Exemple de calcul pour le BV 01.....                             | 55                                  |
| VII.8. Étude hydraulique .....                                            | 58                                  |
| VII.8.1. Méthode de Manning-Strickler .....                               | 58                                  |
| VII.8.2. Dimensionnement des ouvrages de drainage transversaux .....      | 59                                  |
| VII.8.3. Assainissement longitudinal.....                                 | 64                                  |
| CHAPITRE VIII : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE .....                    | 68                                  |
| VIII.1. Introduction.....                                                 | 68                                  |
| VIII.2. Situation Et Description Du Projet .....                          | 68                                  |
| VIII.3. Cadre géologique .....                                            | 69                                  |
| VIII.3.1. Présentation de la zone d'étude .....                           | 69                                  |
| VIII.3.2. Géologie régionale .....                                        | 70                                  |
| VIII.3.3. Géologie locale (tronçon étudié).....                           | 72                                  |
| VIII.3.4. Sismicité.....                                                  | 72                                  |
| VIII.4. Synthèse des résultats Géotechniques.....                         | 73                                  |
| VIII.4.1. Les essais in situ (du pk 27+ 000 au pk 39+000).....            | 73                                  |
| VIII.4.2. Les essais au laboratoire .....                                 | 78                                  |
| VIII.5. Unité géotechnique .....                                          | 84                                  |
| VIII.6. Conception des ouvrages en terre .....                            | 85                                  |
| VIII.6.1. Remblais .....                                                  | 85                                  |
| VIII.6.1. Déblais .....                                                   | 88                                  |
| VIII.7. Dimensionnement de la structure d'assise.....                     | 91                                  |
| VIII.7.1. Plate- Forme Proposée .....                                     | 91                                  |
| VIII.7.2. Méthode de dimensionnement adoptée .....                        | 92                                  |
| VIII.7.3. Calcul d'épaisseur minimal d'après la fiche UIC 719 R .....     | 92                                  |
| VIII.7.4. Couche de forme.....                                            | 94                                  |
| VIII.7.5. Exigences sur les constituants de l'assise .....                | 95                                  |
| CHAPITRE IX : LES CONTRAINTES EXISTANTES.....                             | 96                                  |
| IX.1. Introduction .....                                                  | 96                                  |
| IX.2. Les contraintes hydrologiques : Franchissement des oueds .....      | 96                                  |
| IX.2.1. Le viaduc du PK 27+880 au PK 28+559 (Oued Sebseb) .....           | 96                                  |
| IX.3. Les contraintes anthropiques : Croisements route-rail .....         | 99                                  |
| IX.3.1. Passage Supérieur (PS) au PK 29+687.....                          | 99                                  |
| IX.3.2. Passage Inférieur (PI) au PK 38+137 .....                         | 100                                 |
| IX.4. Les contraintes climatiques : Protection contre l'ensablement ..... | 101                                 |
| IX.4.1. Dispositifs de protection en zone de remblai.....                 | 101                                 |
| IX.4.2. Dispositifs de protection en zone de déblai.....                  | 102                                 |
| CHAPITRE X : AMÉNAGEMENT DE LA GARE .....                                 | 104                                 |

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| X.1. Introduction.....                                        | 104 |
| X.2. Conception de la gare .....                              | 104 |
| X.2.1. Plan de masse.....                                     | 104 |
| X.2.2. Typologie des gares .....                              | 104 |
| X.3. Installation d'une gare voyageurs.....                   | 105 |
| X.4 La marge de glissement .....                              | 105 |
| X.4.1. Dimensionnement de la marge de glissement.....         | 106 |
| X.5. Garage franc (GF).....                                   | 106 |
| X.5.1. Fonctions du garage franc.....                         | 107 |
| X.5.2. Dimensionnement et positionnement du garage franc..... | 107 |
| X.6. Longueur utile d'une voie de dépassement .....           | 107 |
| X.6.1. Formulation analytique .....                           | 107 |
| X.7. Équipements de la gare .....                             | 108 |
| X.7.1 Réseaux de voies.....                                   | 108 |
| X.7.2 Caténaire .....                                         | 109 |
| X.7.3. Les heurtoirs .....                                    | 110 |
| X.8. Caractéristiques géométriques de la gare.....            | 110 |
| X.8.1 Déclivités dans la gare .....                           | 110 |
| X.9. Les Quais .....                                          | 110 |
| X.9.1. Longueur des quais .....                               | 110 |
| X.9.2. Largeur des quais.....                                 | 111 |
| X.9.3. Entraxe des voies au droit des quais .....             | 111 |
| X.9.4. Hauteur des quais.....                                 | 111 |
| X.9.5. Distance par rapport à l'axe de la voie .....          | 112 |
| X.10 Appareils de Voie .....                                  | 112 |
| X.10.1 Définition générale .....                              | 112 |
| X.11 Application au Notre projet .....                        | 113 |
| X.12 Passage Souterrain .....                                 | 114 |
| X.13. Assainissement de la Gare .....                         | 115 |
| X.13.1. Assainissement Transversal .....                      | 115 |
| X.13.2. Assainissement Longitudinal .....                     | 115 |
| X14. Conclusion .....                                         | 116 |
| CHAPITRE XI : SIGNALISATION FERROVIAIRE.....                  | 116 |
| XI.1. Introduction .....                                      | 116 |
| XI.2. Rôle de la signalisation.....                           | 116 |
| XI.3. Système de signalisation.....                           | 116 |
| XI.3.1. Fonctions des signaux.....                            | 116 |
| XI.3.2 Types de Signaux .....                                 | 117 |
| XI.3.3. Implantation des Signaux .....                        | 118 |
| XI.3.4. Système de Cantonnement.....                          | 118 |

|                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| XI.3.5. Système de contrôle et de protection ERTMS .....                   | 119 |
| XI.3.6 Application au projet .....                                         | 119 |
| XI.4. Conclusion .....                                                     | 120 |
| CHAPITRE X.II. ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT .....                    | 121 |
| XII.1. Introduction .....                                                  | 121 |
| XII.2. Réglementation.....                                                 | 121 |
| XII.3. Caractéristiques générales du site .....                            | 121 |
| XII.4. Potentiel physique, biologique et humain de la zone d'étude .....   | 122 |
| XII.5. L'impact du projet .....                                            | 123 |
| XII.5.1 Les effets bénéfiques.....                                         | 123 |
| XII.5.2. Les impacts négatifs et les mesures d'atténuation proposées ..... | 123 |
| XII.6. Influence de l'environnement sur la réalisation du projet .....     | 125 |
| XII.7. Conclusion.....                                                     | 125 |
| CHAPITRE XIII : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF.....                        | 126 |
| CONCLUSION GÉNÉRALE .....                                                  | 128 |

# Liste des figures

|                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure II.1 : Localisation géographique du tracé Ghardaïa – El Ménée.....                                                                           | 3  |
| Figure II.2 : Vues géologiques de la zone d'étude .....                                                                                             | 4  |
| Figure II.3 : Différents ensembles morphologiques de zone d'étude superposés .....                                                                  | 5  |
| Sur la carte géologique d'Algérie 1/500 000 .....                                                                                                   | 5  |
| Figure II.4 : Carte des précipitations annuelles de la zone d'étude.....                                                                            | 6  |
| Figure II.5 : Graphe des précipitations annuelles .....                                                                                             | 6  |
| Figure III.1 : Situation générale du tracé étudié .....                                                                                             | 7  |
| Figure III.2 : Tracés étudiés (Variante 01 et Variante 02).....                                                                                     | 8  |
| Figure IV.1 : les constituants de la superstructure ferroviaire .....                                                                               | 10 |
| Figure IV.2: Caractéristiques géométriques et mécaniques du rail UIC60-El.....                                                                      | 12 |
| Figure IV.3 : assemblage par éclissage.....                                                                                                         | 13 |
| Figure IV.4 : soudage aluminothermique .....                                                                                                        | 14 |
| Figure IV.5 : soudage par étincelage .....                                                                                                          | 14 |
| Figure IV.6 : représentation graphique LRS.....                                                                                                     | 15 |
| Figure IV.7 : les composants d'une attache de type nabla.....                                                                                       | 18 |
| Figure IV.8 : partie principale d'appareil de voie.....                                                                                             | 19 |
| Figure VI.1: écartement de voie (vue de dessus).....                                                                                                | 24 |
| Figure VI.2 : écartement de voie (vue de face).....                                                                                                 | 24 |
| Figure VI.3 : Carte mondiale des écartements ferroviaires .....                                                                                     | 25 |
| Figure VI.4 : Les éléments du tracé en plan .....                                                                                                   | 26 |
| Figure VI.5 : Représentation schématique du dévers dans une courbe .....                                                                            | 27 |
| Figure VI.6 : Représentation graphique de l'insuffisance de dévers .....                                                                            | 29 |
| Figure VI.7 : Représentation graphique de l'excès de dévers.....                                                                                    | 29 |
| Figure VI.8 : courbes de raccordement vertical.....                                                                                                 | 34 |
| Figure VI.9 : les éléments du profil en travers .....                                                                                               | 35 |
| Figure VII.1 : Situation administrative de la nouvelle ligne ferroviaire.....                                                                       | 38 |
| Ghardaïa – El Ménée .....                                                                                                                           | 38 |
| Figure VII.2 : Coupe schématique transversale de la dorsale du Mزاب .....                                                                           | 39 |
| Figure VII.3 : Bassins versants du Sahara Septentrional. ....                                                                                       | 40 |
| Figure VII.4 : Réseau hydrographique traversé par la ligne ferroviaire Ghardaïa - El Ménée .....                                                    | 40 |
| Figure VII.5 : carte en isohyètes des précipitations moyennes annuelles du Sahara algérien (Source AIAD W., 2019).....                              | 41 |
| Figure VII.6 : Graphe Variation des Précipitations moyenne mensuelles des stations de Ghardaïa (2010- 2024) et d'El Ménée (2002-2024).....          | 42 |
| Figure VII.7 : valeurs d'ajustement des pluies journalières selon les fréquences choisies, au niveau de la station de Ghardaïa. ....                | 43 |
| Figure VII.8 : Courbe intensité - durée – Fréquence (IDF).....                                                                                      | 45 |
| Figure VII.9 : Graphe Variation des températures moyennes mensuelles au niveau de la station de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménée (2002-2024)..... | 45 |
| Figure VII.10 : Graphe Variation des moyennes mensuelles de l'humidité à la station de Ghardaïa(2010 2024) et d'El Ménée (2008-2024).....           | 46 |
| Figure VII.11 : Graphe Variation des moyennes mensuelles des vitesses du vent à la station de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménée (2008-2024).....   | 47 |
| Figure VII.12 : Carte des pentes des bassins versants traversés par le tracé du projet.....                                                         | 53 |
| Figure VII.13 : fossé type A01 .....                                                                                                                | 64 |
| Figure VIII.1 : situation du trace .....                                                                                                            | 69 |
| Figure VIII.2 : Vue google earth du tracé.....                                                                                                      | 70 |
| Figure VIII.3 : Plateau crétacé du M'Zab aux environ du Pk 34+000 .....                                                                             | 71 |
| Figure VIII.4 : Tracé projeté sur carte géologique d'Algérie 1/500 000.....                                                                         | 72 |
| Figure VIII.5 : Carte de zonage sismique de l'Algérie (RPOA, 2024).....                                                                             | 73 |
| Figure VIII.6 : résultats de calcul de la stabilité du remblai PK 32+275 (GEO5).....                                                                | 86 |

|                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure VIII.7 : Conception des remblais en zones inondable.....                                             | 87  |
| Figure VIII.8 : résultats de calcul de la stabilité du déblai PK 33+425 (GEO5).....                         | 90  |
| Figure VIII.9 : l'épaisseur minimale "e" des couches d'assise.....                                          | 92  |
| Figure VIII.10 : critères de dimensionnement des couches d'assise (Fiche UIC 719).....                      | 93  |
| Figure VIII.11 :: Les Épaisseurs de la structure d'assise support (QS2).....                                | 94  |
| Figure VIII.12 : Les Épaisseurs de la structure d'assise support (QS3).....                                 | 94  |
| Figure IX.1 : Vue en coupe de modèle sur la section OA PK 27+880 du PK 27+825 au PK 28+554 (HEC-RAS).....   | 97  |
| Figure IX.2 : Coupe transversale sur culée OA PK 27+880.....                                                | 98  |
| Figure IX.3 : Coupe transversale sur pile OA PK 27+880.....                                                 | 98  |
| Figure IX.4: Coupe longitudinale de l'ouvrage d'art PK 29+687.....                                          | 99  |
| Figure IX.5 : Coupe transversal de l'ouvrage PK 38+137.....                                                 | 100 |
| Figure IX.6 : Coupe longitudinale de l'ouvrage PK 38+137.....                                               | 100 |
| Figure IX.7 : Abaque de changement de vitesse de vent.....                                                  | 101 |
| Figure IX.8 : coupe transversale du fossé pièges à sable.....                                               | 102 |
| Figure IX.9 : dispositif du carroyage avec la maille en plastique.....                                      | 102 |
| Figure IX.10 : Schéma de principe d'une voûte de protection contre l'ensablement pour le profil déblai..... | 103 |
| Figure IX.11 : Schéma de principe des murets de protection des têtes de voûtes.....                         | 103 |
| Figure X.1 : Schéma de la marge de glissement.....                                                          | 105 |
| Figure X.2 : Garage franc.....                                                                              | 106 |
| Figure X.3 : Schéma du garage franc.....                                                                    | 107 |
| Figure X.4 : Schéma de la longueur utile.....                                                               | 108 |
| Figure X.5 : Caténaire.....                                                                                 | 109 |
| Figure X.6 : Les heurtoirs.....                                                                             | 110 |
| Figure X.7 : La hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie.....               | 112 |
| Figure X.8 : Passage souterrain.....                                                                        | 115 |
| Figure XI.1 System de contrôle des trains ERTMS.....                                                        | 119 |

## Liste des tableaux

|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau II.1 : Précipitations moyennes mensuelles aux stations de Ghardaïa et d'El Ménée .....                                        | 6  |
| Tableau III.1 : Avantages et inconvénients des deux variantes .....                                                                   | 8  |
| Tableau IV.1 : propriétés métallurgiques du rail.....                                                                                 | 11 |
| Tableau IV.2 : Caractéristiques géométriques et mécaniques du rail UIC60-E1 .....                                                     | 13 |
| Tableau VI.1 : Longueur minimale des éléments de trace selon référentiel technique IN0272.....                                        | 27 |
| Tableau VI.2 : Valeurs limites du dévers en pleine courbe selon référentiel technique IN0272 .....                                    | 28 |
| Tableau VI.3 : Valeurs limites de l'insuffisance de dévers selon référentiel technique IN0272.....                                    | 28 |
| Tableau VI.4 : Valeurs limites de l'excès de dévers selon référentiel technique IN0272 .....                                          | 29 |
| Tableau VI.5 : Valeurs limites de variation de dévers par rapport aux longueurs selon référentiel technique IN0272 .....              | 30 |
| Tableau VI.6: Valeurs limites de variation de dévers par rapport aux temps selon référentiel technique IN0272 .....                   | 30 |
| Tableau VI.7 : récapitulatif des paramètres géométriques du tracé en plan (SNTF).....                                                 | 30 |
| Tableau VI.8 : récapitulatif des paramètres de tracé .....                                                                            | 31 |
| Tableau VII.1 : Coordonnées de la station hydroclimatique de Ghardaïa (source : ANRH, ONM) ....                                       | 41 |
| Tableau VII.3 : précipitations probables.....                                                                                         | 42 |
| Tableau VII.4 : valeurs du paramètre « a » selon les fréquences au niveau de la station de Ghardaïa (Source ANRH). .....              | 43 |
| Tableau VII.5 : valeurs du paramètre « a » selon les fréquences (Source ONM).....                                                     | 44 |
| .....                                                                                                                                 | 44 |
| Tableau VII.6 : valeurs du paramètre « b » selon la station. ....                                                                     | 44 |
| Tableau VII.7 : Valeur des intensités en mm/h pour les différentes périodes de retour au niveau de Ghardaïa.....                      | 44 |
| Tableau VII.8 : Valeur des intensités en mm/h pour les différentes périodes de retour au niveau D'El Ménée .....                      | 44 |
| Tableau VII.9 Températures moyenne mensuelles au niveau des stations de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménée (2002-2024) .....          | 45 |
| Tableau VII.10 Humidité moyenne mensuelles au niveau des stations de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménée (2008-2024) .....             | 46 |
| Tableau VII.11 : Vitesses moyennes mensuelles des vents au niveau des stations de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménée (2008-2024)..... | 47 |
| Tableau VII.12 : Les caractéristiques des paramètres des bassins versants des oueds traversant la nouvelle ligne .....                | 50 |
| Ghardaïa – El Ménée (du PK 27+075 au PK 38+969) .....                                                                                 | 50 |
| Tableau VII.13 Valeur de C1 .....                                                                                                     | 53 |
| Tableau VII.14 : Valeur de C2 .....                                                                                                   | 53 |
| Tableau VII.15 : Valeur de C3 .....                                                                                                   | 54 |
| Tableau VII.16 : Résultats des valeurs des débits calculés pour la crue centennale.....                                               | 56 |
| Pour la ligne ferroviaire Ghardaïa – El Ménée, entre le PK 27+075 et le PK 38+969.....                                                | 56 |
| Tableau VII.17 Résultats du dimensionnement .....                                                                                     | 62 |
| Tableau VII.18 : calcul de débit pour remblai et déblai .....                                                                         | 65 |
| Tableau VIII.1 : Interprétation des résultats des essais de reconnaissance superficielle (puits de reconnaissance).....               | 74 |
| Tableau VIII.2 : Interprétation des résultats des essais de reconnaissance approfondie .....                                          | 74 |
| (Sondages carotté et sondages pressiométriques) .....                                                                                 | 74 |
| Tableau VIII.3: résultats de l'essai RQD.....                                                                                         | 75 |
| Tableau VIII.4: résultats de l'essai SPT .....                                                                                        | 76 |
| Tableau VIII.5 : Résultats des essais de pénétromètre dynamique.....                                                                  | 77 |
| Tableau VIII.6 : Les caractéristiques mécaniques mesurée dans les forages .....                                                       | 77 |
| Tableau : Résultats des Essais Pressiométriques .....                                                                                 | 77 |
| Tableau VIII.7 : Classification des sols selon le rapport E/PL et état de consolidation .....                                         | 78 |

|                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau VIII.8 : L'analyse granulométrique d'échantillons testés.....                                                                           | 79  |
| Tableau VIII.9 : Classification des sols selon l'abaque de Casagrande à partir des couples limite de liquidité – indice de plasticité .....     | 80  |
| Tableau VIII.10 : Valeurs de la teneur en eau, densité sèche des échantillons .....                                                             | 80  |
| Tableau VIII.11 : résultats des essais de Proctor et essais VBS .....                                                                           | 81  |
| Tableau VIII.12 : Caractéristiques de résistance au cisaillement rectiligne consolidé drainé (CD).....                                          | 81  |
| Tableau VIII.13 : Caractéristiques Œdométriques.....                                                                                            | 81  |
| Tableau VIII.14 : Résultats des analyses chimiques sommaires du sol.....                                                                        | 82  |
| Tableau VIII.15 : Récapitulatif des résultats des essais au laboratoire à partir des sondages .....                                             | 83  |
| Tableau VIII.16 : Récapitulatif des résultats des essais au laboratoire à partir des puits de reconnaissance avec classification des sols ..... | 83  |
| Tableau VIII.17: Les zones de remblais tout au long du tracé .....                                                                              | 85  |
| Tableau VIII.18 : Résultats de la vérification de poinçonnement .....                                                                           | 86  |
| Tableau VIII.19 : Les zones de déblais tout au long du tracé.....                                                                               | 89  |
| Tableau VIII.20 : classification des sols selon UIC 719.....                                                                                    | 91  |
| Tableau VIII.21 : détermination de la classe de portance de la plateforme (Fiche UIC 719). .....                                                | 92  |
| Tableau VIII.22 : Épaisseurs des composants de la structure d'assise .....                                                                      | 93  |
| Tableau VIII.23 : Fuseau granulométrique pour ballast (NFP 53-695).....                                                                         | 95  |
| Tableau X.1 : Valeur de marge de glissement .....                                                                                               | 106 |
| Tableau X.2 : Symbole et désignation et description de la longueur utile .....                                                                  | 108 |
| Tableau X.3 : Réseaux de voies et leurs composantes.....                                                                                        | 109 |
| Tableau X.4 : valeurs de référence retenues pour la longueur des quais.....                                                                     | 110 |
| Tableau X.5 : longueur recommandée par la SNTF .....                                                                                            | 111 |
| Tableau X.6 entraxe selon SNTF.....                                                                                                             | 111 |
| Tableau X.7 : Hauteur nominale du bord de quai.....                                                                                             | 111 |
| Tableau XI.1 .: Types de Signaux .....                                                                                                          | 117 |
| Tableau XII.1 : Références légales et réglementaires applicables au projet ferroviaire .....                                                    | 121 |
| Tableau XII.2 : Éléments physiques, écologiques et humains de la zone concernée .....                                                           | 122 |
| Tableau XII.3 : Bénéfices directs et indirects du projet .....                                                                                  | 123 |
| Tableau XII.4 : Impacts négatifs et mesures d'atténuation .....                                                                                 | 123 |
| Tableau XIII.1 : Devis quantitatif et estimatif.....                                                                                            | 126 |

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

# INTRODUCTION GENERALE

Le transport ferroviaire occupe une place stratégique dans le développement économique et territorial des pays grâce à sa capacité à assurer le déplacement des voyageurs et des marchandises dans des conditions optimales de sécurité, de régularité et de performance. En Algérie, les importants programmes d'investissement engagés ces dernières années traduisent la volonté des pouvoirs publics de moderniser et d'étendre le réseau ferroviaire national afin d'améliorer la connectivité entre les différentes régions du pays et de soutenir leur développement socio-économique.

Dans ce contexte s'inscrit le projet de la nouvelle ligne ferroviaire électrifiée reliant Ghardaïa à El Ménéa, dont la maîtrise d'ouvrage est assurée par l'Agence Nationale d'Études et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (ANESRIF). Le présent mémoire porte sur l'étude d'Avant-Projet Détaillé (APD) du tronçon compris entre le PK 27+000 et le PK 39+000, ainsi que sur la conception de la gare de Mansoura. L'objectif est de proposer des solutions techniques adaptées aux contraintes du milieu saharien tout en garantissant la sécurité, la durabilité et l'efficacité de l'exploitation ferroviaire.

Ce travail traite des différentes étapes nécessaires à la conception d'une infrastructure ferroviaire, notamment la synthèse de l'étude APS, l'étude de la superstructure et de la géométrie de la voie, les études hydrologiques et hydrauliques, les investigations géologiques et géotechniques, l'analyse des contraintes existantes, la conception de la gare et des équipements de signalisation, ainsi que l'étude d'impact sur l'environnement et l'estimation du coût du projet.

La réalisation de cette étude s'est appuyée sur plusieurs outils spécialisés, tels qu'AutoCAD, Covadis 17, Google Earth, Global Mapper, HEC-RAS et GEO5, permettant d'effectuer les calculs, les vérifications et la production des documents techniques avec précision. Au-delà de son apport scientifique et technique, ce mémoire nous a permis de mettre en pratique les connaissances acquises au cours de notre formation et de développer des compétences essentielles pour notre future carrière dans le domaine de l'ingénierie ferroviaire.

# CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE CHEMIN DE FER

## I.1. Introduction

Le chemin de fer constitue l'un des modes de transport terrestre les plus performants pour le déplacement des voyageurs et des marchandises. Il repose sur un système guidé par rail, permettant d'assurer une circulation régulière, sûre et efficace sur de longues distances. Grâce à sa capacité de transport élevée, à sa fiabilité d'exploitation et à sa consommation énergétique relativement réduite, le rail occupe une place importante dans les réseaux de transport modernes.

## I.2. Définition d'une infrastructure ferroviaire

Une infrastructure ferroviaire regroupe l'ensemble des éléments nécessaires à la circulation des trains. Les documents techniques de l'UIC distinguent notamment la couche de terrain, la voie et la plateforme, les ouvrages d'art, ainsi que les équipements de sécurité, de signalisation et d'électrification lorsque cela est requis. Cette organisation montre que la voie ferrée ne se limite pas aux rails visibles, mais correspond à un système complet et interdépendant.

➤ L'infrastructure comprend donc plusieurs composantes principales :

- Les terrassements et la plateforme.
- La superstructure de voie.
- Les ouvrages hydrauliques et de rétablissement.
- Les ouvrages d'art.
- Les installations de sécurité et d'exploitation.

## I.3. Composition d'une voie ferrée

La voie ferrée est généralement constituée de la superstructure et de l'infrastructure. La superstructure comprend les rails, les traverses, les systèmes d'attache et le ballast, tandis que l'infrastructure regroupe le sol support, les couches de forme et les ouvrages de génie civil associés. L'ensemble doit assurer la continuité géométrique de la voie, la répartition des charges et la stabilité sous l'effet du passage des trains.

➤ Chaque élément a une fonction précise :

- **Les rails** guident le roulement et transmettent les efforts longitudinaux et verticaux ;
- **Les traverses** maintiennent l'écartement et répartissent les charges ;
- **Le ballast** assure l'appui, le drainage, la stabilité et l'atténuation de la charge dynamique et des vibrations.
- **La plateforme** constitue le support mécanique de l'ensemble.

## I.4. Conclusion

Ce chapitre a présenté les principes essentiels du chemin de fer et les définitions techniques. Il met en lumière la complexité d'une infrastructure ferroviaire, où terrassements, superstructure et équipements forment un système cohérent assurant sécurité et performance. Ces bases théoriques préparent l'analyse des aspects spécifiques du projet, abordés dans les chapitres suivants.

## **CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET**

## CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET

### II.1. Introduction

Ce chapitre présente la localisation géographique du site du projet ainsi que ses caractéristiques naturelles : la géologie, la géomorphologie, le climat et ses précipitations. Il vise à fournir aussi une base technique pour intégrer les contraintes géohydrologiques et les impacts environnementaux.

### II.2. Localisation géographique

Le projet de ligne ferroviaire Ghardaïa – El Ménée s'étend sur un linéaire d'environ 230 km et traverse deux wilayas principales : Ghardaïa et El Ménée. Il dessert plusieurs communes, notamment Metlili, Seb Seb, Mansoura, Hassi El F'hal, El Ménée et Hassi El Gara. Le tracé est limité au nord par la wilaya de Laghouat, à l'est par Ouargla, à l'ouest par El Bayadh et Timimoune, et au sud par Ain Salah. Cette position géographique inscrit le projet dans le contexte du Sahara septentrional.

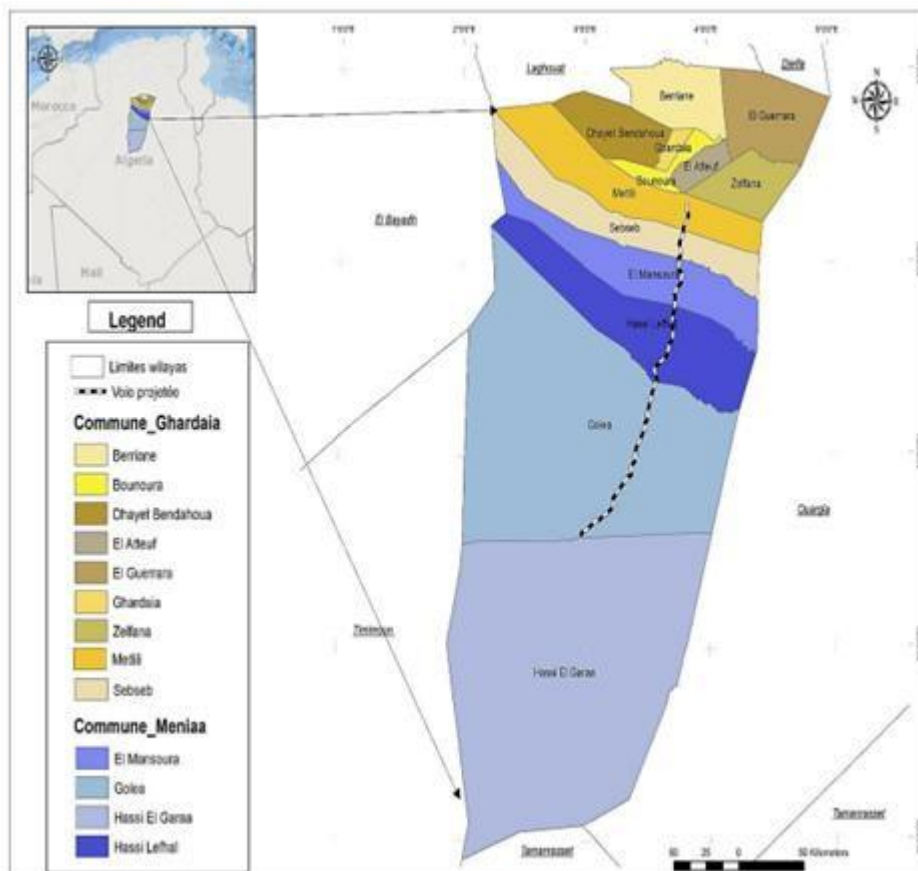
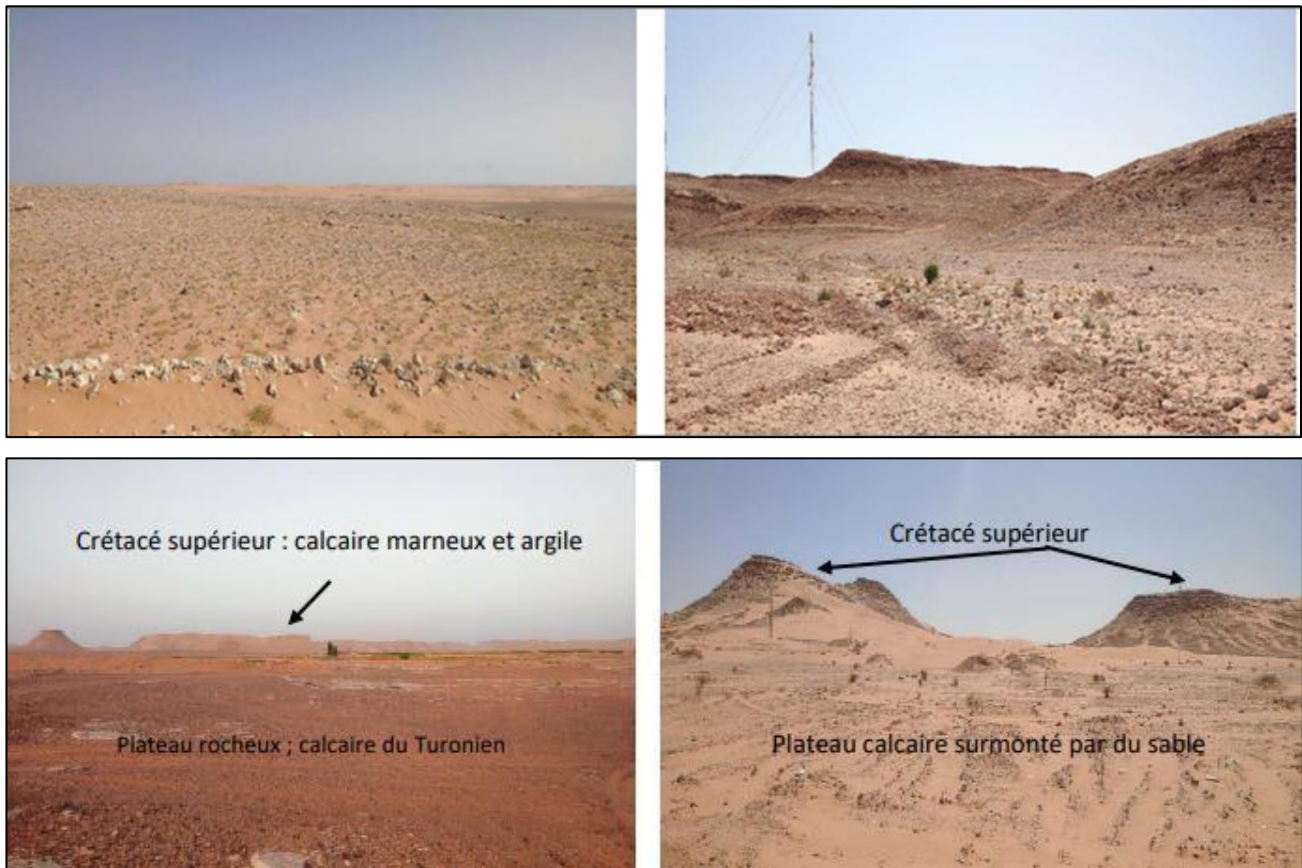


Figure II.1 : Localisation géographique du tracé Ghardaïa – El Ménée

### II.3. Géologie

La zone d'étude appartient aux bordures occidentales du bassin sédimentaire du Bas Sahara. Les formations dominantes sont d'âge Crétacé supérieur, constituées principalement de calcaires

turonien dolomitiques formant un plateau subhorizontal connu sous le nom de dorsale du M'Zab. Ce substratum est entaillé par des vallées irrégulières remplies de dépôts quaternaires. On observe également des formations marneuses et argileuses ainsi que des niveaux gypseux et anhydritiques, notamment dans les horizons sénoniens et cénomaniens-vraconien.



**Figure II.2 : Vues géologiques de la zone d'étude**

## **II.4. Géomorphologie**

La zone d'étude traverse deux unités géomorphologiques principales : le plateau rocheux de la Chebka du M'Zab et la dépression alluviale d'El Goléa.

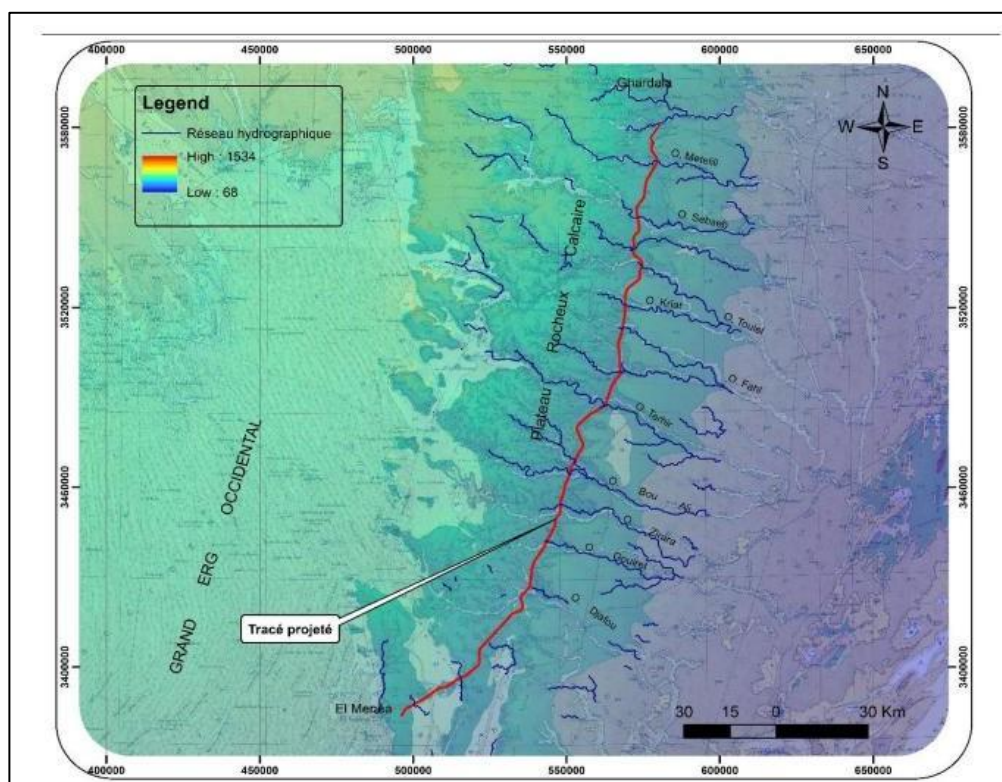
### **II.4.1. Chebka du M'Zab (Pk 00+000 au Pk 203+000)**

Le tracé s'étend de Metlili vers El Goléa en traversant un plateau crétacé fortement disséqué par un réseau d'oueds (Mettlili, SebSeb, Kriar, El Abiod, etc.). Le relief est marqué par des vallées irrégulières, globalement orientées vers l'Est. Le substratum est dominé par des calcaires massifs turoniens, avec des buttes témoins du Sénonien composées de calcaires marneux et d'argiles, incluant des intercalations de gypses et d'anhydrites.

### **II.4.2. Transition vers El Goléa (Pk 203+000 au Pk 232+800)**

Cette zone correspond au passage vers la dépression d'El Goléa, développée sur un ancien niveau alluvial creusé dans un plateau cénomaniens. Les formations sont dominées par des argiles

(vertes, grises, noirâtres), parfois plastiques, avec des intercalations calcaires, de gypses et d'anhydrite. La base est caractérisée par des argiles bariolées attribuées au Vraconien.



**Figure II.3 : Différents ensembles morphologiques de zone d'étude superposés  
Sur la carte géologique d'Algérie 1/500 000**

## II.5. Climat

Le climat de la région est de type saharien aride, marqué par une très faible pluviométrie et de fortes amplitudes thermiques. Les précipitations annuelles varient entre environ 45 mm à El Ménéa et 70 mm à Ghardaïa. La répartition mensuelle montre un maximum relatif en automne et un minimum en été. Les températures sont élevées, avec des maxima pouvant atteindre 40 à 41°C en été et des minima autour de 10 à 14°C en hiver. L'humidité relative reste globalement faible, souvent inférieure à 50 %, sauf en hiver.

Les vents sont fréquents et jouent un rôle important dans les phénomènes d'ensablement, avec des directions dominantes variables selon les stations météorologiques étudiées.

## II.6. Précipitations

Les données de précipitations de la région d'étude ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (A.N.R.H). Il s'agit d'observations journalières, à partir desquelles ont été reconstituées les valeurs de pluies mensuelles et annuelles.

### II.6.1. Précipitations annuelles

D'après la carte représentée ci-dessous, on remarque que la valeur des précipitations entre Ghardaïa et El Ménéa varie entre 70 mm (au niveau de Ghardaïa) et 45 mm (au niveau d'El Ménéa).

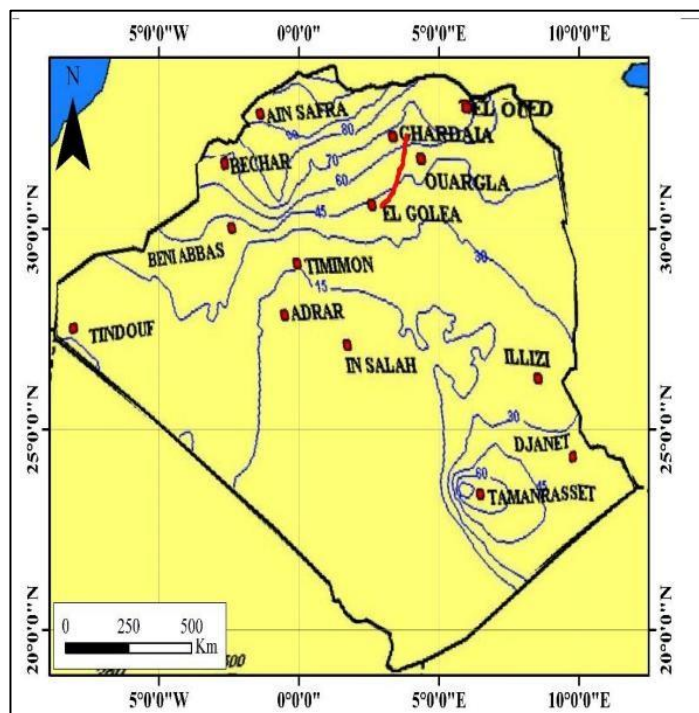


Figure II.4 : Carte des précipitations annuelles de la zone d'étude

### II.6.2. Précipitations mensuelles

Selon le tableau II.1 et la figure II.5, on observe que le mois de septembre est le plus pluvieux avec une moyenne de 8,3 mm, tandis que le mois de février est le plus sec avec une moyenne de 2,2 mm, au niveau de la station de Ghardaïa. Au niveau de la station d'El Ménéa, la moyenne des précipitations mensuelles varie entre 0,2 mm, enregistrée au mois d'août, et 7,7 mm, enregistrée au mois d'octobre.

Tableau II.1 : Précipitations moyennes mensuelles aux stations de Ghardaïa et d'El Ménéa

| Station              | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jun | Jul | Aoû | Sep | Oct | Nov | Déc |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Ghardaïa (2010-2020) | 2.8 | 2.2 | 6.9 | 5.1 | 4.4 | 4.2 | 2.8 | 6.2 | 8.3 | 4.3 | 3.6 | 2.7 |
| El Ménéa (2002-2022) | 6.3 | 1.9 | 7.6 | 2.8 | 4.1 | 0.3 | 1   | 0.2 | 3.6 | 7.7 | 4.9 | 4.5 |

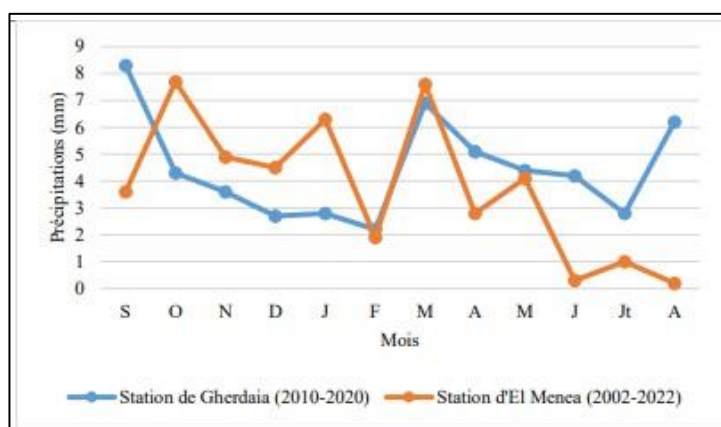


Figure II.5 : Graphe des précipitations annuelles

## **CHAPITRE III : SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE APS**

## CHAPITRE III : SYNTHESE DE L'ETUDE APS

### III.1. Introduction

Ce chapitre propose une synthèse de l'étude d'Avant-Projet Sommaire (APS) réalisée dans le but d'identifier la variante de tracé la plus adaptée aux contraintes techniques, environnementales et économiques du projet. La solution retenue à l'issue de cette phase d'évaluation multicritère servira de base pour l'Avant-Projet Détaillé (APD).

### III.2. Présentation du tracé

Le tracé étudié s'inscrit dans le projet de la nouvelle ligne ferroviaire reliant Ghardaïa à El Meniaa. Il débute au PK 27+000 au niveau de Sebseb, traversant un environnement saharien caractérisé par une dynamique éolienne et des contraintes topographiques spécifiques, et s'oriente vers le sud sur un linéaire d'environ 12 km pour aboutir au PK 39+000 près du village de Mansoura.

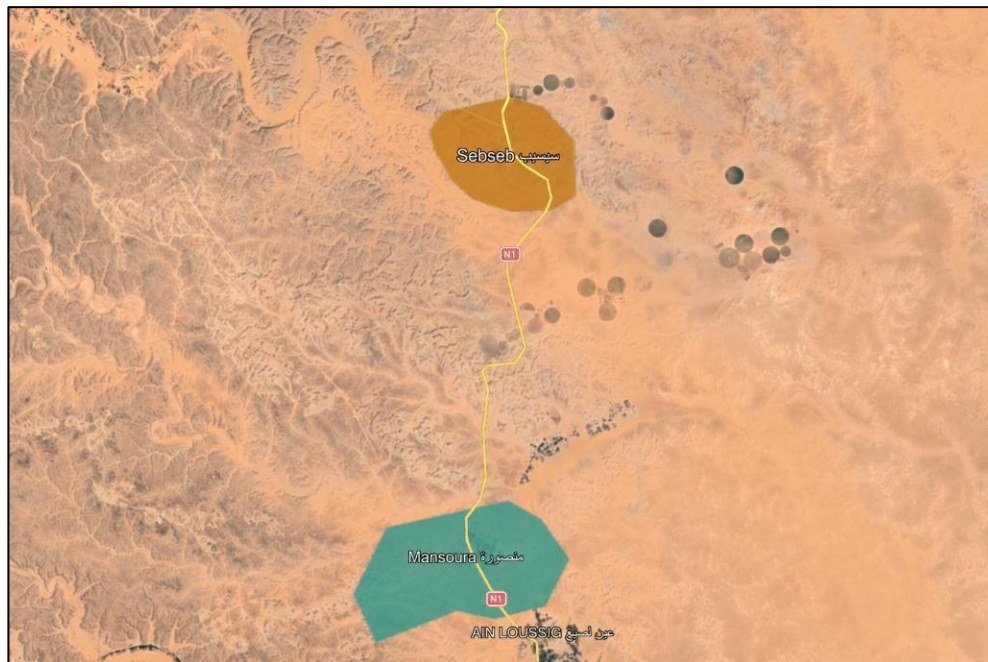


Figure III.1 : Situation générale du tracé étudié

### III.3. Résumé de l'étude APS

Lors de l'Avant-Projet Sommaire (APS), deux variantes de tracé ont été initialement développées et étudiées. Ces deux options ont fait l'objet d'une analyse comparative approfondie, basée principalement sur des critères techniques et économiques. À l'issue de cette évaluation, une seule variante a été retenue comme étant la plus optimale pour le projet, tandis que la seconde a été écartée en raison de contraintes liées à l'optimisation des coûts et de la réalisation.

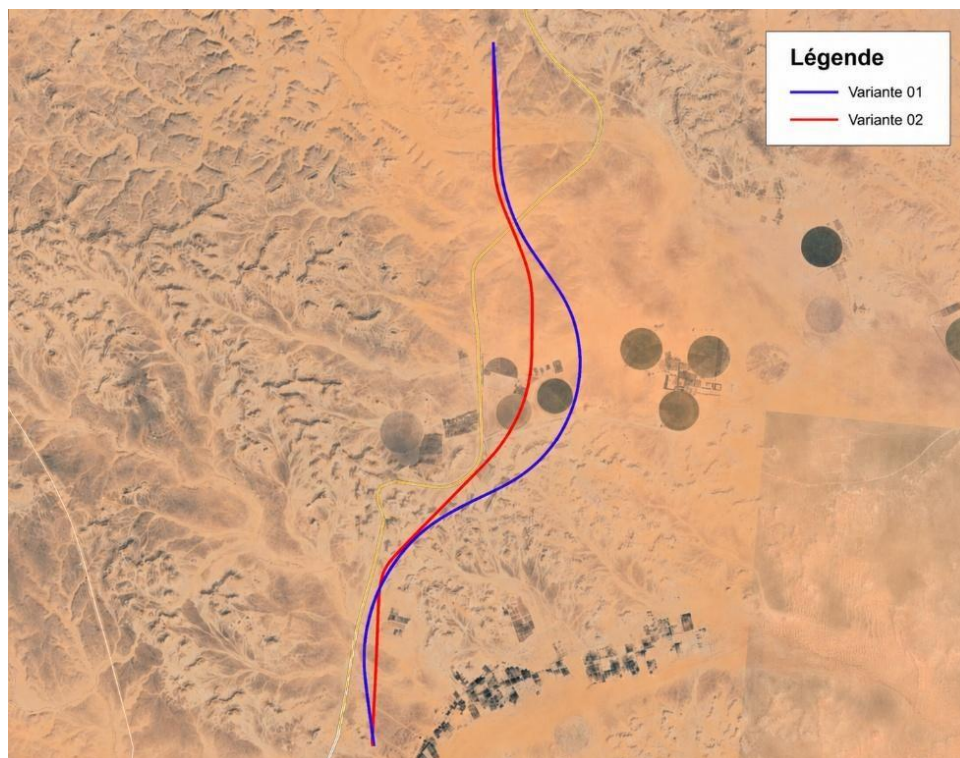


Figure III.2 : Tracés étudiés (Variante 01 et Variante 02)

### III.4. Analyse comparative des variantes

Le tableau ci-dessous présente l'évaluation multicritère des deux options étudiées, permettant de justifier de manière objective le choix final.

Tableau III.1 : Avantages et inconvénients des deux variantes

| Variantes   | Avantages                                                                                                                   | Inconvénients                                                                                                                                                                            |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Variante 01 | Contournement de tous les exploitations agricoles de la zone.<br>Contournement de toutes les lignes électriques.            | Tracé en plan sinueux imposant d'importantes restrictions sur la vitesse d'exploitation.<br>Tracé globalement plus long.                                                                 |
| Variante 02 | Trajet plus direct.<br>Contournement des reliefs rocheux.<br>Parallélisme avec la RN1 facilitant la logistique du chantier. | Traversée directe d'un champ sous pivot.<br>Traversée de plusieurs parcelles agricoles.<br>Perturbation locale de l'activité agricole.<br>Traversée de plusieurs lignes Moyenne Tension. |

**Résultat :** La **Variante 01** a été retenue. Malgré un linéaire plus important et une géométrie plus sinueuse, elle présente l'avantage décisif de contourner intégralement les exploitations agricoles et les lignes électriques. Ce choix stratégique permet de s'affranchir des procédures d'expropriation, d'éviter les conflits fonciers avec les riverains et de supprimer les délais liés au déplacement des réseaux existants.

### III.5. Objectifs globaux du tracé retenu

La validation définitive de cette trajectoire marque l'achèvement de la phase APS et permet de fixer le couloir d'aménagement. Les objectifs de ce tracé validé s'inscrivent désormais dans la vision globale du projet :

- **Servir de base pour les études détaillées (APD) :** La validation de ce tracé permet de lancer les campagnes géotechniques, topographiques et hydrologiques définitives sur un périmètre restreint et maîtrisé.
- **Connectivité et intégration nationale :** Assurer une liaison ferroviaire performante, fluide et sécurisée (fret et voyageurs) dans le cadre du grand projet de la ligne Ghardaïa – El Meniaa.
- **Dimensionnement des ouvrages spécifiques :** Fournir les données géométriques exactes nécessaires pour concevoir les infrastructures de franchissement.

**CHAPITRE IV :  
LA SUPERSTRUCTURE  
FERROVIAIRE**

## CHAPITRE IV : LA SUPERSTRUCTURE FERROVIAIRE

### IV.1. Introduction

La voie ferrée est constituée d'un ensemble d'éléments aux fonctions et propriétés physiques et mécaniques distinctes, formant la superstructure ferroviaire. Ses constituants principaux comprennent le rail, la traverse, le système d'attaches et le lit de ballast.

Dans le cadre de l'exploitation du réseau Ghardaïa-Meniaa, il est nécessaire que certaines voies se croisent ou s'interconnectent. Pour répondre à ces exigences, on déploie des appareils de voie regroupant branchements et traversées, permettant la communication optimale entre sections.

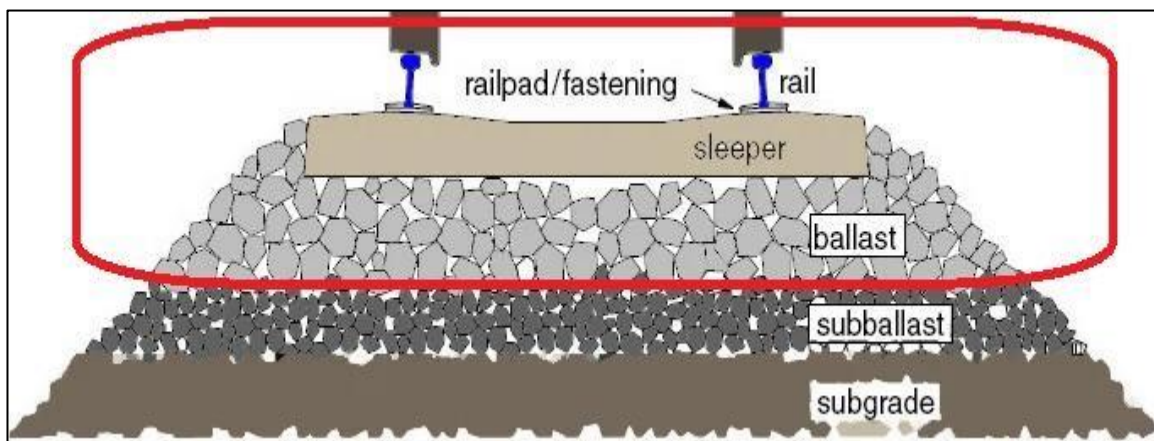


Figure IV.1 : les constituants de la superstructure ferroviaire

### IV.2. Fonctions mécaniques et géométriques

Les rôles essentiels de l'armement s'articulent autour de quatre axes :

- **Guidage et roulement** : Les rails assurent le contact roue-rail, limitant les frottements latéraux et compensant les forces centrifuges via une inclinaison transversale contrôlée.
- **Support et répartition des charges** : Les traverses distribuent les efforts verticaux et longitudinaux vers le ballast, tandis que les fixations absorbent chocs et vibrations pour préserver la plate-forme.
- **Stabilité et continuité** : L'assemblage des rails (joints ou soudure) gère les dilatations thermiques et longitudinales, évitant les faiblesses aux discontinuités.
- **Adaptabilité aux changements de direction** : Les appareils de voie permettent les bifurcations et franchissements, en respectant des géométries définies pour la sécurité et le débit.

## IV.3. Les éléments de la superstructure Le Rail :

### IV.3.1. Le rail

#### IV.3.1.1. Définition

Le rail est l'élément principal de la superstructure ferroviaire, assurant l'interface mécanique entre le matériel roulant et la voie. Il reçoit les charges transmises par les roues, guide le déplacement du train et garantit la continuité du roulement dans des conditions satisfaisantes de sécurité, de stabilité et de confort. Ses performances dépendent principalement de son profil, de sa nuance d'acier et de sa masse linéique, qui influencent directement sa résistance à l'usure, aux efforts dynamiques et aux sollicitations répétées.

En outre, le rail participe à la fermeture du circuit de traction électrique dans les lignes électrifiées, comme c'est le cas dans notre étude, et contribue également au bon fonctionnement de certains systèmes de signalisation. En pratique, il est fabriqué sous forme de barres de longueurs normalisées, généralement de 18 m et 36 m, avant d'être éventuellement assemblé en longs rails soudés.

#### IV.3.1.2. Caractéristiques mécaniques du rail

- Le profil : Le profil de la section du Rail est conçu pour avoir une bonne répartition des Contraintes  
Dans le rail provenant de la roue.
- Conception métallurgique du rail : Un bon compromis critique concernant les 2 propriétés : dureté et ductilité pour avoir une sécurité optimale et une bonne durabilité (résistance à l'usure, durée de vie plus longue et une maintenance réduite)

**Tableau IV.1 : propriétés métallurgiques du rail**

| Propriété | Rôle principal pour le rail                                                                | Risque en cas de manque                                                          |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Dureté    | <b>Résister à l'usure</b> et à l'écrasement de la tête du rail sous la charge des essieux. | <b>Usure prématurée</b> , déformation plastique du profil de roulement (aplati). |
| Ductilité | <b>Absorber l'énergie</b> et permettre de légères déformations sans rupture brutale.       | <b>Rupture fragile</b> catastrophique, surtout par temps froid ou sous chocs     |

#### IV.3.1.3. Types de rails

Les rails se distinguent principalement par la forme de leur section et par leur domaine d'utilisation. Chaque profil répond à des exigences particulières liées à la circulation, à la transmission des charges et aux conditions d'exploitation.

#### ❖ Rail Vignole

Le rail Vignole est le type de rail le plus utilisé dans les infrastructures ferroviaires modernes. Il se caractérise par un champignon bien défini, une âme mince et un patin large, ce qui lui assure une bonne stabilité et une transmission efficace des charges. Il est principalement employé sur les lignes principales, les lignes à grande vitesse et les lignes de fret.

### ❖ Rail Broca

Le rail Broca, appelé aussi rail à gorge ou à ornière, est surtout utilisé en milieu urbain. Il est intégré dans la chaussée et comporte une gorge longitudinale permettant le passage du boudin de la roue. Ce type de rail est particulièrement adapté aux tramways et à certaines lignes de métro léger.

### ❖ Rail à double champignon symétrique

Le rail à double champignon symétrique possède un profil identique sur sa partie supérieure et inférieure. Il a été utilisé avant la généralisation du rail Vignole, avec l'idée de pouvoir retourner le rail après usure de la partie supérieure. Cependant, sa stabilité plus faible et ses dimensions plus réduites ont limité son emploi.

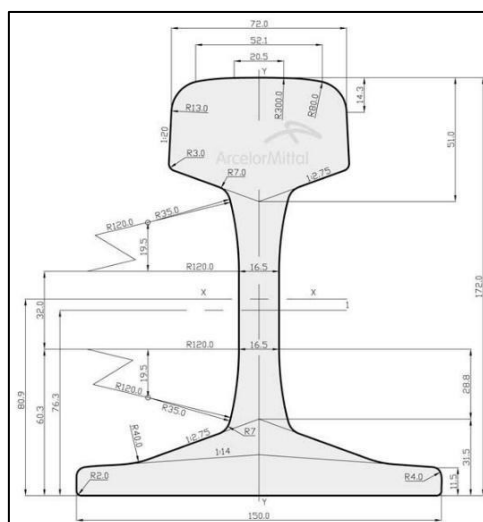
### ❖ Rail à double champignon asymétrique

Le rail à double champignon asymétrique présente un champignon dont les deux faces ne sont pas identiques. Il est destiné à des usages particuliers, notamment lorsque la répartition des charges impose des conditions spécifiques. Son utilisation reste plus limitée et dépend fortement de l'application considérée

#### IV.3.1.4. Choix du profil

En pratique, le choix du type de rail dépend principalement de trois critères : la nature du trafic, les contraintes d'exploitation et l'environnement d'intégration de la voie. Ainsi, le rail Vignole domine les lignes ferroviaires classiques, tandis que le rail Broca est privilégié dans les réseaux urbains.

Dans notre projet le rail utilisé sera du **UIC60-E1**. La fabrication et la fourniture des rails seront conformes à la norme EN 13674-1 (Rails vignol de masse  $\geq 46$  kg/m).



**Figure IV.2: Caractéristiques géométriques et mécaniques du rail UIC60-E1**

**Tableau IV.2 : Caractéristiques géométriques et mécaniques du rail UIC60-E1**

| Paramètre                        | Valeur                 |
|----------------------------------|------------------------|
| Poids linéique                   | 60,21 kg/m             |
| Section transversale             | 76,70 cm <sup>2</sup>  |
| Hauteur totale                   | 172 mm                 |
| Largeur du patin                 | 150 mm                 |
| Largeur du champignon            | 72 mm                  |
| Moment d'inertie selon l'axe X-X | 3038,3 cm <sup>4</sup> |
| Moment d'inertie selon l'axe Y-Y | 512,3 cm <sup>4</sup>  |

#### IV.3.1.5. Types d'assemblage des rails

L'assemblage des rails constitue une opération fondamentale dans la constitution de la voie ferrée, puisqu'il assure la continuité mécanique et géométrique du chemin de roulement. En pratique, deux principaux modes d'assemblage sont utilisés : l'éclissage et la soudure. Le choix entre ces procédés dépend des conditions d'exploitation, du niveau de confort recherché, des contraintes de maintenance et des performances attendues de la voie.

##### **IV.3.1.5.1. L'éclissage**

L'éclissage consiste à raccorder deux rails consécutifs au moyen d'éclisses métalliques disposées de part et d'autre de l'âme du rail et fixées par boulonnage. Ce procédé permet d'assurer la continuité de l'alignement et du nivellement tout en maintenant les extrémités des rails dans une position compatible avec les efforts transmis par le trafic ferroviaire. Il doit également limiter les déplacements verticaux relatifs entre les abouts de rails, tout en laissant une possibilité de mouvement liée à la dilatation thermique. Bien que ce système soit simple et historiquement très répandu, il présente l'inconvénient de créer des discontinuités au niveau des joints, ce qui peut générer des chocs, de l'usure et des besoins d'entretien plus importants.



**Figure IV.3 : assemblage par éclissage**

#### IV.3.1.5.2. La soudure

La soudure constitue une technique d'assemblage visant à supprimer les joints classiques entre rails afin d'assurer une meilleure continuité mécanique et géométrique de la voie.

Parmi les procédés les plus utilisés figure le **soudage aluminothermique**, qui repose sur une réaction chimique produisant un métal en fusion destiné à réunir les bouts de rails. Ce procédé fait intervenir essentiellement un moule, une charge aluminothermique avec son creuset, ainsi qu'un apport de métal liquide qui, après refroidissement, forme une soudure homogène. Il est particulièrement apprécié pour les opérations de maintenance et pour la réduction des zones de faiblesse associées aux joints éclissés.

Le second procédé est le **soudage bout à bout par étincelage**, couramment utilisé pour l'assemblage des rails en aciérie avant leur expédition, et parfois également sur site. Son principe consiste à chauffer fortement les extrémités des rails par le passage d'un courant électrique de très forte intensité, puis à les assembler par forgeage lorsqu'elles atteignent la température requise. Cette méthode nécessite un équipement puissant et coûteux, mais elle permet d'obtenir des assemblages de grande qualité, particulièrement adaptés à la réalisation de **longs rails soudés**.



Figure IV.4 : soudage aluminothermique



Figure IV.5 : soudage par étincelage

#### ▪ Remarque :

Aujourd'hui, l'assemblage par soudure remplace presque systématiquement l'utilisation des éclisses. Cette technique de voie en continu s'applique désormais même aux Appareils de Voie (ADV), qui sont directement soudés. Par conséquent, l'usage des éclisses est limité à deux cas :

- Fixation temporaire de chantier (en attente de soudure),
- Sur certaines voies de service en gare où le trafic est très faible.

#### IV.3.1.6. Long Rail Soudé (LRS)

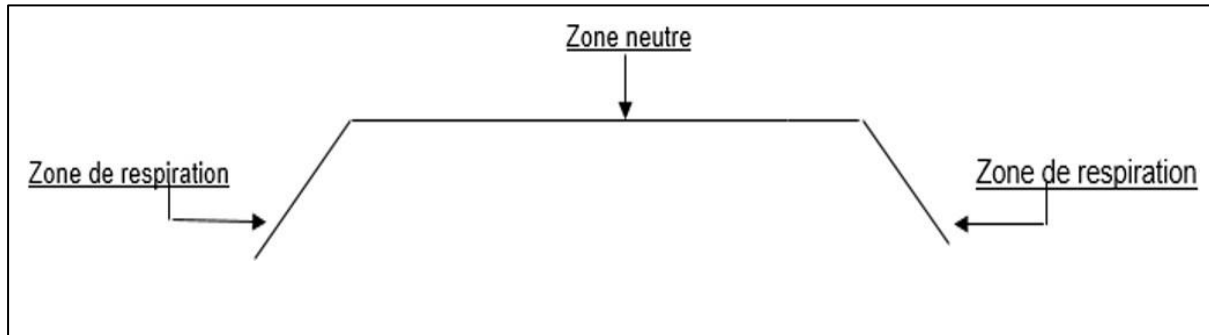
##### IV.3.1.6.1. Définition et principe de fonctionnement :

Le long rail soudé, désigné aussi dans la littérature technique internationale comme rail soudé continu, correspond à une file de rails assemblés par soudage sur de grandes longueurs afin de supprimer les joints.

Ce mode d'assemblage permet d'obtenir une continuité longitudinale de la voie et modifie

profondément son comportement mécanique sous l'action des charges roulantes et des variations de température.

Dans sa partie centrale, le LRS présente une zone dite neutre où les déplacements longitudinaux deviennent très faibles, alors que les mouvements de dilatation et de contraction se manifestent principalement dans les zones d'extrémité appelées zones de respiration.



**Figure IV.6 : représentation graphique LRS**

Le fonctionnement du LRS repose sur l'opposition entre la tendance naturelle du rail en acier à se dilater ou à se contracter et la résistance longitudinale offerte par les attaches, les traverses et le ballast.

Ainsi, la dilatation du rail n'est plus libre comme dans une voie à joints, mais partiellement empêchée par la structure de la voie, ce qui engendre des efforts internes de compression ou de traction selon la température atteinte par le rail.

Le LRS doit donc être considéré comme un système sous contrainte, dont la stabilité dépend directement de la qualité de conception et de la cohésion de l'ensemble de la superstructure ferroviaire.

▪ **Remarque :**

La majorité des soudures du LRS est par étincelage, ce qui favorise une continuité métallurgique parfaite et une meilleure durabilité du rail.

#### **IV.3.1.6.2. Avantages des LRS :**

- Réduction des chocs et des vibrations : L'absence de joints limite les impacts répétés au passage des essieux, ce qui réduit les vibrations transmises à la superstructure et au matériel roulant.
- Allongement de la durée de vie de la voie : La baisse des chocs et des dégradations localisées contribue à prolonger le cycle de vie des composants de la superstructure ferroviaire.
- Réduction du bruit ferroviaire : La disparition de l'impact roue-joint contribue à limiter le bruit caractéristique des voies éclissées et à améliorer les conditions acoustiques le long de la ligne.
- Réduction des besoins de maintenance : Les joints constituent des points faibles coûteux à surveiller et à entretenir, alors que leur suppression permet de diminuer les interventions répétitives de maintenance courante.

#### IV.3.1.6.3. Dilatation thermique des LRS :

Le rail est un matériau métallique (acier) soumis au phénomène de dilatation thermique. Toute variation de température entraîne une variation de longueur donnée par la relation :

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$

Avec :

- $\Delta L$ : variation de longueur (m)
- $\alpha$ : coefficient de dilatation thermique de l'acier ( $\approx 11.5 \times 10^{-6} / ^\circ C$ )
- $L$ : longueur du rail (m)
- $\Delta T$ : variation de température ( $^\circ C$ )

Dans une voie en Longs Rails Soudés (LRS), la dilatation thermique du rail n'est pas libre sur toute sa longueur. En effet, les frottements entre les traverses et le ballast, ainsi que l'efficacité des attaches, s'opposent aux déplacements longitudinaux du rail.

Ainsi, dans la partie centrale du LRS, les rails sont pratiquement bloqués. Les variations de température n'entraînent donc pas de déplacement, mais génèrent des contraintes internes dues à l'empêchement de dilatation. Cette zone est caractérisée par un état d'équilibre entre les efforts thermiques et les forces de résistance du système voie (ballast + attaches).

Cette contrainte est donnée par la relation :

$$\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

Avec :

- $\sigma$ : contrainte thermique (MPa)
- $E$ : module d'élasticité de l'acier ( $\sim 210\,000$  MPa)
- $\alpha$ : coefficient de dilatation thermique
- $\Delta T$ : variation de température

En revanche, aux extrémités du LRS, où cet équilibre n'est plus assuré (zones dites de respiration), les rails peuvent se déplacer. C'est dans ces zones que la dilatation ou la contraction thermique se manifeste réellement, permettant ainsi la libération progressive des contraintes accumulées dans la partie centrale.

#### IV.3.1.6.4. Recommandations pour la pose et la libération des contraintes des LRS :

Pour être dans une sécurité optimale et une durabilité acceptable du système voie, il est plus que conseillé que :

- La pose des LRS devra être réalisée en général à température neutre (entre 32 et 35 °C pour l'Algérie).
- Les températures ambiantes très élevées ou des travaux mécanisés d'entretien de la voie ou trafic ferroviaire intense pourront modifier ou redistribuer les contraintes internes, d'où une diminution de la température neutre (voie en exploitation). Pour restabiliser la voie, on adoptera des solutions au cas par cas soit :
  - Une homogénéisation des contraintes sans coupe
  - Une libération des contraintes avec coupe pour des renouvellements lourds

- Une libération partielle des contraintes (travaux de mise en conformité de la voie après constatation de défauts ciblés et limités)

### **IV.3.2. Les traverses**

Les traverses sont des éléments disposés perpendiculairement aux rails et partiellement noyés dans le ballast. Elles assurent la stabilité de la voie, maintiennent l'écartement des rails et participent à la transmission des charges vers l'infrastructure.

#### *IV.3.2.1. Espacement des traverses*

L'espacement des traverses, ou travelage, est déterminé de manière à garantir un support efficace des rails et à préserver la géométrie de la voie. Il varie généralement entre 600 et 700 mm d'axe en axe, selon le type de ligne et les charges d'exploitation. Selon les standards de la SNTF, ce travelage correspond en général à environ 1666 à 1667 traverses par kilomètre. Cette répartition contribue à améliorer la stabilité de la voie et la transmission des charges vers le ballast.

#### *IV.3.2.2. Types de traverses*

Les traverses utilisées en voie ferrée peuvent être classées en trois grandes catégories : les traverses en béton, les traverses en bois et les traverses métalliques.

- Les traverses en béton, de type bibloc ou monobloc, sont les plus utilisées sur les lignes principales en raison de leur stabilité, de leur durabilité et de leur faible besoin d'entretien.
- Les traverses en bois sont surtout employées sur les voies secondaires, dans les appareils de voie ou dans les courbes serrées, grâce à leur légèreté et à leur bonne capacité d'absorption des vibrations.
- Les traverses métalliques sont réservées à certains usages spécifiques, notamment dans les tunnels, sur les ponts ou sur des lignes nécessitant des éléments plus légers et résistants.

#### *IV.3.2.3. Choix de la traverse*

Le choix du type de traverse dépend principalement des conditions d'exploitation, des charges appliquées et des exigences de maintenance. Il doit permettre d'assurer à la fois la sécurité, la stabilité et la durabilité de la voie ferrée.

Le type des traverses adoptées est : monobloc en béton armé précontraint avec un travelage 1667 p/km.

Elles seront produites en série et en usines spécialisées. La fabrication des traverses et leur contrôle doivent être conformes au norme (EN 13230 - Part.2 Pre stressed mono-block sleepers" pour les traverses mono-block.)

Les principales dimensions des traverses monoblocs sont :

- Écartement : 1435 mm
- Longueur totale : 2240 mm
- Largeur : 300 mm

- Hauteur : 220 mm
- Masse :  $\geq 300$  kg

### **IV.3.3. Les attaches**

Le système d'attache rail-traverse regroupe l'ensemble des dispositifs assurant la liaison entre le rail et la traverse, tout en garantissant le maintien du rail sous l'effet des charges roulantes et des vibrations. Généralement de type élastique, il contribue à la stabilité de la voie, à la bonne transmission des efforts vers la traverse et à l'amortissement des vibrations. Il comprend en principe une attache élastique, une butée isolante et une semelle en caoutchouc placée sous le rail, qui participe également à l'isolation électrique entre le rail et la traverse. Ces systèmes doivent enfin satisfaire aux exigences des normes européennes **EN 13481** et **EN 13146** relatives aux performances et aux méthodes d'essai des dispositifs de fixation ferroviaire. Les attaches retenues dans notre projet sont les attaches de type **NABLA**.



**Figure IV.7 : les composants d'une attache de type nabla**

### **IV.3.4. Les caténaires**

La caténaire joue un rôle essentiel par fournir l'énergie nécessaire à la traction des trains. Ce système repose principalement sur un fil de contact suspendu au-dessus des rails.

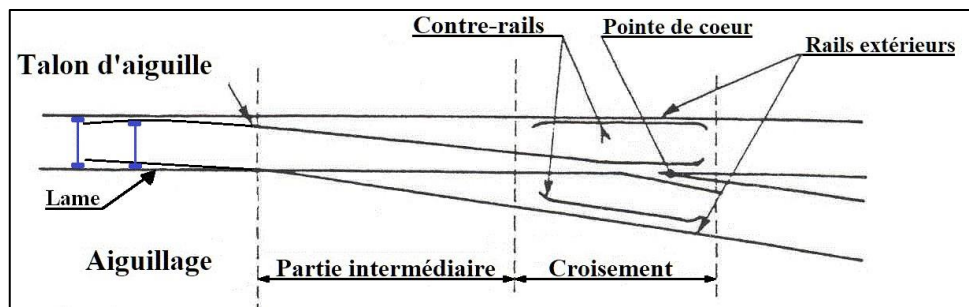
Tout l'enjeu technique est de le maintenir à une hauteur parfaitement stable et sous une tension mécanique constante. Cela permet au pantographe de la locomotive de capter le courant de manière fluide et sans interruption, même lorsque le train roule à grande vitesse. L'ensemble de cette structure est encadré par les normes du secteur (référentiels de la SNTF, norme EN 50119, fiche UIC 799).

#### IV.3.5. Les appareils de voie

Les appareils de voie désignent l'ensemble des dispositifs ferroviaires permettant d'assurer la continuité géométrique et fonctionnelle de l'infrastructure tout en autorisant le passage d'un train d'une voie à une autre, selon les exigences de l'exploitation.

Ils constituent des organes essentiels du guidage ferroviaire et se composent généralement de trois parties principales :

- L'aiguillage, qui oriente le mouvement vers l'itinéraire choisi,
- La partie intermédiaire, qui assure la transition entre les éléments constitutifs,
- La partie centrale ou croisement, où se réalise l'intersection des files de rails.



**Figure IV.8 : partie principale d'appareil de voie**

Selon la configuration recherchée, les appareils de voie comprennent notamment les branchements simples, les traversées, les traversées-jonctions simples (TJS) et les traversées-jonctions doubles (TJD), chacun répondant à des besoins précis en matière de raccordement, de bifurcation et de gestion des circulations ferroviaires.

Pour notre gare, les appareils de voies ADV utilisés sont de type :

- UIC60-500 - 1/12 (tg 0.083)
- UIC60-300 – 1/9 (tg 0.111)

## **CHAPITRE V : COUCHE D'ASSISE**

# CHAPITRE V : COUCHE D'ASSISE

## V.1. Introduction

La structure d'assise constitue un élément fondamental dans la conception et la durabilité des infrastructures ferroviaires. Elle regroupe l'ensemble des couches rapportées qui assurent la transmission des charges de la voie ferrée vers le sol naturel ou les remblais, tout en garantissant une stabilité géométrique et mécanique adéquate.

Elle joue un rôle déterminant dans la répartition des efforts, le drainage des eaux et la limitation des déformations sous l'effet du trafic ferroviaire. Une conception inadéquate peut entraîner des tassements, une dégradation rapide de la voie et une augmentation des coûts de maintenance.

Ce chapitre présente en détail les différentes composantes de la structure d'assise, notamment le ballast, la sous-couche, la couche de forme et les géosynthétiques, ainsi que leurs caractéristiques techniques, leurs rôles fonctionnels et les exigences normatives associées. Une attention particulière est portée à la classification des sols et aux conditions hydrogéologiques, qui influencent directement le dimensionnement de la plate-forme ferroviaire.

## V.2. Structure d'assise

La structure d'assise désigne l'ensemble des éléments rapportés constituant la fondation de la voie ferrée. Elle assure la transition entre la superstructure et le sol support en garantissant une répartition progressive des charges.

Elle est constituée principalement de :

- La couche de ballast
- La sous-couche (sous-ballast et couche de fondation)
- La couche de forme
- Les géosynthétiques (géotextiles ou géomembranes)

L'efficacité de cette structure dépend de la qualité des matériaux utilisés, de leur mise en œuvre ainsi que du respect des exigences de compactage.

## V.3. La couche d'assise

### V.3.1. La couche de ballast

Le ballast est un granulat grossier, généralement constitué de roches dures, placé directement sous les traverses. Il constitue l'élément principal de la stabilité de la voie ferrée.

Son rôle est d'assurer la répartition des charges, de maintenir la géométrie de la voie et de faciliter le drainage des eaux. Il contribue également à l'amortissement des vibrations et permet les opérations de maintenance, notamment le bourrage.

Les caractéristiques techniques du ballast doivent répondre à des exigences strictes :

- Une granulométrie comprise entre **25/50 mm**
- Une teneur en fines inférieure ou égale à **1 %**
- Une résistance à l'usure vérifiée par l'essai **Micro-Deval** ( $MDE \leq 20-25$ )
- Une résistance aux chocs vérifiée par l'essai **Los Angeles** ( $LA \leq 25-30$ )

Ces paramètres garantissent la durabilité du ballast et sa capacité à conserver ses propriétés mécaniques sous trafic.

### **V.3.2. La sous-couche :**

La sous-couche constitue l'ensemble des couches situées entre le ballast et le sol support. Elle est composée de deux parties principales : le sous-ballast et la couche de fondation.

#### **V.3.2.1. La couche de sous-ballast :**

La couche de sous-ballast est la partie supérieure de la sous-couche, en contact direct avec le ballast. Elle est généralement constituée de grave 0/31,5, mise en œuvre avec un compactage à **100 % de l'Optimum Proctor Modifié (OPM)**.

Elle assure une répartition homogène des charges et limite la contamination du ballast par les fines. Elle contribue également à améliorer le drainage et la rigidité globale de la structure. Son épaisseur dépend du type de ligne :

- **0,20 m minimum** pour les lignes à grande vitesse ou groupes UIC 1 et 2
- **0,15 m minimum** pour les lignes des groupes UIC 3 à 9

#### **V.3.2.2. La couche de fondation :**

La couche de fondation constitue la partie inférieure de la sous-couche. Elle peut être réalisée en grave 0/31,5 ou en grave sableuse, également compactée à **100 % OPM**.

Elle joue un rôle important dans la répartition des charges et permet d'assurer une base stable pour la mise en œuvre du sous-ballast. Elle facilite également la circulation des engins de chantier lors des travaux.

Sur les plates-formes de type P1 et P2, son épaisseur minimale est de **0,15 m**, quel que soit le groupe UIC. Elle peut être absente dans le cas des plates-formes P3.

## **V.4. Épaisseur des couches d'assise**

Le dimensionnement de la structure d'assise repose sur des paramètres liés à la portance du sol, au trafic et aux caractéristiques de la voie.

Les épaisseurs minimales de l'assise (ballast + sous-couche) sont définies selon la classe de portance de la plate-forme :

- 0,70 m pour les plates-formes **P1**
- 0,55 m pour les plates-formes **P2**
- 0,45 m pour les plates-formes **P3**

Ces valeurs peuvent être ajustées en fonction de plusieurs paramètres tels que :

- Le groupe UIC de la ligne
- La charge à l'essieu
- La vitesse de circulation
- Le type de traverses
- Les conditions de mise en œuvre

## **V.5. La couche anti-contaminante**

La couche anti-contaminante est généralement constituée de sable propre et peut être associée à un géotextile. Elle est utilisée lorsque le sol support présente une forte teneur en fines. Elle empêche la remontée des particules fines vers le ballast, ce qui permet de préserver ses propriétés drainantes et mécaniques.

## **V.6. La couche de forme**

La couche de forme est située entre la sous-couche et le sol support. Elle a pour objectif d'améliorer la portance de la plate-forme et d'homogénéiser la répartition des charges. Elle contribue également au bon comportement hydraulique de la structure en facilitant le drainage et en limitant la sensibilité à l'eau.

## **V.7. Les géosynthétiques**

Les géosynthétiques regroupent principalement les géotextiles et les géomembranes.

- Le **géotextile** est utilisé comme couche de séparation et de filtration. Il est particulièrement recommandé lorsque la couche de forme contient plus de **12 % de fines**. Il permet également d'éviter l'orniérage lors de la mise en œuvre.
- Les **géomembranes** sont utilisées dans des cas spécifiques, notamment pour la protection contre l'eau ou lors de la réhabilitation de voies existantes. Elles doivent être protégées par une couche granulaire pour éviter leur dégradation.

## V.8. Classification des sols et conditions hydrogéologiques

La classification des sols de la plate-forme est essentielle pour le dimensionnement de la structure d'assise. Elle dépend des caractéristiques géotechniques du sol et des conditions hydrogéologiques.

Les conditions sont considérées favorables lorsque :

- La nappe phréatique est située à plus de **2 m de profondeur**
- La plate-forme n'est pas soumise à des infiltrations d'eau
- Le drainage est correctement assuré

Dans le cas contraire, des mesures de drainage ou de traitement des sols doivent être envisagées.

La classe de portance (P1, P2, P3) est déterminée en fonction de ces paramètres et conditionne directement les épaisseurs de la structure.

## V.9. Conclusion

La structure d'assise constitue un élément clé dans la performance globale d'une infrastructure ferroviaire. Elle assure la stabilité de la voie, la sécurité du trafic et la durabilité de l'ouvrage. Chaque composant, du ballast jusqu'au sol support, joue un rôle spécifique dans la répartition des charges et le drainage des eaux. Le respect des spécifications techniques, des conditions de compactage et des exigences normatives est indispensable pour garantir une infrastructure fiable et pérenne.

# **CHAPITRE VI : ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE**

# CHAPITRE VI : ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE

## VI.1. Introduction

La géométrie de la voie constitue un élément fondamental de l'ingénierie ferroviaire, car elle joue un rôle essentiel dans la sécurité, le confort et l'efficacité de l'exploitation. Elle regroupe les principaux paramètres de conception de la voie, tels que l'écartement, le dévers, les courbes horizontales et verticales, qui influencent directement la stabilité des circulations et la durabilité de l'infrastructure.

## VI.2. Écartement de la voie

### VI.2.1. Définition

C'est la distance mesurée entre les faces intérieures des deux rails. Cet écartement se mesure à la cote de 15 mm entre les bords intérieurs des champignons des rails.

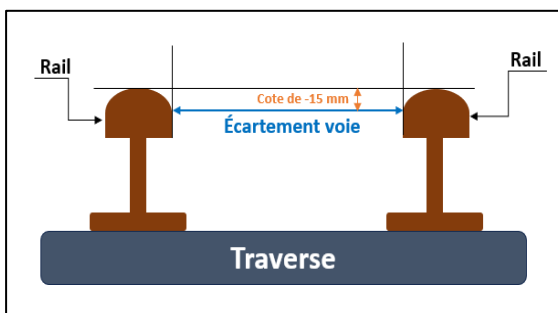


Figure VI.2 : écartement de voie (vue de face)

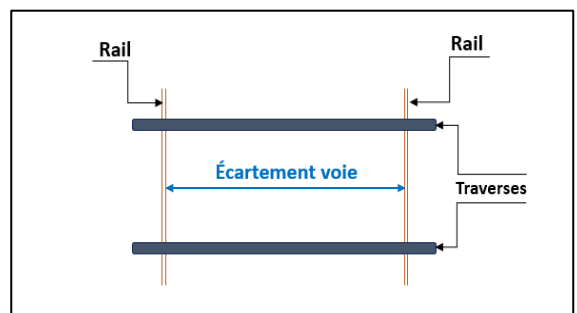


Figure VI.1: écartement de voie (vue de dessus)

### VI.2.2. Différents types d'écartement

#### VI.2.2.1. Écartement large

Des écartements larges à 1520 mm (Russie, ex-URSS), à 1600 (Irlande) ou à 1668 mm (Espagne, Portugal) sont souvent utilisés pour des considérations historiques mais également logistiques/techniques car permettant de transporter des charges lourdes et une meilleure stabilité.

#### VI.2.2.2. Écartement standard

L'écartement standard de 1435 mm est le plus utilisé (Afrique du Nord, Europe, Amérique du Nord).

#### VI.2.2.3. Écartement étroit

Certains pays ont adopté des écartements étroits (pour les chemins de fer secondaires/régionaux/touristiques) : exemple écartement métrique à 1000 mm (Brésil, Afrique de l'ouest).

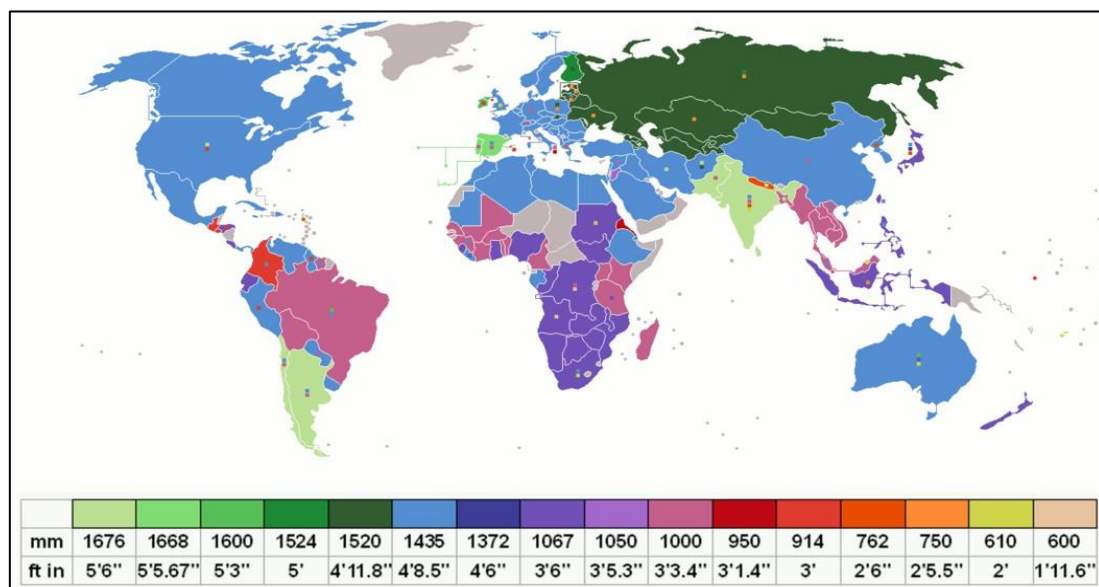


Figure VI.3 : Carte mondiale des écartements ferroviaires

### **VI.3. Tracé en plan**

#### VI.3.1. Définition

Le tracé en plan représente la projection de l'axe de la voie ferrée sur un plan horizontal. Il est constitué d'une succession d'alignements droits, de courbes circulaires et de courbes de raccordement, disposés de manière à assurer la continuité du tracé et son adaptation aux

contraintes du terrain. Son rôle principal est de garantir la sécurité des circulations, le confort des voyageurs et la bonne intégration de l'infrastructure dans son environnement topographique.

Dans le domaine ferroviaire, le tracé en plan constitue un élément fondamental de la géométrie de la voie, car il conditionne directement la stabilité du matériel roulant, la régularité de l'exploitation et la durabilité de l'infrastructure. En pratique, la définition de ce tracé doit rester cohérente avec les vitesses caractéristiques de circulation, notamment celles des trains voyageurs rapides et des trains marchandises plus lents, afin de satisfaire simultanément les exigences de sécurité et de confort.

### VI.3.2. Les éléments constitutifs du tracé en plan

Le tracé en plan repose sur trois éléments principaux, à savoir les alignements droits, les courbes circulaires et les courbes de transition. L'association correcte de ces éléments permet d'obtenir un itinéraire fluide, capable de limiter les variations brusques de direction et les efforts dynamiques transmis à la voie et aux véhicules.

#### VI.3.2.1. Les alignements droits

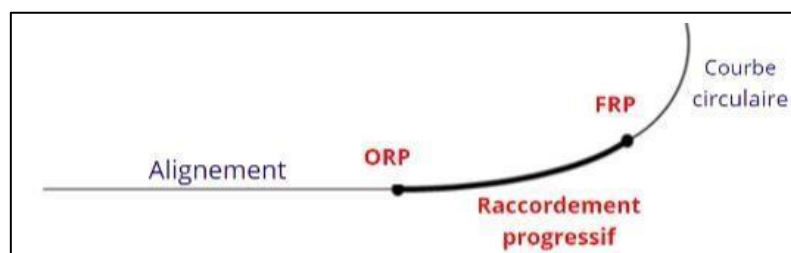
Correspondent aux sections rectilignes de la voie, pour lesquelles le rayon de courbure est théoriquement infini.

#### VI.3.2.2. Les courbes circulaires

Les courbes circulaires sont des arcs de cercle à rayon constant, utilisés pour modifier la direction de la voie ferrée.

#### VI.3.2.3. Les courbes de transition

Les courbes de transition, ou courbes de raccordement progressif, assurent la liaison progressive entre un alignement droit et une courbe circulaire, ou entre deux courbes de rayons différents.



**Figure VI.4 : Les éléments du tracé en plan**

#### VI.3.2.4. Longueur minimale des éléments du tracé

Afin d'amortir le roulis des véhicules, les éléments du tracé (alignements droits et pleines courbes) doivent respecter des longueurs minimales calculées en fonction de la Vitesse en (km/h)

**Tableau VI.1 : Longueur minimale des éléments de trace selon référentiel technique  
IN0272**

|                                           |            |
|-------------------------------------------|------------|
| <b>Valeur maximale normale (m)</b>        | <b>V/2</b> |
| <b>Valeur maximale exceptionnelle (m)</b> | <b>V/3</b> |

#### VI.3.2.5. Rayon minimal

Le rayon minimal des courbes circulaires désigne la valeur la plus faible pouvant être retenue pour le rayon d'une courbe horizontale dans le tracé d'une voie ferrée. Son adoption dépend principalement de la vitesse d'exploitation, de la nature de la ligne, du niveau de confort recherché pour les passagers et des contraintes mécaniques supportées par la voie et les véhicules ferroviaires.

La fixation de cette valeur minimale a pour objectif de limiter les effets centrifuges, de minimiser l'usure des organes de roulement et de préserver à la fois la sécurité de circulation et la qualité du roulement.

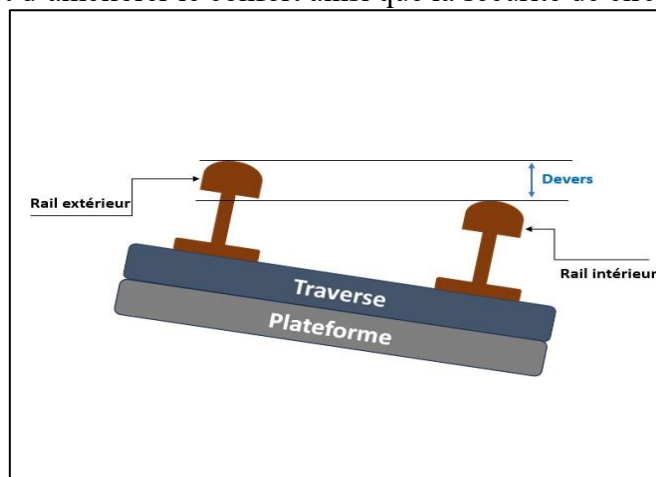
Le rayon minimal est donné par la formule 
$$R_{min} = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{D_{max} + I_{max}}$$

Avec :

- Vmax : Vitesse maximal (voyageur).
- Imax : L'insuffisance de dévers max admissibles.
- Dmax = Dévers max admissible.

#### VI.3.2.6. Le dévers

Le dévers est la différence de hauteur entre le rail extérieur et le rail intérieur dans une courbe. Il permet de compenser partiellement la force centrifuge, de réduire les efforts latéraux sur la voie et d'améliorer le confort ainsi que la sécurité de circulation.



**Figure VI.5 : Représentation schématique du dévers dans une courbe**

##### **VI.3.2.6.1. Dévers théorique (d<sub>th</sub>)**

Dévers théorique (ou dévers d'équilibre) : Il correspond à la dénivellation transversale idéale entre les deux files de rails permettant d'équilibrer exactement la force centrifuge pour une vitesse de circulation (V) et un rayon de courbure (R) donnés. En considérant le dévers (d) en

millimètres, le rayon (R) en mètres et la vitesse (V) en km/h, sa valeur est déterminée par la relation suivante :

$$d_{th} = \frac{11.8xV^2}{R} \text{ max}$$

#### VI.3.2.6.2. Dévers pratique (prescrit) ( $d_p$ )

Le dévers adopté en voie résulte d'un compromis technique visant à assurer la circulation des trains de voyageurs à grande vitesse ainsi que des trains de fret à vitesse plus réduite, dans des conditions satisfaisantes de sécurité et de confort. Cette valeur, effectivement appliquée à la voie, est appelée dévers pratique. Elle se détermine à partir de la relation suivante :

$$d_p = \frac{1000 C}{R}$$

Avec :

- R : le rayon en (m)
- C : Coefficient de dévers donné par  $C = 0.006 \times V^2 \text{ max}$

**Tableau VI.2 : Valeurs limites du dévers en pleine courbe selon référentiel technique IN0272**

|                                            |            |
|--------------------------------------------|------------|
| <b>Valeur maximale normale (mm)</b>        | <b>160</b> |
| <b>Valeur maximale exceptionnelle (mm)</b> | <b>180</b> |

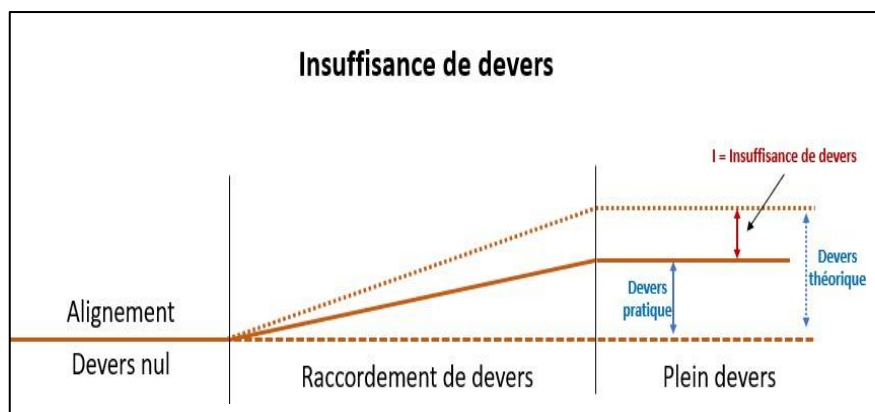
#### VI.3.2.6.3. Insuffisance de dévers (I)

L'insuffisance de dévers apparaît lorsqu'un train circule dans une courbe à une vitesse supérieure à la vitesse d'équilibre correspondant au dévers prescrit. Dans ce cas, une partie de la force centrifuge demeure non compensée, ce qui provoque un déplacement de la résultante des forces vers l'extérieur de la courbe. L'insuffisance de dévers, exprimée en millimètres, correspond ainsi à la différence entre le dévers d'équilibre et le dévers prescrit. Elle est déterminée par la relation suivante :

$$I = \frac{11.8xV^2}{R} - d_p \quad \text{Ou bien} \quad I = d_{th} - d_p$$

**Tableau VI.3 : Valeurs limites de l'insuffisance de dévers selon référentiel technique IN0272**

|                                            |            |
|--------------------------------------------|------------|
| <b>Valeur maximale normale (mm)</b>        | <b>150</b> |
| <b>Valeur maximale exceptionnelle (mm)</b> | <b>160</b> |



**Figure VI.6 : Représentation graphique de l'insuffisance de dévers**

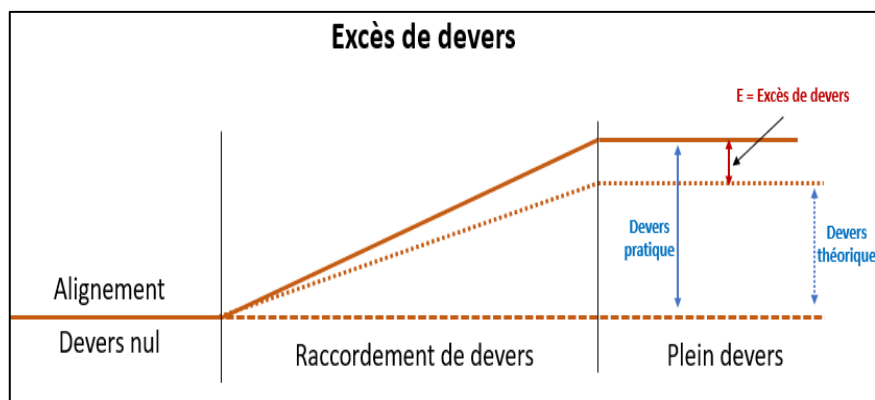
#### VI.3.2.6.4. Excès de dévers

L'excès de dévers se manifeste lorsqu'un train franchit une courbe à une vitesse inférieure à la vitesse d'équilibre associée au dévers prescrit. Cette configuration génère une force centripète non compensée, ce qui déplace la résultante des efforts vers l'intérieur de la courbe. Exprimé en millimètres, l'excès de dévers est défini comme la différence entre le dévers appliqué à la voie (dévers prescrit) et le dévers d'équilibre. Il se calcule au moyen de la formule suivante :

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

**Tableau VI.4 : Valeurs limites de l'excès de dévers selon référentiel technique IN0272**

|                                            |            |
|--------------------------------------------|------------|
| <b>Valeur maximale normale (mm)</b>        | <b>110</b> |
| <b>Valeur maximale exceptionnelle (mm)</b> | <b>130</b> |



**Figure VI.7 : Représentation graphique de l'excès de dévers**

#### VI.3.2.6.5. Variation de dévers

La variation de dévers correspond à la transition progressive de l'inclinaison transversale de la voie entre un alignement droit (dévers nul) et une courbe (plein dévers). Elle est indispensable pour assurer la sécurité des circulations et le confort dynamique lors du changement de courbure.

- **Variation par rapport aux longueurs ( $\Delta d/\Delta l$ )**

C'est le taux d'évolution du dévers par unité de longueur de voie, exprimé en (mm/m), les valeurs limites admissibles dépendent de la Vitesse et donnés par :

**Tableau VI.5 : Valeurs limites de variation de dévers par rapport aux longueurs selon référentiel technique IN0272**

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| Valeur maximale normale (mm)        | 180/V |
| Valeur maximale exceptionnelle (mm) | 216/V |

- **Variation par rapport aux temps ( $\Delta d/\Delta t$ )**

Elle indique la rapidité avec laquelle le véhicule s'incline lors de la zone de raccordement, exprimée en (mm/s), Pour préserver le confort des passagers,

**Tableau VI.6: Valeurs limites de variation de dévers par rapport aux temps selon référentiel technique IN0272**

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| Valeur maximale normale (mm/s)        | 75 |
| Valeur maximale exceptionnelle (mm/s) | 90 |

**Tableau VI.7 : récapitulatif des paramètres géométriques du tracé en plan (SNTF)**

|                                                                   | Formule                                           |                                                   | Application |                |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------|----------------|
|                                                                   | Normal                                            | Exceptionnel                                      | Normal      | Exceptionnelle |
| Dévers maximal d (mm)                                             | -                                                 | -                                                 | 160         | 180            |
| $P_{min} = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{D_{max} + I_{max}}$       | $\frac{11.8 \times V_{max}^2}{D_{max} + I_{max}}$ | $\frac{11.8 \times V_{max}^2}{D_{max} + I_{max}}$ | 1842        | 1680           |
| Longueurs minimales des alignements (m)                           | $\frac{V_{max}}{2}$                               | $\frac{V_{max}}{3}$                               | 110         | 73             |
| Longueurs minimales des pleines courbes (m)                       | $\frac{V_{max}}{2}$                               | $\frac{V_{max}}{3}$                               | 110         | 73             |
| Insuffisance de dévers admissible I (mm)                          | -                                                 | -                                                 | 150         | 160            |
| Excès de dévers admissible E (mm)                                 | -                                                 | -                                                 | 110         | 130            |
| Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur (mm/m) | $\frac{180}{V_{max}}$                             | $\frac{216}{V_{max}}$                             | 0.818       | 0.928          |
| Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur (mm/m) | -                                                 | -                                                 | 75          | 90             |

### VI.3.3. Application au projet

On considère un exemple de calcul pour un rayon de  $R = 2000$  m.

### Devers théorique

$$d_{th} = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{R} = \frac{11.8 \times 220^2}{2000} = 285.56 \text{ mm}$$

### Coefficient de devers

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

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

$$0.5 < \frac{C}{0.0118 \times V_{max}^2} < 0.7$$

Alors on prend  $C=300$

$$0.5 < \frac{300}{0.0118 \times 120^2} = 0.53 < 0.7 \quad \text{verifie}$$

### Devers prescrit :

$$d_p = \frac{1000 \times C}{R} = \frac{1000 \times 300}{2000} = 150 \text{ mm}$$

On adopte  $d_p = 160 \text{ mm}$

### Insuffisance de devers

$$I = d_{th} - d_p = 285.56 - 160 = 125.26 \text{ mm} < 150 \text{ mm}$$

### Excès de devers

$$E = d_p - \frac{11.8 \times V_{min}^2}{R} = 160 - \frac{11.8 \times 100^2}{2000} = 101 \text{ mm} < 110 \text{ mm}$$

### Variation maximale de devers

$$\frac{180}{V_{max}} = \frac{180}{220} = 0.82 \text{ mm/m}$$

On adopte  $\frac{dd}{dl} = 0.8 \text{ mm/m}$

### La longueur de raccordement progressif

$$L_{rp} = \frac{d_p}{dd/dl} = \frac{160}{0.8} = 200 \text{ m}$$

### La variation de dévers par rapport au temps :

$$\frac{dd}{dt} = \frac{I}{L_{rp}} \times \frac{V_{max}}{3.6} = \frac{125.26}{200} \times \frac{220}{3.6} = 38.37 \text{ mm/s} < 75$$

**Tableau VI.8 : récapitulatif des paramètres de tracé**

|                                      | Formule                                  | Rayons (m) |        |        |
|--------------------------------------|------------------------------------------|------------|--------|--------|
|                                      |                                          | 2000       | 2400   | 2800   |
| $d_{th} \text{ (mm)}$                | $\frac{11.8 \times V_{max}^2}{R}$        | 285.56     | 237.97 | 203.97 |
| $C$                                  | $0.006 \times V_{max}^2$                 | 290.40     | 290.40 | 290.40 |
| $C \text{ retenu}$                   | un multiple de 15                        | 300        | 300    | 300    |
| $d_p \text{ (mm)}$                   | $\frac{1000 \times C}{R}$                | 150        | 125    | 107.14 |
| $d_p \text{ retenu (mm)}$            | -                                        | 150        | 130    | 120    |
| Vérification de $d_p \text{ retenu}$ | $d_p \text{ adopté} \leq 160 \text{ mm}$ | Oui        |        |        |

|                             |                                               |        |        |        |
|-----------------------------|-----------------------------------------------|--------|--------|--------|
| $E \text{ (mm)}$            | $d_n - \frac{11.8 \times V_{in}^2}{R}$        | 91     | 80.83  | 78     |
| Vérification de $E$         | $E < 110 \text{ mm}$                          | Oui    |        |        |
| $I \text{ (mm)}$            | $d_{th} - d_p$                                | 135.56 | 107.97 | 83.97  |
| Vérification de $I$         | $I < 150 \text{ mm}$                          | Oui    |        |        |
| $L_{rp} \text{ (m)}$        | $\frac{dp}{dd/dl}$                            | 183.33 | 158.89 | 146.67 |
| $L_{rp} \text{ retenu (m)}$ | -                                             | 190    | 160    | 150    |
| $dd/dl \text{ (mm/ml)}$     | $\frac{dd}{dl}$                               | 0.79   | 0.81   | 0.80   |
| Vérification $dd/dl$        | $dd/dl < 0.82$                                | oui    |        |        |
| $dd/dt \text{ (mm/s)}$      | $\frac{I}{L_{rp}} \times \frac{V_{max}}{3.6}$ | 43.60  | 41.24  | 34.21  |
| Vérification $dd/dt$        | $dd/dt < 75 \text{ mm/s}$                     | oui    |        |        |

## VI.4. Profil en long

### VI.4.1. Introduction

Le profil en long correspond à la coupe verticale fictive développée le long de l'axe central d'une voie ferrée. Il se compose d'une alternance de pentes (en descente) et de rampes (en montée), raccordées par des arcs de cercle lors des changements de déclivité.

Cette composante du tracé constitue une étape déterminante dans la conception d'un projet ferroviaire, car elle influence directement sa faisabilité technique et son coût global. En effet, l'optimisation du profil en long permet de s'adapter aux contraintes topographiques tout en maîtrisant l'économie du projet, notamment en minimisant les volumes de terrassement (déblais et remblais) et en optimisant l'implantation des ouvrages d'art et des gares. Par ailleurs, une coordination rigoureuse avec le tracé en plan est indispensable pour garantir la fluidité de la circulation.

Ce chapitre sera consacré aux principes de conception du profil en long. Nous y aborderons les critères normatifs qui régissent son élaboration, incluant les déclivités admissibles, les rayons de raccordement vertical et les longueurs minimales, afin de garantir une exploitation ferroviaire performante, confortable et sécuritaire.

### **VI.4.2. Éléments de composition du profil en long**

Le profil en long est constitué de deux éléments géométriques fondamentaux : les alignements droits et les courbes de raccordement vertical qui assurent la transition entre ces déclivités.

#### **VI.4.2.1. Les alignements droits et les déclivités**

Dans le plan vertical, les alignements droits désignent des tronçons de voie présentant une inclinaison constante sur une distance donnée. Le maintien d'une déclivité uniforme permet de conserver une vitesse d'exploitation régulière et d'assurer la stabilité dynamique des convois. Selon le sens de circulation, on distingue trois configurations :

- **La pente** : segment où l'altitude décroît (déclivité négative).
- **La rampe** : segment où l'altitude croît (déclivité positive).
- **Le palier** : segment dont l'altitude reste constante (déclivité nulle).

#### **VI.4.2.2. Limites admissibles selon le référentiel SNTF**

Afin de prévenir les difficultés de démarrage en rampe ou les risques d'emballlement en descente, les normes de la SNTF imposent des seuils stricts qui varient en fonction de la longueur totale de la déclivité :

- **Pour une longueur inférieure à 3 000 mètres** : la déclivité maximale autorisée est de 16 pour mille, avec une tolérance exceptionnelle allant jusqu'à 18 pour mille.
- **Pour une longueur comprise entre 3 000 et 15 000 mètres** : la valeur maximale admissible diminue progressivement de 16 à 13 pour mille (et de 18 à 15 pour mille en valeur exceptionnelle).
- **Pour une longueur supérieure à 15 000 mètres** : la déclivité maximale est strictement plafonnée à 13 pour mille, avec un seuil exceptionnel autorisé de 15 pour mille.

#### **VI.4.2.3. Longueur minimale des déclivités**

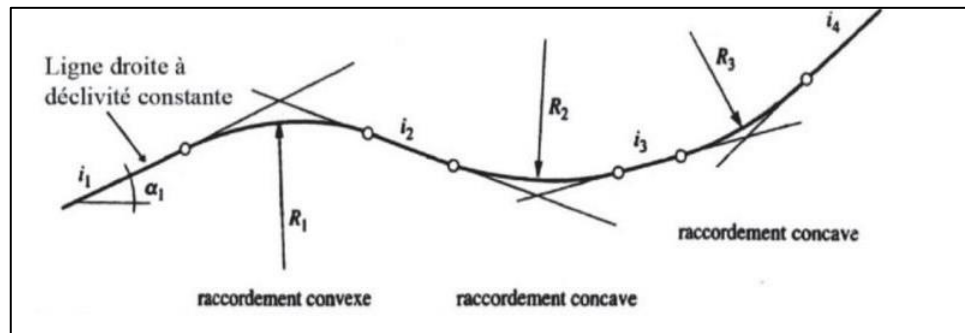
Lorsqu'un train franchit deux déclivités successives de sens opposés, il subit des variations d'accélération verticale. Pour éviter des oscillations brusques, inconfortables pour les voyageurs et dommageables pour la voie, une longueur minimale de déclivité doit être respectée. Cette longueur est calculée en fonction de la vitesse (exprimée en Km/h) :

- La valeur limite normale correspond à  $V/2$ .
- La valeur limite exceptionnelle correspond à  $V/2,5$ .

### VI.4.3. Les courbes de raccordement vertical

La succession brutale de deux déclivités de valeurs différentes engendre une accélération verticale soudaine similaire à l'effet ressenti lors du franchissement d'une colline en voiture. Pour pallier ce phénomène, la jonction entre deux alignements s'effectue par l'intermédiaire de courbes circulaires (concaves ou convexes).

Ces courbes adoucissent la transition, réduisant ainsi considérablement les sollicitations dynamiques exercées sur les suspensions des véhicules et sur la structure de la voie.



**Figure VI.8 : courbes de raccordement vertical**

#### VI.4.3.1. Rayons verticaux minimaux

Afin de limiter l'accélération centrifuge verticale et de garantir un confort optimal aux usagers, les normes de la SNTF imposent des rayons minimaux de raccordement. Ces rayons sont proportionnels au carré de la vitesse de circulation :

- La valeur limite normale du rayon est fixée à  $0,35 V^2$ .
- La valeur limite exceptionnelle est fixée à  $0,25 V^2$ .

### VI.4.4. Règles et normes à respecter pour le profil en long

- La déclivité maximale est fixée à 16 % en pleine voie, alors qu'elle doit être nulle (0 %) au droit des gares et des haltes, afin d'assurer la sécurité des circulations ainsi que le confort lors des arrêts.
- Il est essentiel de limiter et équilibrer les volumes de déblais et de remblais dans le but de réduire les coûts de terrassement et de minimiser l'impact sur l'environnement.
- Il convient d'éviter les angles rentrants en zone de déblai, afin de favoriser une évacuation correcte des eaux de ruissellement.
- Une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long est indispensable pour assurer une géométrie régulière et performante.
- La longueur minimale des éléments du profil en long doit respecter la relation suivante :  $L_{min} = V / 2$ , avec  $V$  exprimée en km/h.
- Le rayon vertical minimal à adopter est donné par la relation :  $R_{v \min} = 0,35 \times V^2$ , afin de garantir le confort dynamique et la sécurité de l'exploitation.

## VI.5. Profil en travers

### VI.5.1. Introduction

Le profil en travers représente la coupe géométrique perpendiculaire à l'axe central de la voie ferrée projetée. Il offre une vue détaillée de l'emprise de l'infrastructure sur le site, en illustrant les variations altimétriques par rapport au terrain naturel, les dimensions exactes de la plateforme, les dévers éventuels, ainsi que l'agencement structurel des différentes couches de la voie.

Sur le plan de l'ingénierie, cet outil est indispensable à la planification du projet. Il permet non seulement d'évaluer avec précision les volumes de terrassement à réaliser (cubatures), mais il contribue également à garantir la stabilité et la sécurité de l'infrastructure (l'étude de stabilité). Enfin, la conception rigoureuse de ces profils favorise une intégration environnementale responsable et garantit la pérennité de l'ouvrage face aux contraintes du terrain.

### VI.5.2. Profil en travers type

Le profil en travers type constitue une donnée d'entrée fondamentale pour la conception d'une infrastructure ferroviaire nouvelle, ainsi que pour la réhabilitation des lignes existantes. Il se présente sous la forme d'un plan normalisé et détaillé, exposant l'ensemble des éléments constitutifs de la voie ferrée selon les différentes configurations topographiques rencontrées (essentiellement le remblai, le déblai, ou le profil mixte). Ce document graphique précise rigoureusement les dimensions géométriques de la voie, l'agencement des équipements annexes, ainsi que la nature et l'épaisseur respective de chacune des couches formant l'assise de l'infrastructure (ballast, sous-couche, couche de forme).

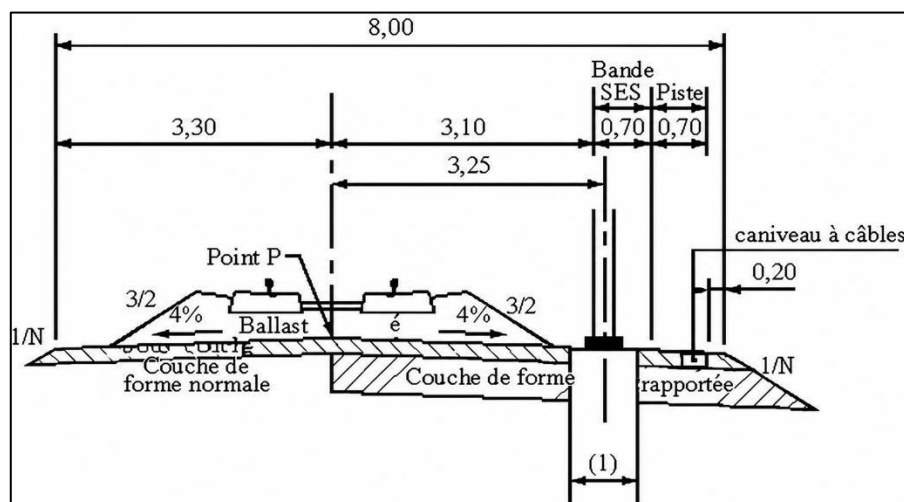


Figure VI.9 : les éléments du profil en travers

### VI.5.3. Caractéristiques et éléments constitutifs du profil

Pour notre ligne ferroviaire, les spécifications techniques générales appliquées aux profils en travers sont les suivantes :

#### VI.5.3.1. La plateforme et la voie

- Le projet est conçu pour une voie unique. En conséquence, la largeur de la plateforme ferroviaire est fixée à 8,00 m.
- Cette dimension permet d'accueillir la superstructure complète (rails, traverses, ballast) tout en ménageant des banquettes latérales de sécurité.

#### VI.5.3.2. L'infrastructure

L'épaisseur de la couche de ballast, du sous-ballast et de la couche de forme est définie en fonction des caractéristiques de sol et exigence des référentiels (voir chapitre Géotechnique).

- Le niveau de référence altimétrique (Point P) est défini au sommet de la plateforme (sous la couche de ballast), dans l'axe de la voie.

#### VI.5.3.3. Les équipements annexes

- Cheminement : Des pistes latérales sont aménagées sur la plateforme pour permettre la circulation en toute sécurité du personnel de maintenance.
- Électrification : La ligne étant électrifiée, des zones sont réservées pour l'implantation des poteaux caténaires. L'axe de ces supports doit être situé à une distance minimale de 3,25 m de l'axe de la voie pour respecter le gabarit d'électrification.

#### VI.5.3.4. Dispositifs de drainage et de protection

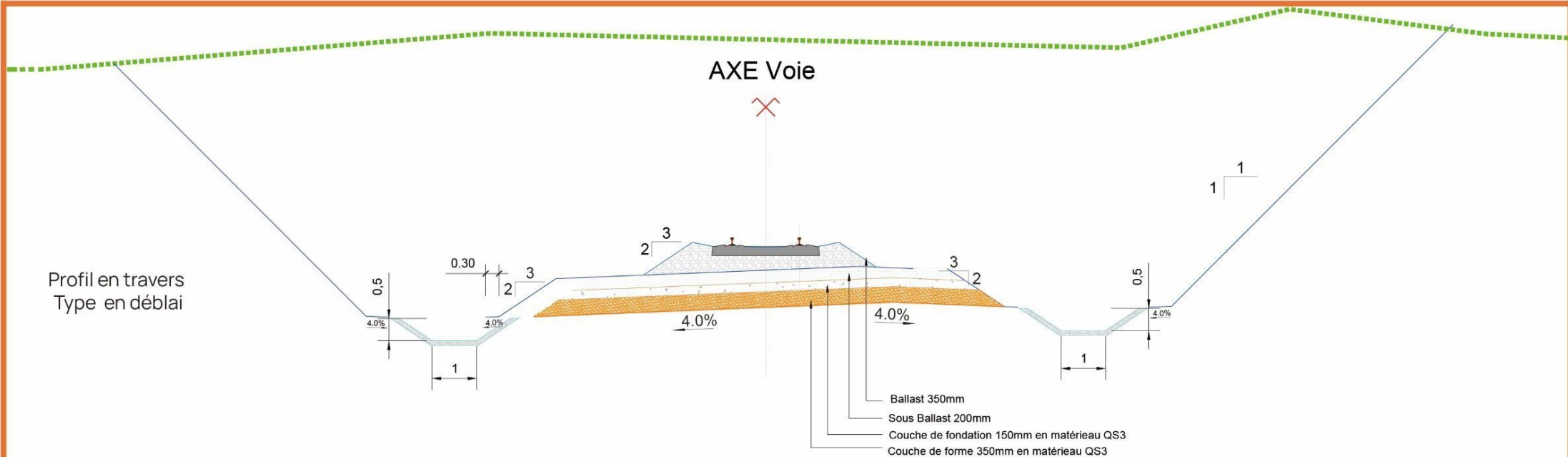
- Fossés : Des fossés longitudinaux sont prévus (notamment en déblai) pour assurer l'assainissement de la plateforme et l'évacuation des eaux de ruissellement.

### **VI.5.4. Application au projet**

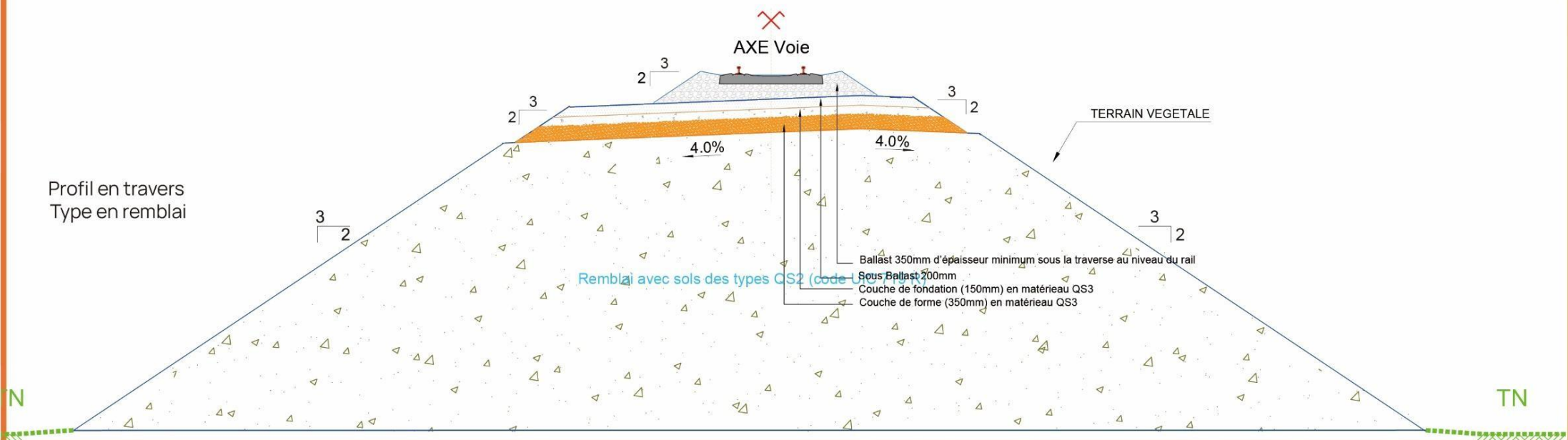
Dans le cadre de l'étude détaillée de notre tronçon, nous avons élaboré deux profils en travers types qui sont présentées en détail sur la page suivante :

- Profil en travers type en Déblai
- Profil en travers type en Remblai

Profil en travers  
Type en déblai



Profil en travers  
Type en remblai



Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba - 16051. Alger  
 Fax : (023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz  
 Tel : (023) 70 19 04 E-mail : enstp@enstp.edu.dz

#### PROJET DE FIN D'ETUDE

Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Ghardaia - Meniaa du PK27+00 au PK39+00 avec conception de la gare de Mansora

#### Réalise par

ATTICHE Kamel  
 TOUATI Abdelbasset

#### Encadré par

GHAFFAR Karam  
 FEDGHOUCHE Farhat

#### Echelle

1:120

#### Planche

Profil en travers  
 Type en remblai  
 et en déblai

#### Année

2025  
 2026

# **CHAPITRE VII : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE**

# CHAPITRE VII : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

## VII.1. Introduction

Le présent rapport constitue une synthèse structurée des informations relatives au comportement hydrologique de la zone traversée par le projet de la ligne ferroviaire Ghardaïa – El Ménéa. Il vise également à identifier les principales contraintes du milieu physique susceptibles d’influencer la conception du projet ainsi que les conditions de son exploitation à long terme. Le tronçon étudié s’étend du point kilométrique PK27+000 au PK39+000.

Cette étude du volet hydrologie–hydraulique s’inscrit dans une démarche globale d’analyse et de maîtrise des écoulements naturels, en tenant compte des spécificités géographiques et climatiques de la région. Elle a pour objectif de fournir les éléments nécessaires à un dimensionnement fiable des ouvrages hydrauliques et à la sécurisation de l’infrastructure ferroviaire.

Dans ce cadre, l’étude s’articule autour des axes suivants : la caractérisation du milieu physique à travers l’analyse du relief, du réseau hydrographique et des conditions climatiques ; la délimitation des bassins versants interceptés par le tracé de la ligne ferroviaire Ghardaïa – El Ménéa ; l’estimation des débits d’écoulement permettant de définir les besoins en drainage ainsi que le choix des ouvrages hydrauliques appropriés ; et enfin, l’identification des zones à contraintes hydrologiques, avec la localisation des secteurs à risque et la proposition de solutions techniques préliminaires, destinées à être approfondies lors des phases ultérieures du projet.

## VII.2. Cadre climatique

Le projet de la nouvelle ligne ferroviaire Ghardaïa–Ménéa, d’une longueur totale de **236,168 km**, s’inscrit dans le contexte du Sahara septentrional algérien, au nord-est de la plateforme saharienne. Cette vaste région est délimitée au nord par la chaîne de l’Atlas saharien et au sud par le bouclier Réguibat-Touareg. Elle couvre une superficie d’environ 720 000 km<sup>2</sup>, s’étendant sur plus de 600 km, depuis les contreforts de l’Aurès au nord jusqu’aux massifs du Tassili au sud.

Sur le plan administratif, la ligne traverse les territoires des wilayas de Ghardaïa et d’El Ménéa, bordées au nord par les wilayas de Laghouat et Djelfa, à l’est par Ouargla, à l’ouest par El Bayadh

et Adrar, et au sud par Tamanrasset. Cette localisation stratégique relie des zones sahariennes isolées tout en facilitant la mobilité et le développement économique régional.



**Figure VII.1 : Situation administrative de la nouvelle ligne ferroviaire  
Ghardaïa – El Ménia**

### **VII.3. Cadre géomorphologique :**

Le tracé de la ligne ferroviaire Ghardaïa – Ménia traverse une région géomorphologique complexe, dominée par un vaste plateau rocailleux entaillé de vallées profondes et entrelacées formant un réseau de ravins, ou chebka. Ce plateau est principalement constitué d'affleurements calcaires et dolomitiques durs, qui ont été profondément ravinés par l'érosion fluviale depuis le début du Quaternaire. L'ensemble est traversé par un réseau d'oueds dont les principaux écoulements forment des vallées encaissées, généralement remplies de sables grossiers et d'argiles d'une épaisseur variant entre 20 et 30 mètres.

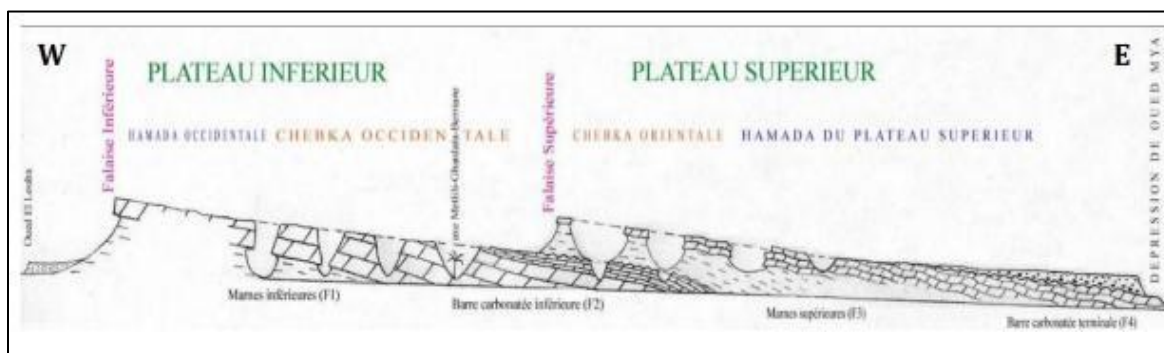
À l'est de ce plateau, la région est bordée par l'immense étendue du Grand Erg occidental, où l'on trouve des cordons dunaires particulièrement denses et élevés, notamment au sud-ouest, avant de se prolonger vers le sud-est avec le plateau de Tademaït.

Plus à l'est, près d'El Ménée, se situe la Sebkha El Mellah, une dépression endoréique d'une superficie de 18 947 hectares, constituée de sols salins. Ce site est caractérisé par deux plans d'eau : un bassin supérieur à salinité modérée et une sebkha, ou lac salé, dénudé, dont les berges favorisent la cristallisation du sel.

- **La Chebka du M'Zab**

La région de Ghardaïa, par sa position géographique, présente un relief particulièrement accidenté, marqué par un réseau hydrographique dense. L'ensemble géomorphologique qui inclut le M'Zab se compose principalement d'un plateau rocheux, le Hamada, une vaste étendue pierreuse où affleure une roche nue, de couleur brune et noirâtre. L'altitude de ce plateau varie entre 300 et 800 mètres.

Le plateau a été façonné par une forte érosion fluviale au début du Quaternaire, qui a découpé la partie sud du plateau en buttes à sommets plats et en vallées. L'ensemble de cette formation géomorphologique est désigné sous le nom de chebka.



**Figure VII.2 : Coupe schématique transversale de la dorsale du Mzab**

## VII.4. Réseau hydrographique

D'un point de vue hydrologique, le projet de la nouvelle ligne ferroviaire Ghardaïa-Ménée traverse un secteur important du bassin versant du Sahara septentrional, en traversant plusieurs sous-bassins versants principaux. Ces derniers drainent les eaux depuis les régions montagneuses de l'Ouest vers l'Est et sont caractérisés par des écoulements sporadiques, généralement provoqués par les averses orageuses fréquentes dans la région. Les principaux bassins versants concernés sont les suivants (voir Figure) :

- Bassin versant de l'Oued Metlili (20)
- Bassin versant de l'Oued Touil (21)
- Bassin versant de l'Oued Fahl (22)
- Bassin versant de l'Oued Gouiret Moussa (23)
- Bassin versant de l'Oued Djafou (24)
- Bassin versant de l'Oued Djoua (25)

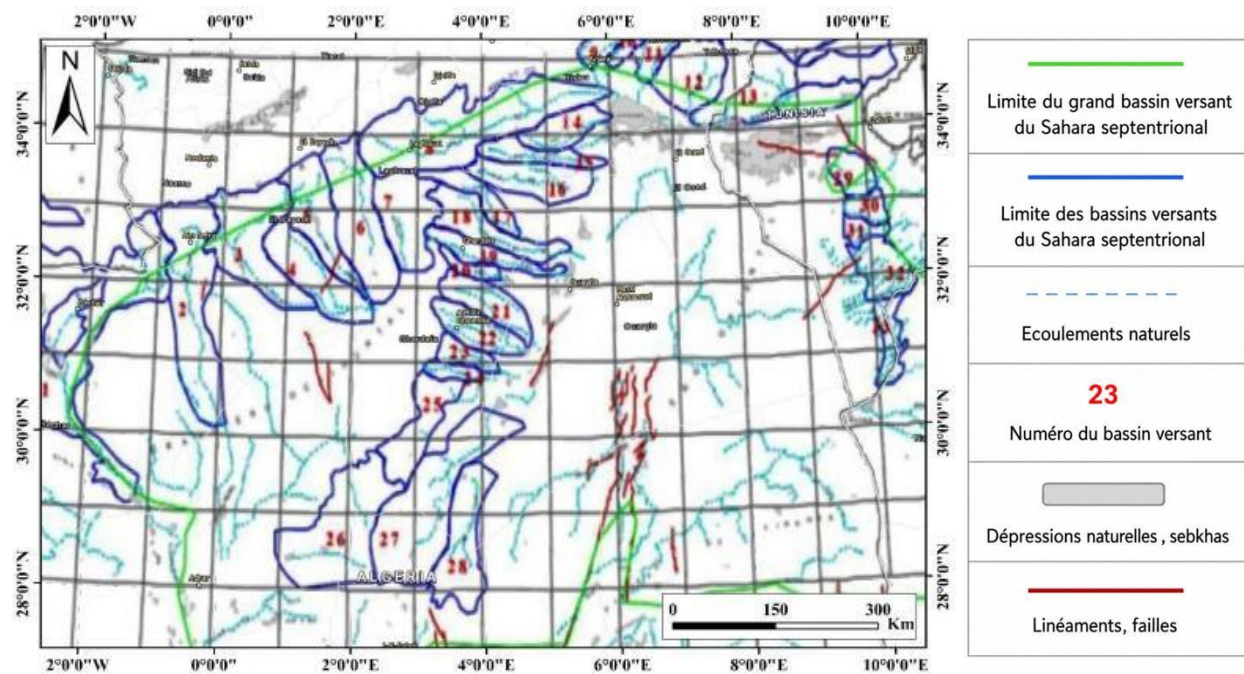


Figure VII.3 : Bassins versants du Sahara Septentrional.

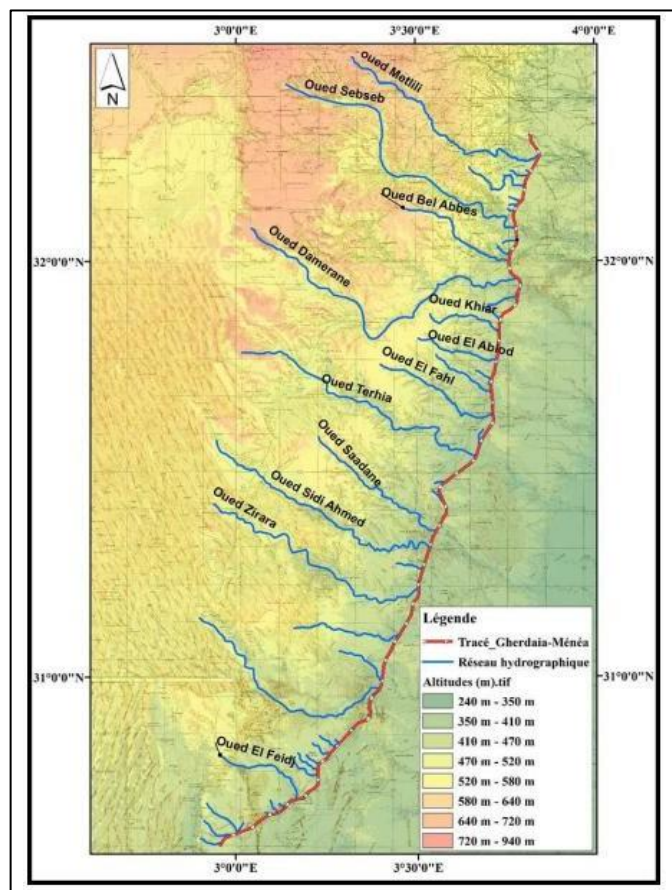


Figure VII.4 : Réseau hydrographique traversé par la ligne ferroviaire Ghardaïa - El Ménéa

## VII.5. Cadres climatiques :

L'objectif de cette section est de déterminer les caractéristiques climatiques de la zone traversée par le projet de la nouvelle ligne ferroviaire Ghardaïa – El Ménée. L'analyse repose sur l'étude des principaux paramètres climatiques, à savoir la température, les précipitations et le vent, recueillis à partir des données des stations météorologiques de Ghardaïa et d'El Ménée.

Le climat de la région est de type saharien, se caractérisant par un écart thermique élevé entre les températures estivales et hivernales, avec des précipitations faibles et une évaporation intense. Ces conditions climatiques influencent directement la conception et la mise en œuvre du projet ferroviaire, notamment en ce qui concerne la gestion des matériaux, des infrastructures et de la durabilité des constructions.

### VII.5.1. Précipitations :

#### VII.5.2.1 Acquisition des données :

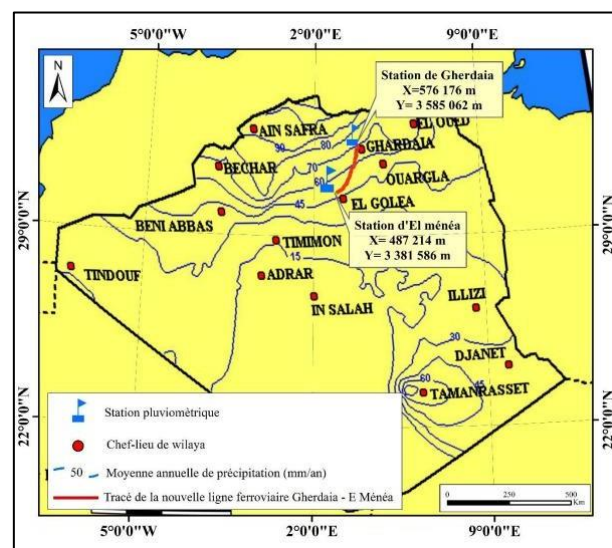
Les données de précipitations de la région d'étude ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (A.N.R.H). Il s'agit d'observations journalières, à partir desquelles, nous avons reconstitué les valeurs de pluies mensuelles et annuelles. Il s'agit des stations suivantes

**Tableau VII.1 : Coordonnées de la station hydroclimatique de Ghardaïa**

| Nom      | Code   | X      | Y       | Z     |
|----------|--------|--------|---------|-------|
| Ghardaïa | 130427 | 576176 | 3585062 | 443 m |
| El Ménée | 590    | 487214 | 3381586 | 397 m |

#### VII.5.2.2 Précipitations Annuelles :

D'après la carte représentée en figure, on remarque que la valeur des précipitations entre Ghardaïa et El Ménée varie entre 70 mm (au niveau de Ghardaïa) et 45 mm (au niveau d'El Ménée).



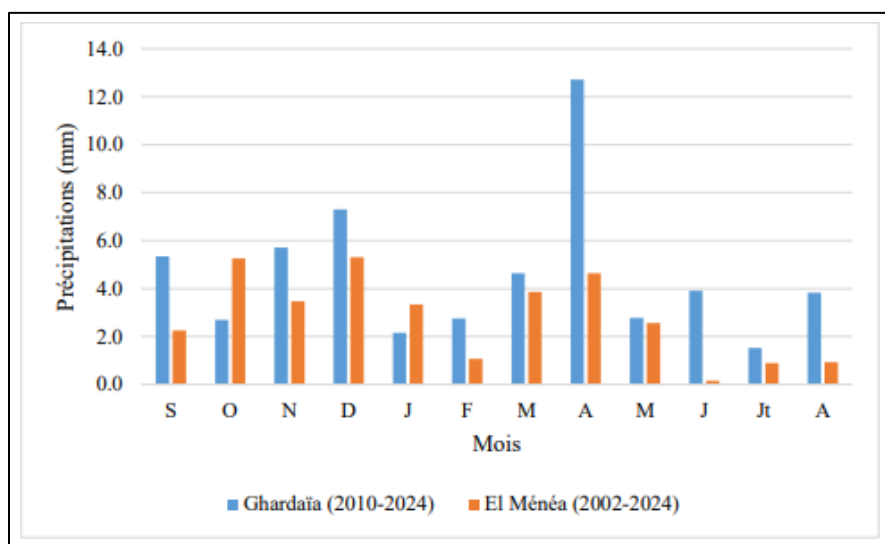
**Figure VII.5 : carte en isohyètes des précipitations moyennes annuelles du Sahara algérien (Source AIAD W., 2019).**

### VII.5.2.3 Précipitations moyennes mensuelles :

Selon le Tableau et la figure, 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. Au niveau de la station d'El Ménée, la moyenne des précipitations mensuelles varie entre 0.2 mm, enregistrée au mois juin et 5.3 mm, enregistrée au mois d'octobre.

**Tableau VII.2 : Précipitations moyenne mensuelles au niveau des stations de Ghardaïa (2010-2024) Et d'El Ménée (2002-2024).**

|                             | S   | O   | N   | D   | J   | F   | M   | A    | M   | J   | Jt  | A   |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| <b>Ghardaïa (2010-2024)</b> | 5.3 | 2.7 | 5.7 | 7.3 | 2.2 | 2.8 | 4.6 | 12.7 | 2.8 | 3.9 | 1.5 | 3.8 |
| <b>El Ménée (2002-2024)</b> | 2.3 | 5.3 | 3.5 | 5.3 | 3.3 | 1.1 | 3.9 | 4.6  | 2.6 | 0.2 | 0.9 | 0.9 |



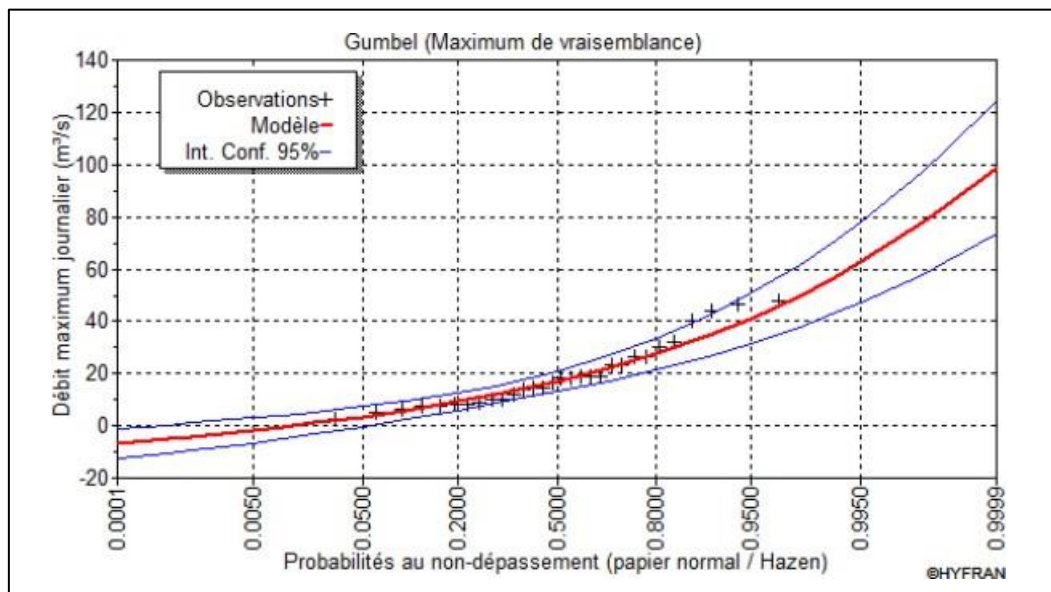
**Figure VII.6 : Graphe Variation des Précipitations moyenne mensuelles des stations de Ghardaïa (2010- 2024) et d'El Ménée (2002-2024).**

### VII.5.2.4. Pluies journalières :

L'analyse des **pluies journalières** a été réalisée en ajustant les données à une **loi de Gumbel**, permettant de déterminer les valeurs de **précipitations probables** pour différentes **fréquences de non-dépassement**. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau VII.3 : précipitations probables**

| 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             |



**Figure VII.7 : valeurs d'ajustement des pluies journalières selon les fréquences choisies, au niveau de la station de Ghardaïa.**

#### VII.5.2.5 Pluies de courte durée :

L'établissement de la relation Intensité – Durée – Fréquence (IDF) repose sur l'analyse des enregistrements pluviographiques. À partir du dépouillement des pluies à intensité supposée constante, les hauteurs de précipitations ont été déterminées pour différents pas de temps (1 h, 2 h, 3 h, 6 h, 12 h et 24 h).

Pour chaque durée, une valeur maximale par événement pluvieux a été retenue, permettant ainsi de constituer des séries de données représentatives sur l'ensemble de la période d'observation.

La relation IDF recherchée est exprimée sous la forme suivante :

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

Avec :

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

**Tableau VII.4 : valeurs du paramètre « a » selon les fréquences au niveau de la station de Ghardaïa**

| <b>T</b>    |                 | <b>2</b> | <b>5</b> | <b>10</b> | <b>20</b> | <b>50</b> | <b>100</b> |
|-------------|-----------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| <b>a(T)</b> | <b>Ghardaïa</b> | 10.9     | 16.5     | 20.1      | 23.7      | 28.2      | 31.6       |

**Tableau VII.5 : valeurs du paramètre « a » selon les fréquences (Source ONM)**

| <b>T</b>    |                 | <b>2</b> | <b>5</b> | <b>10</b> | <b>20</b> | <b>50</b> | <b>100</b> |
|-------------|-----------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| <b>a(T)</b> | <b>El Ménée</b> | 6.5      | 11.5     | 14.8      | 18        | 22.1      | 25.7       |

**Tableau VII.6 : valeurs du paramètre « b »  
selon la station.**

| <b>Station</b> | <b>b</b> |
|----------------|----------|
| Ghardaïa       | 0.82     |
| El Ménée       | 0.81     |

**Tableau VII.7 : Valeur des intensités en mm/h pour les différentes périodes de retour au  
niveau de Ghardaïa**

| Durée  | 2 Ans | 5 Ans | 10 Ans | 20 Ans | 50 Ans | 100 Ans |
|--------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
| 15 min | 34.0  | 51.4  | 62.6   | 73.9   | 87.9   | 98.5    |
| 30 min | 19.2  | 29.1  | 35.5   | 41.8   | 49.8   | 55.8    |
| 1 h    | 10.9  | 16.5  | 20.1   | 23.7   | 28.2   | 31.6    |
| 2 h    | 6.2   | 9.3   | 11.4   | 13.4   | 16.0   | 17.9    |
| 3 h    | 4.4   | 6.7   | 8.2    | 9.6    | 11.5   | 12.8    |
| 6 h    | 2.5   | 3.8   | 4.6    | 5.5    | 6.5    | 7.3     |
| 12 h   | 1.4   | 2.2   | 2.6    | 3.1    | 3.7    | 4.1     |
| 24 h   | 0.8   | 1.2   | 1.5    | 1.7    | 2.1    | 2.3     |

**Tableau VII.8 : Valeur des intensités en mm/h pour les différentes périodes de retour au  
niveau D'El Ménée**

| Durée  | 2 Ans | 5 Ans | 10 Ans | 20 Ans | 50 Ans | 100 Ans |
|--------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
| 15 min | 20.0  | 35.3  | 45.5   | 55.3   | 67.9   | 79.0    |
| 30 min | 11.4  | 20.2  | 25.9   | 31.6   | 38.7   | 45.1    |
| 1 h    | 6.5   | 11.5  | 14.8   | 18.0   | 22.1   | 25.7    |
| 2 h    | 3.7   | 6.6   | 8.4    | 10.3   | 12.6   | 14.7    |
| 3 h    | 2.7   | 4.7   | 6.1    | 7.4    | 9.1    | 10.6    |
| 6 h    | 1.5   | 2.7   | 3.5    | 4.2    | 5.2    | 6.0     |
| 12 h   | 0.9   | 1.5   | 2.0    | 2.4    | 3.0    | 3.4     |
| 24 h   | 0.5   | 0.9   | 1.1    | 1.4    | 1.7    | 2.0     |

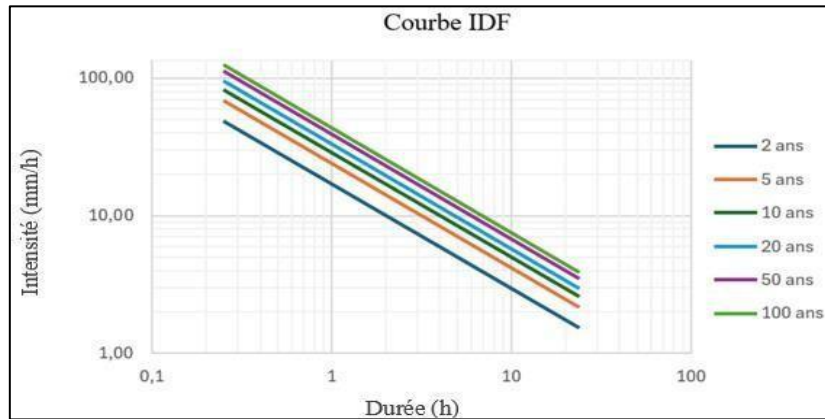


Figure VII.8 : Courbe intensité - durée – Fréquence (IDF)

### VII.5.2. Températures :

L'analyse des données issues de la **station météorologique de Ghardaïa** (Tableau et Figure) met en évidence une **température minimale** enregistrée au mois de **janvier**, avec une valeur de **13,9 °C**, tandis que la **température maximale** est observée au mois de **juillet**, atteignant **39,5 °C**. La **température moyenne mensuelle** est de l'ordre de **25,6 °C**.

Concernant la **station d'El Ménée**, les données montrent que la **température minimale** est également enregistrée en **janvier**, avec une valeur de **10,6 °C**, alors que la **température maximale** est atteinte en **juillet**, avec **36,6 °C**. La **moyenne mensuelle** s'établit autour de **23,5 °C**.

Ces résultats traduisent une **forte amplitude thermique saisonnière**, caractéristique du climat saharien, pouvant influencer le comportement des matériaux et les conditions d'exploitation de l'infrastructure ferroviaire.

Tableau VII.9 Températures moyenne mensuelles au niveau des stations de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménée (2002-2024).

|                             | S    | O    | N    | D    | J    | F    | M    | A    | M    | J    | Jt   | A    |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Ghardaïa (2010-2024)</b> | 33.6 | 26.7 | 18.6 | 14.0 | 13.9 | 15.7 | 19.9 | 20.0 | 30.0 | 37.6 | 39.5 | 38.2 |
| <b>El Ménée (2002-2024)</b> | 30.8 | 24.8 | 16.9 | 11.6 | 10.6 | 13.5 | 18.3 | 22.8 | 28.0 | 33.6 | 36.6 | 34.7 |

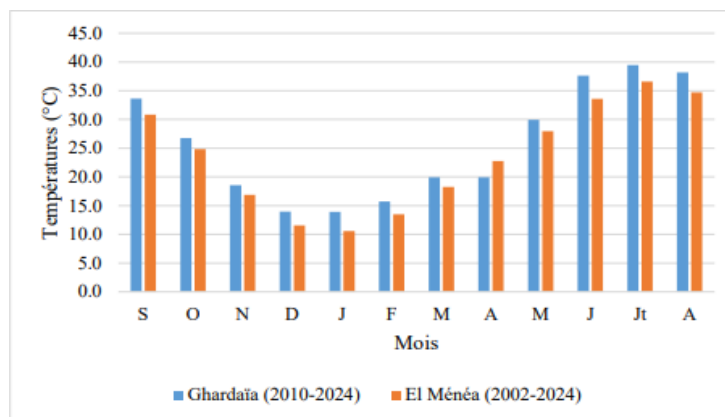


Figure VII.9 : Graphe Variation des températures moyennes mensuelles au niveau de la station de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménée (2002-2024).

### VII.5.2. Humidité :

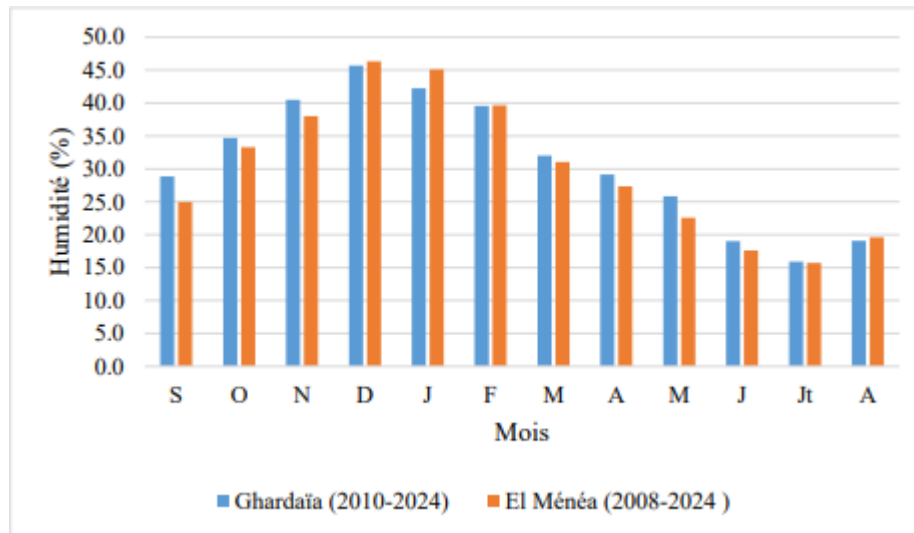
Au niveau des stations météorologiques de Ghardaïa et d'El Ménée, l'humidité relative reste globalement inférieure à 50 % tout au long de l'année.

Les valeurs maximales moyennes sont enregistrées au mois de décembre, atteignant respectivement 45,7 % pour Ghardaïa et 46,3 % pour El Ménée. À l'inverse, les valeurs minimales sont observées en juillet, avec 15,9 % et 15,7 % respectivement (Tableau 8 et Figure 9).

Ces faibles taux d'humidité confirment le caractère aride du climat saharien, avec une atmosphère sèche favorisant l'évaporation et influençant les conditions de durabilité des matériaux ainsi que le comportement des sols.

**Tableau VII.10 Humidité moyenne mensuelles au niveau des stations de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménée (2008-2024).**

| <b>Humidité (%)</b>          | <b>S</b> | <b>O</b> | <b>N</b> | <b>D</b> | <b>J</b> | <b>F</b> | <b>M</b> | <b>A</b> | <b>M</b> | <b>J</b> | <b>Jt</b> | <b>A</b> |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| <b>Ghardaïa (2010-2024)</b>  | 28.9     | 34.7     | 40.5     | 45.7     | 42.2     | 39.6     | 32.0     | 29.1     | 25.8     | 19.0     | 15.9      | 19.1     |
| <b>El Ménée (2008-2024 )</b> | 25.0     | 33.3     | 38.0     | 46.3     | 45.1     | 39.7     | 31.1     | 27.4     | 22.6     | 17.6     | 15.7      | 19.6     |



**Figure VII.10 : Graphe Variation des moyennes mensuelles de l'humidité à la station de Ghardaïa(2010 2024) et d'El Ménée (2008-2024).**

### VII.5.3. Le vent :

L'analyse de l'histogramme des **vitesse moyennes mensuelles du vent** (Figure) dans la zone d'étude met en évidence des variations saisonnières notables au niveau des deux stations.

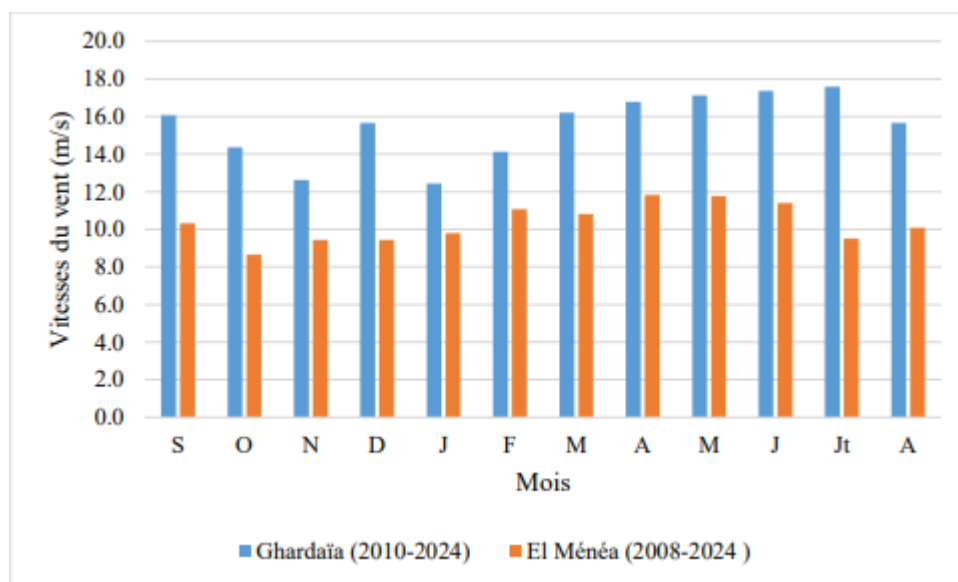
À la **station de Ghardaïa**, la **vitesse maximale** du vent est enregistrée au mois de **juillet**, avec une valeur de **17,6 m/s**, tandis que la **vitesse minimale** est observée en **janvier**, avec **12,4 m/s**.

En ce qui concerne la **station d'El Ménée**, les vitesses maximales sont relevées durant les mois d'**avril et mai**, atteignant **11,8 m/s**, alors que les vitesses minimales sont enregistrées en **novembre et décembre**, avec une valeur de **9,4 m/s**.

Ces régimes de vent, relativement soutenus, sont caractéristiques des zones sahariennes et peuvent engendrer des phénomènes d'**ensablement**, influençant ainsi l'exploitation et la maintenance de la ligne ferroviaire.

**Tableau VII.11 : Vitesses moyennes mensuelles des vents au niveau des stations de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménée (2008-2024).**

| Vitesse vent (m/s)   | S    | O    | N    | D    | J    | F    | M    | A    | M    | J    | Jt   | A    |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ghardaïa (2010-2024) | 16.1 | 14.4 | 12.6 | 15.7 | 12.4 | 14.1 | 16.2 | 16.8 | 17.1 | 17.4 | 17.6 | 15.7 |
| El Ménée (2008-2024) | 10.3 | 8.7  | 9.4  | 9.4  | 9.8  | 11.1 | 10.8 | 11.8 | 11.8 | 11.4 | 9.5  | 10.1 |



**Figure VII.11 : Graphe Variation des moyennes mensuelles des vitesses du vent à la station de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménée (2008-2024)**

## **VII.6. Caractéristiques morphométriques des bassins versants :**

### **VII.6.1. Délimitation des bassins versants**

La détermination des caractéristiques des bassins versants consiste à évaluer les paramètres morphométriques essentiels, nécessaires à l'estimation des débits de crue.

Le point kilométrique (PK) constitue un repère fondamental permettant d'identifier les zones de franchissement des cours d'eau par le tracé ferroviaire. La délimitation des bassins versants est ainsi réalisée à partir de ces points d'intersection.

Cette délimitation s'appuie sur l'analyse des cartes topographiques d'état-major à l'échelle 1/50 000, en suivant les lignes de partage des eaux, définies à partir de l'orientation des courbes de niveau. Le réseau hydrographique est ensuite établi par digitalisation des talwegs, correspondant aux axes des écoulements principaux.

### **VII.6.2. Paramètres morphométriques**

Après la digitalisation des bassins versants, les principaux paramètres morphométriques suivants ont été déterminés :

- Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>) ;
- Périmètre (km)
- Longueur du cours d'eau principal (km)
- Altitude maximale (m)
- Altitude minimale (m)
- Pente moyenne (m/m)
- Longueur du rectangle équivalent (km).

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

- 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 (Km<sup>2</sup>)

### **VII.6.3 Le temps de concentration :**

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

#### **a- Superficie inférieure à 5 km<sup>2</sup> :**

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

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

- Tc : temps de concentration (heure) ;
- S : superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>) ;
- I : pente moyenne du bassin versant (m/m).

**b- Superficie comprise entre 5 et 25 Km<sup>2</sup> :**

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

$$Tc = 0.1 \times \frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt{I}}$$

- Tc : temps de concentration (heure) ;
- S : superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>) ;
- L : longueur du cours d'eau principal (Km) ;
- I : pente moyenne du bassin versant (m/m).

**c- Superficie supérieure à 25 Km<sup>2</sup> :**

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

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

- Tc : temps de concentration (heure) ;
- S : superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>) ;
- L : longueur du cours d'eau principal (Km) ;
- Hmoy : altitude moyenne (m) ;
- Hmin: Altitude minimale (m).

Les caractéristiques des paramètres des bassins versants des oueds traversant la nouvelle ligne Ghardaïa – El Ménée (du PK 27+075 au PK 38+969) sont mentionnées dans le tableau récapitulatif suivant :

**Tableau VII.12 : Les caractéristiques des paramètres des bassins versants des oueds traversant la nouvelle ligne**

**Ghardaïa – El Ménéa (du PK 27+075 au PK 38+969)**

| BV   | PK        | S       | Périm  | L     | Hmax | Hmin  | Hmoy  | I      | Kc   | Leq    | Tc    |
|------|-----------|---------|--------|-------|------|-------|-------|--------|------|--------|-------|
|      |           | (km²)   | (km)   | (km)  | (m)  | (m)   | (m)   | (m/m)  |      | (km)   | (h)   |
| BV1  | PK 27+075 | 0.1     | 1.37   | 0.33  | 430  | 420   | 425   | 0.03   | 1.21 | 0.47   | 0.23  |
| BV2  | PK 27+425 | 0.04    | 0.87   | 0.1   | 423  | 422.6 | 422.8 | 0.004  | 1.27 | 0.32   | 0.39  |
| BV3  | PK 28+328 | 1733.65 | 255.19 | 97.44 | 715  | 406   | 560   | 0.003  | 1.73 | 112.14 | 31.45 |
| BV4  | PK 29+636 | 5.88    | 13.66  | 5.92  | 496  | 411   | 453   | 0.01   | 1.59 | 5.82   | 2.94  |
| BV5  | PK 30+177 | 0.95    | 4.52   | 1.43  | 428  | 411   | 419   | 0.01   | 1.31 | 1.71   | 1.12  |
| BV6  | PK 30+642 | 0.11    | 1.3    | 0.16  | 412  | 411.6 | 411.8 | 0.002  | 1.1  | -      | 0.97  |
| BV7  | PK 31+393 | 0.33    | 2.23   | 0.55  | 413  | 405   | 409   | 0.01   | 1.1  | -      | 0.61  |
| BV8  | PK 31+794 | 14.41   | 20.23  | 7.03  | 502  | 403   | 452   | 0.01   | 1.5  | 8.4    | 4.24  |
| BV9  | PK 32+335 | 0.01    | 0.46   | 0.09  | 405  | 404   | 404   | 0.01   | 1.36 | 0.18   | 0.13  |
| BV10 | PK 32+431 | 0.01    | 0.42   | 0.08  | 409  | 407   | 408   | 0.02   | 1.23 | 0.15   | 0.08  |
| BV11 | PK 32+973 | 0.01    | 0.46   | 0.1   | 425  | 421   | 423   | 0.05   | 1.13 | 0.12   | 0.07  |
| BV12 | PK 33+073 | 0.01    | 0.49   | 0.09  | 429  | 428.7 | 428.8 | 0.003  | 1.15 | 0.15   | 0.23  |
| BV13 | PK 33+260 | 0.02    | 0.58   | 0.14  | 437  | 436.8 | 436.9 | 0.001  | 1.09 | -      | 0.5   |
| BV14 | PK 33+300 | 0.01    | 0.39   | 0.13  | 448  | 429   | 438   | 0.15   | 1.33 | 0.15   | 0.03  |
| BV15 | PK 33+608 | 0.03    | 0.81   | 0.14  | 453  | 452.7 | 452.8 | 0.002  | 1.25 | 0.29   | 0.51  |
| BV16 | PK 33+780 | 0.03    | 0.65   | 0.14  | 456  | 451   | 453   | 0.03   | 1.11 | -      | 0.12  |
| BV17 | PK 34+000 | 0.03    | 0.66   | 0.19  | 453  | 449   | 451   | 0.02   | 1.08 | -      | 0.16  |
| BV18 | PK 34+714 | 0.09    | 1.26   | 0.27  | 452  | 430   | 441   | 0.08   | 1.2  | 0.42   | 0.13  |
| BV19 | PK 35+040 | 0.01    | 0.55   | 0.07  | 456  | 441   | 448   | 0.24   | 1.3  | 0.2    | 0.03  |
| BV20 | PK 35+506 | 0.04    | 0.83   | 0.17  | 462  | 460   | 461   | 0.01   | 1.24 | 0.3    | 0.22  |
| BV21 | PK 36+023 | 0.1     | 1.57   | 0.4   | 470  | 452   | 461   | 0.05   | 1.38 | 0.62   | 0.19  |
| BV22 | PK 36+250 | 0.17    | 1.98   | 0.65  | 462  | 461.5 | 461.7 | 0.0008 | 1.36 | 0.77   | 1.89  |
| BV23 | PK 36+516 | 0.19    | 2.45   | 0.98  | 470  | 433   | 452   | 0.04   | 1.6  | 1.05   | 0.28  |

|             |           |       |       |       |     |     |     |      |      |      |      |
|-------------|-----------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| <b>BV24</b> | PK 36+763 | 0.26  | 3.04  | 1.23  | 465 | 438 | 452 | 0.02 | 1.67 | 1.32 | 0.44 |
| <b>BV25</b> | PK 36+969 | 0.29  | 3.53  | 1.5   | 470 | 426 | 448 | 0.03 | 1.86 | 1.59 | 0.4  |
| <b>BV26</b> | PK 37+550 | 28.95 | 29.79 | 12.24 | 524 | 422 | 473 | 0.01 | 1.56 | 12.6 | 7    |
| <b>BV27</b> | PK 38+129 | 3.3   | 8.8   | 3.32  | 465 | 420 | 443 | 0.01 | 1.37 | 3.45 | 1.96 |
| <b>BV28</b> | PK 38+356 | 0.16  | 1.78  | 0.65  | 429 | 419 | 424 | 0.02 | 1.24 | 0.63 | 0.41 |
| <b>BV29</b> | PK 38+969 | 0.01  | 0.47  | 0.15  | 429 | 426 | 428 | 0.02 | 1.36 | 0.18 | 0.08 |

- BV : numéro du bassin versant ;
- S : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>);
- P : Périmètre du bassin versant (Km);
- L : 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.

## VII.7. Calcul débit des bassins versant (les crues) :

La détermination du débit maximal d'un cours d'eau constitue une étape essentielle, compte tenu des impacts **potentiellement destructeurs** des crues sur les infrastructures. Dans le cadre de la conception d'aménagements, notamment ferroviaires, il est indispensable d'évaluer la crue de référence, généralement la crue centennale, afin de garantir le dimensionnement et la sécurité des ouvrages hydrauliques.

La crue centennale est caractérisée par les paramètres suivants :

- Le débit maximal ( $Q_{max}$ ).
- La durée de la crue.
- Le volume total écoulé.

L'estimation des débits maximaux au droit des points de franchissement des écoulements par le tracé ferroviaire repose sur l'utilisation de formules empiriques. Ces dernières intègrent à la fois les caractéristiques pluviométriques et les paramètres physiques des bassins versants.

Les principaux paramètres pris en compte sont les suivants :

### VII.7.1. Formule Rationnelle

$$Q_{max} = \frac{Cr \times I \times S}{3.6}$$

$Q_{max}$  : 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 ( $Km^2$ ).

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

$$C_{10} = C1 + C2 + C3$$

Avec

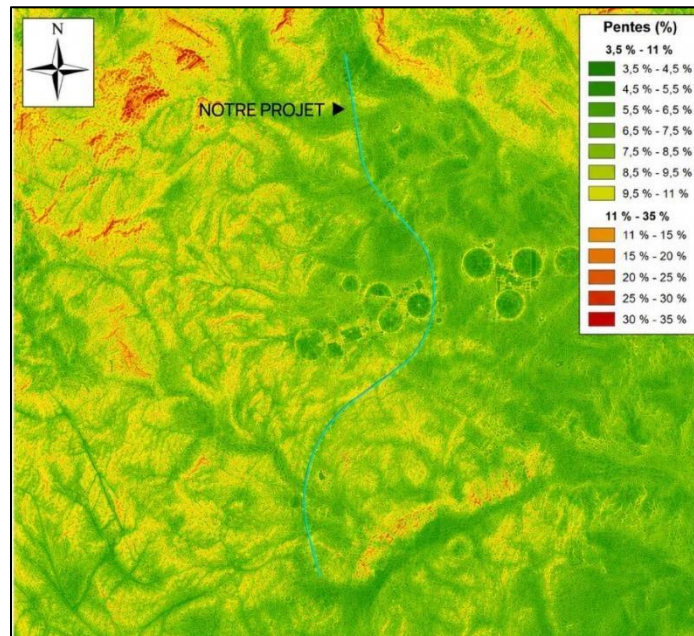
$C_{10}$  : coefficient de ruissellement ;

- $C1$  : dépend de la pente du cours d'eau principal (I), il vari

**Tableau VII.13 Valeur de C1**

| La pente (I)                  | C1                 |
|-------------------------------|--------------------|
| <b>I &lt; 3.5 %</b>           | <b>0.01 - 0.05</b> |
| <b>3.5 % &lt; I &lt; 11 %</b> | <b>0.06 - 0.1</b>  |
| <b>11 % &lt; I &lt; 35%</b>   | <b>0.12 - 0.2</b>  |
| <b>I &gt;35 %</b>             | <b>0.22 - 0.3</b>  |

Les valeurs des pentes utilisées dans notre étude ont été extraites directement de la carte des pentes, réalisée spécifiquement pour les différents bassins versants traversés par notre projet. Cette cartographie est illustrée à la figure ci-dessous :



**Figure VII.12 : Carte des pentes des bassins versants traversés par le tracé du projet**

➤ C2 : dépend de la perméabilité du terrain, il varie :

**Tableau VII.14 : Valeur de C2**

| La perméabilité                          | C2                 |
|------------------------------------------|--------------------|
| <b>Les terrains imperméables</b>         | <b>0.22 – 0.3</b>  |
| <b>Les terrains pas assez perméables</b> | <b>0.1 – 0.2</b>   |
| <b>Les terrains perméables</b>           | <b>0.06 – 0.1</b>  |
| <b>Les terrains très perméables</b>      | <b>0.06 – 0.05</b> |

Les valeurs de la perméabilité ont été estimées en utilisant la carte géologique de la région de Ghardaïa-El Ménée au 1/500 000 **Chapitre VIII (Figure VIII.4).**

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

**Tableau VII.15 : Valeur de C3**

| La couverture végétale         | C3          |
|--------------------------------|-------------|
| Les terrains rocheux           | 0.22 – 0.3  |
| Les Prés                       | 0.17 – 0.25 |
| Les champs labours             | 0.07 – 0.15 |
| Les forêts et les sols sableux | 0.03– 0.05  |

Puis il faut suivi une démarche de transition pour calculer le coefficient de ruissèlement correspondant à une période de retour supérieur à 10 ans :

- Pour  $C_{10} < 0,8$  on a :

$$P_0 = \left(1 - \frac{C_{10}}{0.8}\right) \times P_{10}$$

- $P_0$  en mm
- $P_{10}$  = hauteur de la pluie journalière décennale en mm

Coefficient de ruissellement  $C_T$  pour une période de retour  $T > 10$  ans :

$$C_T = 0.8 \times \left(1 - \frac{P_0}{P_T}\right)$$

- $P_T$  = pluie journalière de période de retour  $T$

- Pour  $C_{10} < 0,8$  :  $C_T = C_{10}$

#### **VII.7.4. Formule de Mallet-Gauthier**

Cette formule a pour but de l'estimation de la crue de période de retour  $T$ , elle s'exprime par :

$$Q_T = 2 \times \log(1 + AxP) \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1 + 4 \log(T) - \log(S)}$$

Avec :

- $Q_T$  : Débit de pointe (m3/s) de période de retour  $T$ ,
- $S$  : Superficie du bassin versant (km2),
- $L$  : Longueur du thalweg principal (km),
- $P$  : Hauteur moyenne des précipitations (m),
- $T$  : Période de retour (année).
- $K$  : Constante comprise entre 1 et 3 ;  $K = 3.0$
- $A$  : Coefficient régional du bassin, varie entre 20 et 30 on prend [ $A = 25$ ]

Cette formule a été utilisée dans le bassin numéro 3, la résultat la plus défavorable a été retenue entre les formules (Mallet-Gauthier / Turazza / Possenti)

#### **VII.7.5. Exemple de calcul pour le BV 01 :**

Coefficient de ruissellement

C1 = 0.05 (I < 3.5 %)

C2 = 0.1 (Les terrains pas assez perméables)

C3 = 0.3 (Les terrains rocheux)

$$C_{10} = 0.05 + 0.1 + 0.3 = 0.45$$

$C_{10} < 0.8$  alors :

$$P_0 = \left(1 - \frac{C_{10}}{0.8}\right) \times P_{10}$$

$$P_0 = \left(1 - \frac{0.45}{0.8}\right) \times 34.5 = 15.093$$

$$C_{100} = 0.8 \times \left(1 - \frac{P_0}{P_{100}}\right)$$

$$C_{100} = 0.8 \times \left(1 - \frac{15.093}{56.2}\right) = 0.58$$

Calcul de débit par la méthode rationnelle

$$Q_{max} = \frac{Cr \times I \times S}{3.6}$$

D'après le tableau on a  $T_c = 0.23h$  alors

$$I = \frac{31.6}{0.23^{0.82}} = 105.455 \text{ mm/h}$$

$$Q_{max} = \frac{0.58 \times 105.455 \times 0.1}{3.6} = 1.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Tableau VII.16 : Résultats des valeurs des débits calculés pour la crue centennale**  
**Pour la ligne ferroviaire Ghardaïa – El Ménéa, entre le PK 27+075 et le PK 38+969.**

| <b>BV</b>   | <b>PK</b> | <b>S (km<sup>2</sup>)</b> | <b>L (km)</b> | <b>C100</b> | <b>Tc (h)</b> | <b>I (mm/h)</b> | <b>Méthode utilisée</b> | <b>Q100 (m<sup>3</sup>/s)</b> |
|-------------|-----------|---------------------------|---------------|-------------|---------------|-----------------|-------------------------|-------------------------------|
| <b>BV1</b>  | PK 27+075 | 0.1                       | 0.33          | 0.58        | 0.23          | 105.46          | Rationnelle             | 1.70                          |
| <b>BV2</b>  | PK 27+425 | 0.04                      | 0.87          | 0.57        | 0.39          | 68.39           | Rationnelle             | 0.43                          |
| <b>BV3</b>  | PK 28+328 | 1733.65                   | 97.44         | --          | 31.45         | 1.87            | Mallet-Gauthier         | 1070.5                        |
| <b>BV4</b>  | PK 29+636 | 5.88                      | 5.92          | 0.57        | 2.94          | 13.05           | Rationnelle             | 12.15                         |
| <b>BV5</b>  | PK 30+177 | 0.95                      | 1.43          | 0.57        | 1.12          | 28.80           | Rationnelle             | 4.33                          |
| <b>BV6</b>  | PK 30+642 | 0.11                      | 0.16          | 0.57        | 0.97          | 32.40           | Rationnelle             | 0.56                          |
| <b>BV7</b>  | PK 31+393 | 0.33                      | 0.55          | 0.57        | 0.61          | 47.39           | Rationnelle             | 2.48                          |
| <b>BV8</b>  | PK 31+794 | 14.41                     | 7.03          | 0.57        | 4.24          | 9.67            | Rationnelle             | 22.06                         |
| <b>BV9</b>  | PK 32+335 | 0.01                      | 0.09          | 0.57        | 0.13          | 168.37          | Rationnelle             | 0.27                          |
| <b>BV10</b> | PK 32+431 | 0.01                      | 0.08          | 0.58        | 0.08          | 250.70          | Rationnelle             | 0.40                          |
| <b>BV11</b> | PK 32+973 | 0.01                      | 0.1           | 0.62        | 0.07          | 279.71          | Rationnelle             | 0.48                          |
| <b>BV12</b> | PK 33+073 | 0.01                      | 0.09          | 0.57        | 0.23          | 105.46          | Rationnelle             | 0.17                          |
| <b>BV13</b> | PK 33+260 | 0.02                      | 0.14          | 0.57        | 0.5           | 55.79           | Rationnelle             | 0.18                          |
| <b>BV14</b> | PK 33+300 | 0.01                      | 0.13          | 0.66        | 0.03          | 560.33          | Rationnelle             | 1.03                          |
| <b>BV15</b> | PK 33+608 | 0.03                      | 0.14          | 0.57        | 0.51          | 54.89           | Rationnelle             | 0.26                          |
| <b>BV16</b> | PK 33+780 | 0.03                      | 0.14          | 0.58        | 0.12          | 179.79          | Rationnelle             | 0.87                          |
| <b>BV17</b> | PK 34+000 | 0.03                      | 0.19          | 0.58        | 0.16          | 142.01          | Rationnelle             | 0.69                          |
| <b>BV18</b> | PK 34+714 | 0.09                      | 0.27          | 0.62        | 0.13          | 168.37          | Rationnelle             | 2.61                          |

|             |           |       |       |      |      |        |             |       |
|-------------|-----------|-------|-------|------|------|--------|-------------|-------|
| <b>BV19</b> | PK 35+040 | 0.01  | 0.07  | 0.66 | 0.03 | 560.33 | Rationnelle | 1.03  |
| <b>BV20</b> | PK 35+506 | 0.04  | 0.17  | 0.57 | 0.22 | 109.37 | Rationnelle | 0.69  |
| <b>BV21</b> | PK 36+023 | 0.1   | 0.4   | 0.62 | 0.19 | 123.34 | Rationnelle | 2.12  |
| <b>BV22</b> | PK 36+250 | 0.17  | 0.65  | 0.57 | 1.89 | 18.75  | Rationnelle | 0.50  |
| <b>BV23</b> | PK 36+516 | 0.19  | 0.98  | 0.62 | 0.28 | 89.75  | Rationnelle | 2.94  |
| <b>BV24</b> | PK 36+763 | 0.26  | 1.23  | 0.58 | 0.44 | 61.95  | Rationnelle | 2.60  |
| <b>BV25</b> | PK 36+969 | 0.29  | 1.5   | 0.58 | 0.4  | 66.99  | Rationnelle | 3.13  |
| <b>BV26</b> | PK 37+550 | 28.95 | 12.24 | 0.57 | 7    | 6.41   | Rationnelle | 29.38 |
| <b>BV27</b> | PK 38+129 | 3.3   | 3.32  | 0.57 | 1.96 | 18.20  | Rationnelle | 9.51  |
| <b>BV28</b> | PK 38+356 | 0.16  | 0.65  | 0.58 | 0.41 | 65.65  | Rationnelle | 1.69  |
| <b>BV29</b> | PK 38+969 | 0.01  | 0.15  | 0.58 | 0.08 | 250.70 | Rationnelle | 0.40  |

## VII.8. Étude hydraulique

Dans les zones exposées à des phénomènes hydrologiques extrêmes, notamment les crues et les épisodes de fortes précipitations, la réalisation d'une étude hydraulique constitue une étape essentielle pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques, qu'ils soient transversaux ou longitudinaux le long des infrastructures ferroviaires.

Ces études visent à garantir la capacité des ouvrages à évacuer efficacement les débits générés lors d'événements pluvieux exceptionnels, tout en assurant la durabilité des installations ferroviaires ainsi que la sécurité des usagers et du personnel d'exploitation.

### VII.8.1. Méthode de Manning-Strickler

#### VII.8.1.1. Débit de saturation

L'approche adoptée consiste à vérifier que les ouvrages de drainage sont correctement dimensionnés pour assurer l'évacuation des débits issus de précipitations exceptionnelles, en évitant tout risque de mise en charge ou d'engorgement en conditions hydrologiques sévères.

Par ailleurs, le dimensionnement doit garantir des vitesses d'écoulement compatibles avec la stabilité des ouvrages. À titre indicatif, dans les canaux en béton, les vitesses sont généralement limitées à 4 m/s afin de prévenir les phénomènes d'érosion ou de dégradation structurelle.

L'évaluation de la capacité hydraulique des ouvrages repose sur l'application de la formule de Manning-Strickler équation, permettant d'estimer le débit maximal admissible (débit de saturation) des dispositifs d'assainissement, qu'ils soient longitudinaux ou transversaux.

$$Q_S = K_S R_h^{2/3} I^{1/2} \quad R_h = \frac{S_m}{P_m}$$

Avec :

- $Q_S$  [m<sup>3</sup>/s] : Débit de saturation de l'ouvrage.
- $K_S$  : Coefficient de rugosité pour le béton  $K_S=70$ .
- $S_m$  [m<sup>2</sup>] : Section mouillée de l'ouvrage hydraulique.
- $R_h$  [m] : Rayon hydraulique.
- $I$  [m/m] : Pente longitudinale de l'ouvrage.

#### VII.8.1.2. Vérification des conditions d'auto-curage

L'auto-curage correspond à l'aptitude d'une conduite d'assainissement à assurer le transport des particules solides en évitant leur sédimentation et leur dépôt au sein du réseau. Ainsi, une bonne condition d'auto-curage nécessite une capacité de transport suffisante afin de maintenir les particules en suspension et garantir le bon fonctionnement hydraulique de la conduite.

La vérification des conditions d'auto-curage repose sur les critères suivants :

- $V > 0,6$  m/s Pour  $Q = 0,1 Q_{ps}$  ;

- $V > 0,3 \text{ m/s}$  Pour  $Q = 0,01 Q_{ps}$  ;
- $V_{ps} < 4.45 \text{ m/s}$ .

Le rayon vertical est défini par la relation suivante :

$$R_v = \frac{V}{V_{ps}}$$

## **VII.8.2. Dimensionnement des ouvrages de drainage transversaux**

### *VII.8.2.1. Dimensionnement des dalots :*

Le dalot est un ouvrage hydraulique de faible ouverture, généralement constitué d'un canal couvert par une dalle en béton armé. Il peut également prendre la forme d'un élément de caniveau ou d'un petit aqueduc semi-enterré, implanté sous les remblais routiers ou ferroviaires afin d'assurer l'évacuation des eaux de ruissellement et le franchissement des écoulements transversaux.

Le dimensionnement des dalots repose sur l'évaluation de plusieurs paramètres hydrauliques fondamentaux, définis comme suit :

- **Surface mouillée  $S_m$  ( $\text{m}^2$ ) :**

$$S_m = 0.8H \times B$$

- **Périmètre mouillé  $P_m$  (m) :**

$$P_m = 2 \times 0.8H + B$$

- **Rayon hydraulique  $R_h$  (m) :**

$$R_h = \frac{S_m}{P_m}$$

Dans le cadre du dimensionnement, les hypothèses suivantes sont adoptées :

- La pente longitudinale de la buse est fixée à :

$$I = 0.01$$

- Pour une hauteur totale  $H_t \leq 2,5 \text{ m}$ , la hauteur utile est prise égale à 80 % de la hauteur totale :

$$H_u = 0.8H_t$$

- Pour une hauteur totale  $H_t > 2,5 \text{ m}$ , la hauteur utile est déterminée par :

$$H_u = H_t - 0.5$$

Satisfactions définitives de l'ouvrage sont retenues lorsque la capacité hydraulique du dalot satisfait la condition suivante :

$$Q_a \leq Q_s$$

#### VII.8.2.2. EXEMPLE DE CALCULE

##### ❖ BASSIN VERSENT N°01

Une proposition de dalot de dimensions  $B = 1.5$  m (largeur) et  $H = 1,5$  m (hauteur) a été retenue. Le calcul du débit de saturation est réalisé afin de vérifier la capacité hydraulique de l'ouvrage.

Le débit de saturation est déterminé à l'aide de la formule de Manning-Strickler :

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

En remplaçant par les valeurs calculées :

$$Q_s = 70 \times (1.5 \times 1.5 \times 0.8) \times \left( \frac{1.5 \times 1.5 \times 0.8}{1.5 \times 0.8 \times 2 + 1.5} \right)^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{0.005}$$

On obtient :

$$Q_s = 5.32 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### **Vérification de la condition d'écoulement fluvial**

La hauteur critique est calculée par la relation suivante :

$$H_{cr} = \sqrt[3]{\frac{Q_s^2}{g \times b^2}}$$

Application numérique :

$$H_{cr} = \sqrt[3]{\frac{5.32^2}{9.8 \times 1.5^2}} = 1.03 \text{ m}$$

La condition d'écoulement fluvial est alors vérifiée puisque :

$$H_{cr} < 0.8H = 1.2 \text{ m}$$

Par conséquent, l'écoulement dans le dalot reste en régime fluvial.

#### **Vérification de la condition d'auto-curage**

La vitesse à pleine section est donnée par :

$$V_{ps} = \frac{Q_{ps}}{S_{ps}}$$

Soit :

$$V_{ps} = \frac{5.32}{1.8} = 2.95 \text{ m/s}$$

Pour  $\frac{Q_a}{Q_{ps}} = 0.1$

On a :

$$\frac{V}{V_{ps}} = 0.638$$

D'où :

$$V = V_{ps} \times 0.638 = 4.45 \times 0.638 = 2.84 \text{ m/s}$$

La condition d'auto-curage est satisfaite puisque :

$$V > 0.6 \text{ m/s}$$

Pour  $\frac{Q_a}{Q_{ps}} = 0.01$

On obtient :

$$\frac{V}{V_{ps}} = 0.315$$

Ainsi :

$$V = V_{ps} \times 0.315 = 2.95 \times 0.315 = 0.93 \text{ m/s}$$

Cette valeur reste supérieure à la vitesse minimale admissible :

$$V > 0.3 \text{ m/s}$$

Les conditions d'auto-curage sont donc pleinement respectées pour l'ouvrage proposé.

**Tableau VII.17 Résultats du dimensionnement**

| N° BV | PK     | Q100<br>(m3/s) | Ouvrage<br>Hydrolique                                          | Dimension de l'ouvrage<br>(m) |     | Pente | Qps<br>(m3/s) | VPS<br>(m/s) | Vérification<br>des condition<br>d'auto curage |
|-------|--------|----------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----|-------|---------------|--------------|------------------------------------------------|
|       |        |                |                                                                | B                             | H   |       |               |              |                                                |
| 1     | 27+075 | 1.70           | DALOT                                                          | 1.5                           | 1.5 | 0.005 | 5.32          | 2.96         | OK                                             |
| 2     | 27+425 | 0.43           | Déverser dans l'Assainissement longitudinal du déblai          |                               |     |       |               |              |                                                |
| 3     | 28+328 | 1070.5         | Ouvrage d'Art (voir le chapitre « les contrantes existantes ») |                               |     |       |               |              |                                                |
| 4     | 29+636 | 12.15          | DALOT                                                          | 3                             | 2   | 0.005 | 20.03         | 4.17         | OK                                             |
| 5     | 30+177 | 4.33           | DALOT                                                          | 1.5                           | 1.5 | 0.005 | 5.32          | 2.96         | OK                                             |
| 6     | 30+642 | 0.56           | Déverser dans l'Assainissement longitudinal du déblai          |                               |     |       |               |              |                                                |
| 7     | 30+393 | 2.48           | DALOT                                                          | 1.5                           | 1.5 | 0.005 | 5.32          | 2.96         | OK                                             |
| 8     | 31+794 | 22.6           | 3 * DALOT                                                      | 2                             | 2   | 0.005 | 34.38         | 4.17         | OK                                             |
| 9     | 32+335 | 0.27           | DALOT                                                          | 1.5                           | 1.5 | 0.005 | 5.32          | 2.96         | OK                                             |
| 10    | 32+431 | 0.40           | DALOT                                                          | 1.5                           | 1.5 | 0.005 | 5.32          | 2.96         | OK                                             |
| 11    | 32+973 | 0.48           | DALOT                                                          | 1.5                           | 1.5 | 0.005 | 5.32          | 2.96         | OK                                             |
| 12    | 33+073 | 0.17           | DALOT                                                          | 1.5                           | 1.5 | 0.005 | 5.32          | 2.96         | OK                                             |
| 13    | 33+260 | 0.18           | DALOT                                                          | 1.5                           | 1.5 | 0.005 | 5.32          | 2.96         | OK                                             |
| 14    | 33+300 | 1.03           | DALOT                                                          | 1.5                           | 1.5 | 0.005 | 5.32          | 2.96         | OK                                             |
| 15    | 33+608 | 0.26           | DALOT                                                          | 1.5                           | 1.5 | 0.005 | 5.32          | 2.96         | OK                                             |
| 16    | 33+780 | 0.87           | DALOT                                                          | 1.5                           | 1.5 | 0.005 | 5.32          | 2.96         | OK                                             |
| 17    | 34+000 | 0.69           | DALOT                                                          | 1.5                           | 1.5 | 0.005 | 5.32          | 2.96         | OK                                             |
| 18    | 34+714 | 2.61           | DALOT                                                          | 1.5                           | 1.5 | 0.005 | 5.32          | 2.96         | OK                                             |
| 19    | 35+040 | 1.03           | DALOT                                                          | 1.5                           | 1.5 | 0.005 | 5.32          | 2.96         | OK                                             |
| 20    | 35+506 | 0.69           | DALOT                                                          | 1.5                           | 1.5 | 0.005 | 5.32          | 2.96         | OK                                             |
| 21    | 36+023 | 2.12           | DALOT                                                          | 1.5                           | 1.5 | 0.005 | 5.32          | 2.96         | OK                                             |
| 22    | 36+250 | 0.50           | DALOT                                                          | 1.5                           | 1.5 | 0.005 | 5.32          | 2.96         | OK                                             |
| 23    | 36+516 | 2.94           | DALOT                                                          | 1.5                           | 1.5 | 0.005 | 5.32          | 2.96         | OK                                             |
| 24    | 36+763 | 2.60           | DALOT                                                          | 1.5                           | 1.5 | 0.005 | 5.32          | 2.96         | OK                                             |
| 25    | 36+969 | 3.13           | DALOT                                                          | 1.5                           | 1.5 | 0.005 | 5.32          | 2.96         | OK                                             |

|    |        |       |           |     |     |       |       |      |    |
|----|--------|-------|-----------|-----|-----|-------|-------|------|----|
| 26 | 37+550 | 29.36 | 3 * DALOT | 2   | 2   | 0.005 | 34.38 | 4.17 | OK |
| 27 | 38+129 | 9.51  | DALOT     | 2   | 2   | 0.005 | 11.46 | 3.58 | OK |
| 28 | 38+356 | 1.69  | DALOT     | 1.5 | 1.5 | 0.005 | 5.32  | 2.96 | OK |
| 29 | 38+969 | 0.40  | DALOT     | 1.5 | 1.5 | 0.005 | 5.32  | 2.96 | OK |

Avec :

- B : largeur de l'ouvrage (m).
- H : hauteur de l'ouvrage (m).
- $Q_{ps}$  : débit à pleine section ( $m^3 /s$ ).
- V : vitesse d'écoulement dans le dalot (m/s)

### VII.8.3. Assainissement longitudinal

Les dispositifs d'assainissement longitudinal assurent la collecte et l'évacuation des eaux pluviales provenant de la plateforme ferroviaire, du ruissellement des talus et des bassins versants adjacents, ainsi que des éventuelles eaux souterraines. Leur rôle est de préserver la stabilité et la durabilité des infrastructures en limitant les effets néfastes de l'eau sur les couches d'assise.

Les eaux de surface sont généralement interceptées et évacuées par des ouvrages de drainage superficiel. En revanche, la présence d'eaux internes ou d'une nappe phréatique requiert la mise en œuvre de dispositifs de drainage profond, destinés à abaisser le niveau de la nappe et à assurer l'assainissement efficace de la plateforme.

La conception du réseau de drainage longitudinal doit garantir la continuité hydraulique des écoulements depuis leur point de collecte jusqu'à l'exutoire final, assurant ainsi le bon fonctionnement de l'ensemble du système d'assainissement.

#### VII.8.3.1. Dimensionnement des fossés

Le dimensionnement des fossés vise à assurer la collecte et l'évacuation efficace des eaux de ruissellement provenant des talus et des terrains adjacents vers les exutoires prévus. Ces ouvrages de drainage longitudinal jouent un rôle essentiel dans la maîtrise des écoulements superficiels, la protection de la plateforme ferroviaire et la préservation de la stabilité des talus. Leur conception doit permettre d'acheminer les débits générés lors des épisodes pluvieux de référence tout en évitant les phénomènes d'érosion, de stagnation d'eau ou de dégradation des infrastructures. Ainsi, un dimensionnement adéquat des fossés contribue directement à la sécurité, à la durabilité et au bon fonctionnement de la voie ferrée.

Le type de fossé retenu pour ce projet est le type A 01.

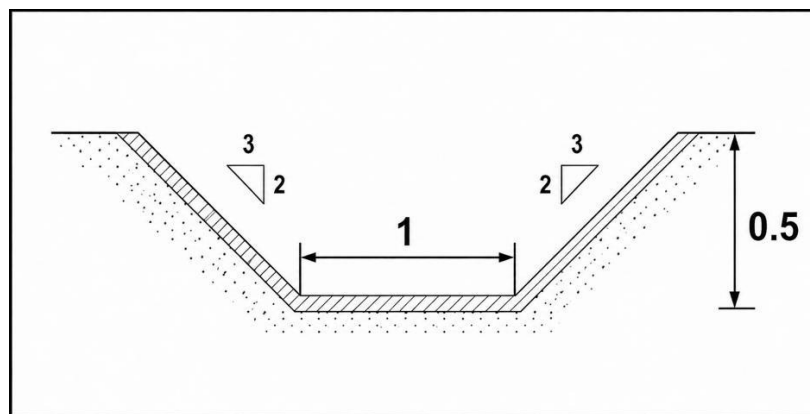


Figure VII.13 : fossé type A01

#### **Débit de saturation des fossé type A01 :**

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

$$Sm = (b + z \times h) \times h = 0.875 \text{ m}^2 \quad (z : 1/ \text{la pente} = 3/2)$$

$$Pm = b + 2 h \times \sqrt{1 + z^2} = 2.8 \text{ m}^2$$

$$R_H = \frac{Sm}{Pm} = 0.3125 \text{ m}$$

Pour une pente de fossé de 2 % on trouve

$$Q_{ps} = K_s Sm R_h^{2/3} I^{1/2} = 3.99 \text{ m}^3$$

### ❖ Hypothèses de dimensionnement :

Le débit global qu'il est nécessaire d'évacuer résulte de la sommation des apports d'eau de chaque sous-surface de l'infrastructure, englobant la plateforme, les talus et les bermes. Ce principe d'accumulation s'exprime par l'équation :

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

Pour l'assainissement des zones en déblai, les fossés latéraux sont conçus avec une inclinaison permettant une évacuation gravitaire efficace des eaux de ruissellement.

Afin d'adopter une marge de sécurité optimale lors du dimensionnement, l'étude hydrologique se focalise sur le cas de figure le plus critique. Ce scénario défavorable correspond à l'étude d'un tronçon (en remblai ou en déblai) s'étendant sur une distance importante et présentant une hauteur de talus conséquente.

Les débits sont évalués à l'aide de la méthode rationnelle, selon la formule suivante :

$$Q = 0.278 \times C_r \times A$$

Avec :

- $Q$  [ $m^3/s$ ] : Débit de crue généré,
- $C_r$  : Coefficient de ruissellement (pris 0.9 pour la plateforme et 0.4 pour les talus),
- $I$  [ $m/m$ ] : Pente longitudinale,
- $A$  [ $km^2$ ] : Superficie du bassin versant concerné (la plateforme, les talus et les bermes).

**Tableau VII.18 : calcul de débit pour remblai et déblai**

|            |                 | Cas Remblai                                                                                        | Cas déblai                                                                                                          |
|------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            |                 | Le cas plus défavorable :<br>▪ Longueur = 1650m<br>▪ H talus=9.1m<br>▪ Largeur de la plateforme=8m | Le cas plus défavorable :<br>▪ Longueur = 1215m<br>▪ H talus=24m<br>▪ Berme=3m x 3<br>▪ Largeur de la plateforme=8m |
| Plateforme | $C_r$           | 0.9                                                                                                | 0.9                                                                                                                 |
|            | $P(m/m)$        | 0.04                                                                                               | 0.04                                                                                                                |
|            | $A(km^2)$       | 0.0132                                                                                             | 0.00972                                                                                                             |
|            | $T_c(h)$        | 0.0723                                                                                             | 0.0626                                                                                                              |
|            | $I(mm/h)$       | 272.4                                                                                              | 306.53                                                                                                              |
|            | $Q_{pf}(m^3/s)$ | 0.899                                                                                              | 0.745                                                                                                               |
| Talus      | $C_r$           | 0.4                                                                                                | 0.4                                                                                                                 |
|            | $P(m/m)$        | 2/3                                                                                                | 1/1                                                                                                                 |
|            | $A(km^2)$       | 0.015                                                                                              | 0.02916                                                                                                             |
|            | $T_c(h)$        | 0.019                                                                                              | 0.0217                                                                                                              |
|            | $I(mm/h)$       | 814.9                                                                                              | 731.15                                                                                                              |
|            | $Q (m^3/s)$     | 1.359                                                                                              | 2.37                                                                                                                |
| Berme      | $C_r$           | -                                                                                                  | 0.4                                                                                                                 |
|            | $P(m/m)$        | -                                                                                                  | 0.04                                                                                                                |
|            | $A(km^2)$       | -                                                                                                  | 0.010935                                                                                                            |
|            | $T_c(h)$        | -                                                                                                  | 0.0664                                                                                                              |
|            | $I(mm/h)$       | -                                                                                                  | 292.08                                                                                                              |
|            | $Q (m^3/s)$     | -                                                                                                  | 0.355                                                                                                               |

|                                |              |          |           |
|--------------------------------|--------------|----------|-----------|
| Qpf (m <sup>3</sup> /s) totale |              | 2.313    | 3.47      |
| Type de faussé                 |              | Type A01 |           |
| Vérifications                  | Qps > Qtotal | Oui      |           |
|                                | Vps < 4m/s   | 2.643m/s | 3.965 m/s |

### Dimensions des fossés proposé :

| B<br>(m) | H<br>(m) | Z<br>(m/m) | Sm<br>(m <sup>2</sup> ) | Pm<br>(m) | Rh<br>(m) | Ks | I<br>(m/m) | Q <sub>ps</sub><br>(m <sup>3</sup> /s) | V <sub>ps</sub> < 4<br>m/s |
|----------|----------|------------|-------------------------|-----------|-----------|----|------------|----------------------------------------|----------------------------|
| 1        | 0.5      | 3/2        | 0.875                   | 2.8       | 0.3125    | 70 | 0.02       | 3.99                                   | 3.96                       |

Les dimensions retenues pour les fossés sont celles qui répondent à la condition suivante :

- $Q_{total} < Q_{ps}$
- $V_{ps} < 4\text{m/s}$

# **CHAPITRE VIII : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE**

## **CHAPITRE VIII : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE**

### **VIII.1. Introduction**

L'étude géologique et géotechnique constitue une étape fondamentale dans la conception et l'exécution des projets de travaux publics. Elle repose sur l'analyse des sols et des formations rocheuses en vue d'établir des recommandations techniques appropriées pour la sécurité et la pérennité des ouvrages. Alors que la géologie contribue à la reconnaissance des aléas naturels, en particulier sismiques, la géotechnique permet d'apprécier le comportement du sol vis-à-vis des fondations et des structures enterrées.

L'association de ces deux approches conduit à l'élaboration de solutions techniques adaptées au contexte du site et aux exigences de durabilité des infrastructures.

### **VIII.2. Situation Et Description Du Projet**

Le projet de la nouvelle ligne Ghardaïa-Menea, d'un linéaire de 230 km, fait partie de la Boucle Sud-Ouest passant par les villes Mansourah et Hassi Lefhal, rentre programme dans d'étude ferroviaires nouvelles.

Le cadre des du lignes La ligne Ghardaïa-Menea fait partie de la nouvelle ligne Boucle Sud-Ouest, se trouve au Sud de l'Algérie et traverse la wilaya de Ghardaïa. Géographiquement la ligne est limitée :

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat.
- Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset.
- A l'Est par la Wilaya Ouargla.
- A l'Ouest par la wilaya de Adrar.

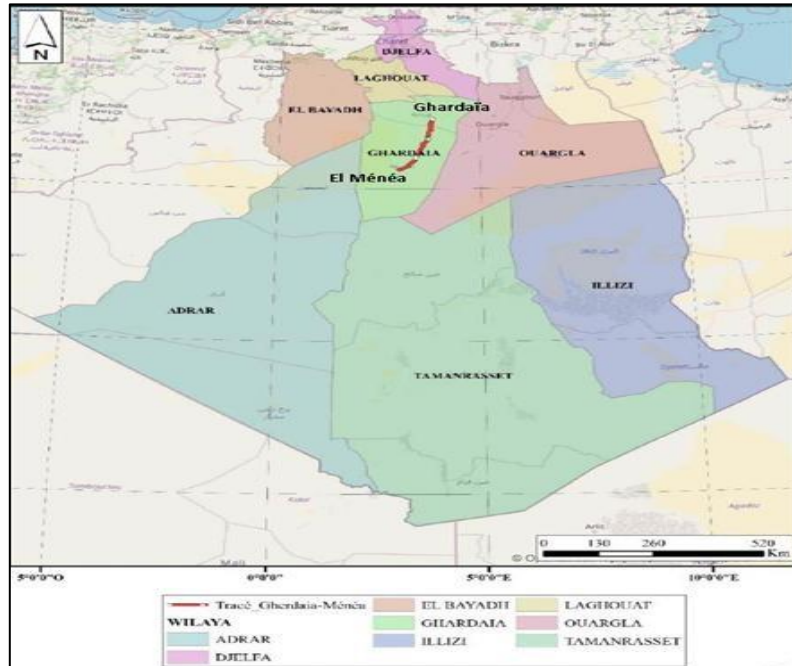
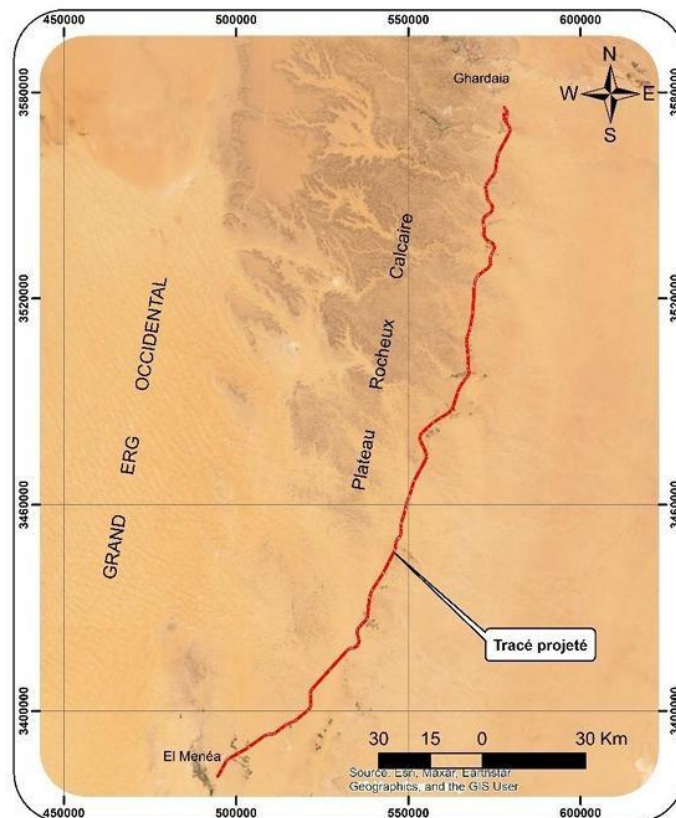


Figure VIII.1 : situation du tracé

### VIII.3. Cadre géologique

#### VIII.3.1. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude 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 El Menéa. La zone d'étude est caractérisée par un relief très accidenté formé par un réseau serré de ravines séparées par des crêtes ou des croupes. Les ravins sont sous l'action de l'érosion pluviale au début du Quaternaire. A la fin du tracé, la région d'El Menéa se trouve dans un couloir enserré entre les dernières dunes du grand erg occidental, la vallée de l'oasis est un lit alluvionnaire creusé dans un plateau caillouteux, composé de terrains agricoles très fertiles.



**Figure VIII.2 : Vue google earth du tracé**

### **VIII.3.2. 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 Cénomaniens. 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 Cénomaniens. On rencontre à El-Goléa deux structures naturelles caractéristiques du milieu désertique :

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

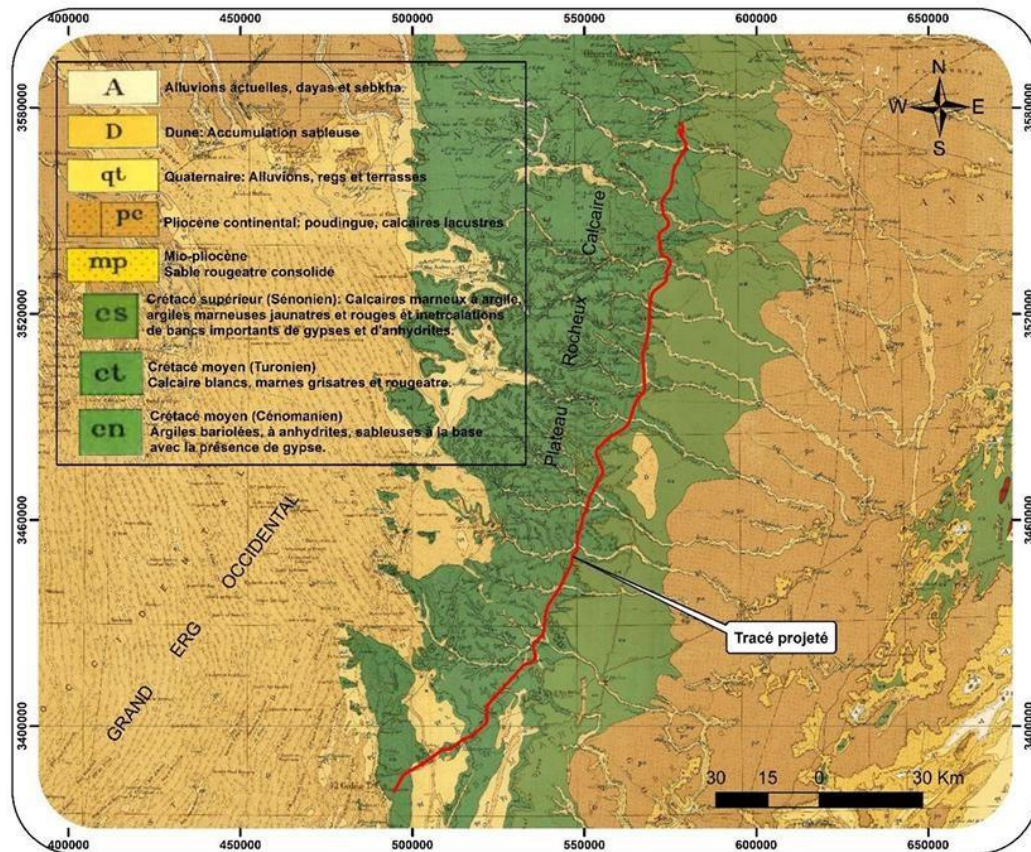
- La plaine ou la dépression allongée formée d'albien et de quaternaire qui recouvre les marnes, les grès et les sables rouges vraconiens. Le dépôt du quaternaire continental présente des épaisseurs zonalement très variables.



**Figure VIII.3 : Plateau crétacé du M'Zab aux environ du Pk 34+000**

La stratigraphie de la zone d'étude est caractérisée par des affleurements allant du Crétacé moyen et supérieur au Quaternaire :

- **Le Quaternaire** : Il correspond au dépôt de recouvrement alluvionnaire des vallées, formées de sables, galets et argiles tapissent le fond de la vallée de l'oued d'une épaisseur de 20 à 35 mètres.
- **Le Sénonien (Crétacé supérieur)** : Il 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)
- **Le Turonien** : Il est composé par des calcaires blancs, des marnes grisâtres et rougeâtres au sommet, blancs, grisâtre plus ou moins dur à marnes jaunâtres.
- **Le Cénomaniens** : Le Cénomaniens est composé par des argiles bariolées, marrons et grises à verdâtres plastiquées, à anhydrites, sableuse à la base avec la présence de gypse.
- **Le Vraconien** : C'est une formation argilo-sableuse de 50 mètres d'épaisseur environ. Il ressemble beaucoup à l'Albien, mais qui diffère par sa grande teneur en argile d'où son imperméabilité relative. En pratique le Vraconien constitue le toit imperméable de l'Albien quand il n'est pas érodé. Il forme le sous-sol d'El-Goléa.
- **L'Albien** : C'est un ensemble de sable, de grès, et d'argile rouge de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. Cette formation présente une grande importance puisqu'elle renferme la nappe aquifère au même nom ou la nappe de continentale intercalaire.



**Figure VIII.4 : Tracé projeté sur carte géologique d'Algérie 1/500 000**

### **VIII.3.3. Géologie locale (tronçon étudié)**

Selon les cartes géologiques on distingue les formations géologiques suivantes :

- Du PK 27+000 au PK 28+225 (Ct) : Le Turonien est composé de calcaires massifs durs: blancs grisâtres au centre.
- Du PK 28+225 au PK 29+125 (Qt+D): le Quaternaire est formé d'alluvions et de sables plus au moins grossiers, argileux, remplissant le bas-fond de la vallée d'oued Seb Seb, on remarque la présence de sable alluvionnaire (ensablement) dans ces bas-fonds de vallées.
- Du PK 29+125 au PK 39+000 (Ct) : Le Turonien est composé de calcaires massifs durs : blancs grisâtres au centre.

### **VIII.3.4. Sismicité**

D'après les règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art (RPOA, 2024) le territoire national est subdivisé en cinq (05) zones de sismicité croissante, définies ci-dessous:

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

D'après ce découpage notre région d'étude appartient à la zone 0, caractérisée par une sismicité négligeable.

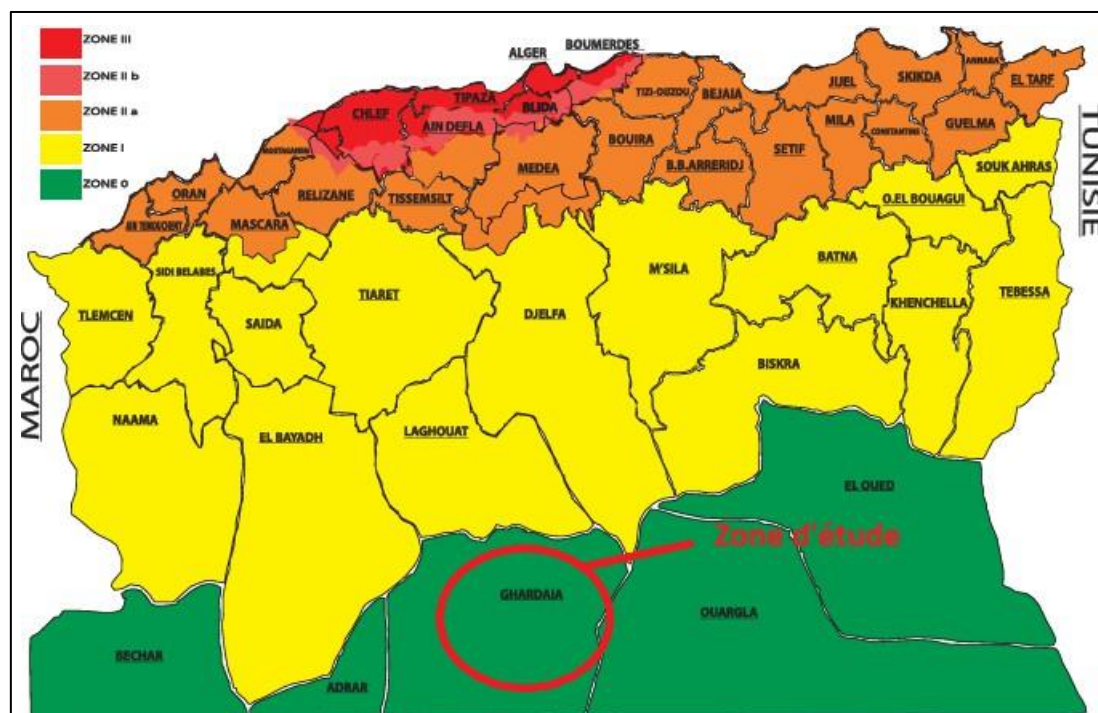


Figure VIII.5 : Carte de zonage sismique de l'Algérie (RPOA, 2024)

## VIII.4. Synthèse des résultats Géotechniques :

### VIII.4.1. Les essais in situ (du pk 27+ 000 au pk 39+000) :

#### VIII.4.1.1. Puits de reconnaissance

La reconnaissance géotechnique du site s'est appuyée sur un programme d'investigation élaboré spécifiquement en fonction de la localisation des aménagements projetés sur le tracé (ouvrages d'art, terrassements et ouvrages en terre). Les opérations menées sur le terrain ont consisté en :

- 10 sondages carottés, d'une profondeur variant de 12 à 25 mètres.
- 7 essais de pénétration dynamique, poussés jusqu'au refus le long du tracé.
- 4 essais pressiométriques
- 4 puits de reconnaissance.
- Une série d'essais complémentaires en laboratoire.

#### Interprétation des résultats des essais in-situ :

Les coupes des sondages carotté, des puits de reconnaissance, des sondages pressiométriques ont révélé le long du tracé la succession géologique suivante :

**Tableau VIII.1 : Interprétation des résultats des essais de reconnaissance superficielle  
(puits de reconnaissance)**

| N°Puits   | PK     | Profondeur (m) | Description Lithologique                                                |
|-----------|--------|----------------|-------------------------------------------------------------------------|
| P 01 GH-M | 21+625 | 0.00-0.10      | Sables gravelo-argileux renferment des fragments de grès et de calcaire |
|           |        | 0.10-0.20      | Dalle calcaire crayeux, beige blanchâtre moyennement dense et sec       |
| P 02 GH-M | 25+754 | 0.00-0.20      | Sables gravelo-argileux renferment des fragments de grès et de calcaire |
|           |        | 0.20-0.30      | Dalle calcaire crayeux, beige blanchâtre moyennement dense et sec       |
| P 03 GH-M | 29+440 | 0.00-0.30      | Sables argileux peu graveleux, de couleur rouge brunâtre                |
|           |        | 0.30-0.40      | Dalle calcaire crayeux, beige blanchâtre, moyennement dense             |
| P 04 GH-M | 46+600 | 0.00-0.15      | Sables gravelo-argileux renferment des fragments de grès                |
|           |        | 0.15-0.25      | Dalle calcaire crayeux, beige blanchâtre, moyennement dense             |

**Tableau VIII.2 : Interprétation des résultats des essais de reconnaissance approfondie  
(Sondages carotté et sondages pressiométriques)**

| Sondage    | PK     | Profondeur (m) | Nature du sol                                                                                                                |
|------------|--------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| F-01 GH-M  | 27+150 | 0.00 – 9.00    | Conglomérat broyé à matrice sablo-argileuse légèrement gypseuse, vacuolaire, contenant des fragments de grès et de calcaire. |
|            |        | 09.00 – 15.00  | Conglomérat sain, peu vacuolaire, à matrice sablo-argileuse légèrement gypseuse, avec fragments de grès et calcaire.         |
| F-02 GH-M  | 28+650 | 0.00 – 0.70    | Tout-venant de Reg                                                                                                           |
|            |        | 0.70 – 10.00   | Conglomérat vacuolaire sablo-argileux légèrement gypseux, à fragments de grès et calcaire, souvent broyé.                    |
| F-03 GH-M  | 33+600 | 0.00 – 4.00    | Encroûtement calcaire tufacé légèrement gypseux, induré et sec, contenant des graviers de grès et calcaire.                  |
|            |        | 4.00 – 10.00   | Calcaire sain, beige, dur, sec, sain à friable et fracturé par endroit                                                       |
| F-04 GH-M  | 29+300 | 0.00 – 1.50    | Sable grésifié, de couleur rougeâtre, récupéré broyé                                                                         |
|            |        | 1.50 – 16.00   | Grès calcaires, de couleur beige grise, récupéré broyé                                                                       |
| SP-01 GH-M | 30+000 | 00.00 – 01.50  | Sable alluvionnaire                                                                                                          |
|            |        | 01.50 – 03.50  | Calcaire fragmenté, beige                                                                                                    |
|            |        | 03.50 – 10.00  | Calcaire sain, beige, dur                                                                                                    |
| SP-02 GH-M | 34+500 | 00.00 – 01.80  | Sable alluvionnaire                                                                                                          |
|            |        | 01.80 – 10.00  | Calcaire sain, beige, dur                                                                                                    |
| SP-03 GH-M | 36+000 | 00.00 – 01.20  | Sable alluvionnaire                                                                                                          |
|            |        | 01.20 – 15.00  | Calcaire sain, beige, dur                                                                                                    |
| SP-04 GH-M | 32+700 | 00.00 – 01.80  | Encroûtement calcaireux-sablonneux                                                                                           |
|            |        | 01.80 – 15.00  | Calcaire sain, beige, dur                                                                                                    |
| SP-05 GH-M | 36+250 | 00.00 – 01.70  | Sable alluvionnaire                                                                                                          |
|            |        | 01.70 – 15.00  | Calcaire, beige, dur                                                                                                         |
| SP-06 GH-M | 36+750 | 00.00 – 00.80  | Sable                                                                                                                        |
|            |        | 00.80 – 10.00  | Calcaire sain, beige, dur                                                                                                    |

#### VIII.4.1.2. Désignation de la Qualité du Rocher (ROD)

Le Rock Quality Designation (RQD) est un indice quantitatif introduit par Deere et al. (1967) afin de caractériser le degré de fracturation d'un massif rocheux à partir de l'analyse de carottes de sondage. Il est défini comme le rapport exprimé en pourcentage de la longueur

cumulée des tronçons de carotte intacts dont la longueur individuelle excède 100 mm, rapportée à la longueur totale du passage foré :

$$RQD = \frac{\sum \text{Longueurs des tronçons intacts} > 10 \text{ cm}}{\text{Longueur totale du carottage}} \times 100$$

Cet indice constitue un paramètre d'entrée fondamental des systèmes empiriques de classification des massifs rocheux (RMR, système Q), fournissant une évaluation de premier ordre de la fréquence des discontinuités et de leur influence sur le comportement mécanique global du massif

**Tableau VIII.3: résultats de l'essai RQD**

| SCN°             | Passe (m)     | % RQD | Observation            |
|------------------|---------------|-------|------------------------|
| <b>F-01 GH-M</b> | 13.00 – 15.00 | 62    | <b>Qualité moyenne</b> |
|                  | 04.00 – 07.00 | 75    | <b>Qualité moyenne</b> |
| <b>F-02 GH-M</b> | 07.00 – 10.00 | 82    | <b>Bonne qualité</b>   |
| <b>F-03 GH-M</b> | 00.80 – 01.50 | 77    | <b>Bonne qualité</b>   |
|                  | 03.20 – 03.80 | 90    | <b>Bonne qualité</b>   |
|                  | 04.00 – 05.00 | 63    | <b>Qualité moyenne</b> |
|                  | 13.00 – 14.00 | 88    | <b>Bonne qualité</b>   |
|                  | 14.00 – 15.00 | 60    | <b>Qualité moyenne</b> |
|                  | 15.00 – 16.00 | 72    | <b>Qualité moyenne</b> |
|                  | 16.00 – 17.00 | 79    | <b>Bonne qualité</b>   |
|                  | 17.00 – 18.00 | 79    | <b>Bonne qualité</b>   |
|                  | 20.00 – 21.00 | 77    | <b>Bonne qualité</b>   |
|                  | 21.00 – 22.00 | 82    | <b>Bonne qualité</b>   |
|                  | 24.00 – 25.00 | 91    | <b>Bonne qualité</b>   |

Le taux de RQD varie selon les forages et la profondeur :

- Des valeurs modérées (62–72 %) indiquent des roches moyennement à faiblement compétentes, avec une fracturation notable.
- Des valeurs élevées (75–91 %) traduisent des roches massives, saines, avec une bonne aptitude au soutènement.

#### VIII.4.1.3. 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. 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. Quatre essais SPT ont été exécutés, mise en évidence au droit du sondage carotté réalisé. Les résultats de l'essai SPT sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau VIII.4: résultats de l'essai SPT**

| N° Sondage | PK     | Profondeurs (m) | Nombres des coups (Refus) | N2+N3     | Classification du sol selon NF P94-261 |
|------------|--------|-----------------|---------------------------|-----------|----------------------------------------|
| F04 GH-M   | 24+031 | 4.00 – 4.05     | Refus à 5.0cm             | Refus >50 | Sol très dense                         |
|            |        | 9.00 – 9.04     | Refus à 4.0cm             | Refus >50 | Sol très dense                         |
| F05 GH-M   | 25+754 | 3.00 – 3.01     | Refus à 1.0cm             | Refus >50 | Sol très dense (roche)                 |
|            |        | 6.00 – 6.02     | Refus à 2.0cm             | Refus >50 | Sol très dense (roche)                 |
|            |        | 14.00 – 14.02   | Refus à 2.0cm             | Refus >50 | Sol très dense (roche)                 |
|            |        | 18.00 – 18.01   | Refus à 1.0cm             | Refus >50 | Sol très dense (roche)                 |
| F06 GH-M   | 29+375 | 3.00 – 3.04     | Refus à 4.0cm             | Refus >50 | Sol très dense                         |
| F07GH-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             | Refus >50 | Sol très dense (roche)                 |
|            |        | 9.00 – 9.02     | Refus à 2.0cm             | Refus >50 | Sol très dense (roche)                 |
|            |        | 12.00 – 12.01   | Refus à 1.0cm             | Refus >50 | Sol très dense (roche)                 |

Le massif est constitué de matériaux très compacts à rocheux, avec un comportement homogène sur l'ensemble de la zone étudiée. La présence de refus généralisés indique que le sol en place est favorable pour la portance des fondations superficielles ou semi profondes (selon l'ouvrage), car il présente une très forte capacité portante et une faible compressibilité.

#### VIII.4.1.4. Essais de pénétromètre dynamique :

Comme cité auparavant 7 essais de pénétration dynamique type A ont été implantés le long du tracé, les résultats des essais sont présentés sur un référentiel, résistance dynamique Rd en fonction de profondeur, Les graphes tracés reflètent dans l'ensemble un sol ayant une bonne

résistance à la pénétration dynamique, les valeurs obtenues sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau VIII.5 : Résultats des essais de pénétromètre dynamique**

| N° PDL | PK     | Refus (m) | Résistance de la pointe (bars) |
|--------|--------|-----------|--------------------------------|
| PDL-1  | 27+706 | 0.4       | 1824                           |
| PDL-2  | 29+652 | 1.4       | 1672                           |
| PDL-3  | 31+981 | 0.4       | 1824                           |
| PDL-4  | 32+812 | 0.4       | 1824                           |
| PDL-5  | 36+335 | 0.6       | 1824                           |
| PDL-6  | 37+006 | 0.5       | 1330                           |
| PDL-7  | 38+242 | 0.6       | 1824                           |

#### **Analyse et interprétation des résultats :**

L'examen des résultats obtenus, permettent de constater que les refus ont été obtenus entre 0.4 et 1.4 m avec des valeurs de résistance de pointe qui s'améliore dès la surface jusqu'à atteindre le refus avec des valeurs entre 1300 et 1850 bars.

#### **VIII.4.1.5. Essais Pressiométriques :**

**Tableau VIII.6 : Les caractéristiques mécaniques mesurée dans les forages :**

**Tableau : Résultats des Essais Pressiométriques**

| Sondage      | Profondeur (m) | Pp (MPa) | E (MPa) | PL* (MPa) | E / PL* |
|--------------|----------------|----------|---------|-----------|---------|
| <b>SP-01</b> | 01.50          | 0.47     | 14.7    | 1.03      | 14.2    |
|              | 03.00          | 1.84     | 32      | 2.4       | 13.3    |
|              | 04.50          | 0.58     | 123     | 4.84      | 24.5    |
|              | 06.00          | 3.37     | 198     | 4.86      | 40.7    |
|              | 07.50          | 3.86     | 144     | 4.85      | 29.7    |
|              | 09.00          | 4.37     | 194     | 4.87      | 39.8    |
|              | 10.00          | 4.37     | 159     | 4.87      | 32.7    |
| <b>SP-02</b> | 01.50          | 2.38     | 262     | 4.86      | 53.9    |
|              | 03.00          | 4.36     | 172     | 4.86      | 35.5    |
|              | 04.50          | 3.35     | 64.3    | 4.83      | 13.3    |
|              | 06.00          | 2.38     | 144     | 4.87      | 29.5    |
|              | 07.50          | 3.87     | 183     | 4.86      | 37.5    |
|              | 09.00          | 3.87     | 196     | 4.86      | 40.2    |
| <b>SP-03</b> | 03.00          | 3.86     | 151     | 4.86      | 31      |
|              | 05.00          | 2.87     | 152     | 4.85      | 31.3    |

|       |       |      |     |      |      |
|-------|-------|------|-----|------|------|
|       | 07.00 | 3.86 | 150 | 4.85 | 30.8 |
|       | 09.00 | 3.37 | 179 | 4.86 | 36.9 |
|       | 11.00 | 3.87 | 149 | 4.86 | 30.7 |
|       | 13.00 | 4.37 | 174 | 4.86 | 35.8 |
|       | 15.00 | 4.38 | 230 | 4.87 | 47.3 |
| SP-04 | 01.00 | 2.04 | 48  | 2.55 | 18.8 |
|       | 03.00 | 3.36 | 137 | 4.84 | 28.2 |
|       | 05.00 | 4.85 | 203 | 4.85 | 41.8 |
|       | 07.00 | 4.36 | 182 | 4.85 | 37.5 |
|       | 09.00 | 4.35 | 132 | 4.84 | 27.2 |
|       | 11.00 | 4.35 | 149 | 4.85 | 30.7 |
|       | 13.00 | 4.86 | 209 | 4.86 | 43   |
|       | 15.00 | 4.86 | 209 | 4.86 | 42.3 |

Les résultats sont récapitulés dans le tableau qui suit avec l'état de consolidation selon la classification des sols basée sur le rapport E/PL :

**Tableau VIII.7 : Classification des sols selon le rapport E/PL et état de consolidation**

| SP    | E (bar)  | PI (MPa)  | E/PI (MPa)  | $\frac{\overline{Ep}}{\overline{Pl}}$ | État de consolidation | $\overline{Ep}$ (MPa) | $\overline{Pl}$ (MPa) | Catégorie selon RPA |
|-------|----------|-----------|-------------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| SP-01 | 14.7–198 | 1.03–4.87 | 13.3–40.7   | 23.46                                 | Très serrée           | 53.5                  | 2.9                   | S2                  |
| SP-02 | 64.3–262 | 4.83–4.87 | 13.31–53.91 | 28.97                                 | Très serrée           | 140.54                | 4.86                  | S2                  |
| SP-03 | 149–230  | 4.85–4.87 | 30.66–47.23 | 34.1                                  | Très serrée           | 165.64                | 4.86                  | S2                  |
| SP-04 | 48–209   | 2.55–4.86 | 18.82–43.0  | 31.41                                 | Très serrée           | 108.39                | 4.11                  | S2                  |

#### **Analyse et interprétation des résultats :**

Les résultats des essais pressiométriques ont donné de fortes valeurs où la pression limite varie entre 2.9 MPa et 4.86 MPa, et le module de déformation varie entre 53 et 108 MPa. Ces résultats sont classés en catégorie S2 (Sol ferme) parfois S3 (Sol rocheux) selon le RPA 2024 (voir Annexe C).

### **VIII.4.2. Les essais au laboratoire :**

Des échantillons intacts et remaniés, prélevés à différentes profondeurs au niveau des puits de reconnaissance et des sondages carottés, ont fait l'objet d'une série d'analyses en laboratoire. Ces analyses ont permis de déterminer les propriétés physiques et mécaniques des sols, à travers les essais suivants :

- Essais Physiques :
  - Analyse granulométrique
  - Détermination des limites d'Atterberg
  - Mesure de la teneur en eau naturelle
  - Détermination de la densité
  - Essai CBR (California Bearing Ratio)
  - Essai VBS (bleu de méthylène)
  - Essai Proctor normal et modifié
- Essais Mécaniques :
  - Résistance au cisaillement (essai à la boîte de Casagrande consolidé drainé (CD) :
    - Cohésion apparente du sol (C)
    - Angle de frottement interne apparent ( $\phi$ ).
  - Compressibilité (essais œdométriques) :
    - Pression de consolidation ( $P_c$ )
    - Indice de compression ( $C_c$ )
    - Indice de gonflement ( $C_g$ )

#### **VIII.4.2.1. Granulométrie et sédimentation**

**Tableau VIII.8 : L'analyse granulométrique d'échantillons testés**

| à partir des puits de reconnaissance : |                |       |        |        |                                                                   |
|----------------------------------------|----------------|-------|--------|--------|-------------------------------------------------------------------|
| N° Sondages                            | Profondeur (m) | <5 mm | < 2 mm | < 80µm | Observation                                                       |
| Puits-01                               | 0.00–0.10      | 60    | 53     | 14     | Granulométrie étalée                                              |
|                                        | 0.10–0.20      | -     | -      | -      | Roche                                                             |
| Puits-02                               | 0.00–0.10      | 63    | 42     | 3      | Granulométrie étalée                                              |
| Puits-03                               | 0.00–0.20      | 85.12 | 83.78  | 5.63   |                                                                   |
| Puits-04                               | 0.00–0.15      | 78.87 | 76.28  | 5.98   |                                                                   |
|                                        | 0.15-0.25      | -     | -      | -      | Roche                                                             |
| à partir de forages :                  |                |       |        |        |                                                                   |
| N° Sondages                            | Profondeur (m) | <5 mm | < 2 mm | < 80µm | Observation                                                       |
| F04 GH-M                               | 0.50–0.80      | 89.1  | 81     | 25     | Granulométrie étalée caractérisant un sol fin à tendance sableuse |
|                                        | 0.80–01.50     | 85.4  | 76     | 16     |                                                                   |
| F05 GH-M                               | 2.00-2.30      | -     | -      | -      | Roche                                                             |
| F06 GH-M                               | 1.00-1.20      | 69    | 48.9   | 15.5   | Granulométrie étalée caractérisant un sol fin à tendance sableuse |
|                                        | 1.20-1.65      | 64.1  | 53.7   | 12.2   |                                                                   |
| F07GH-M                                | 1.65-2.00      | -     | -      | -      | Roche                                                             |

#### **VIII.4.2.2. Plasticité :**

Les couples de valeurs limite de liquidité-Indice de plasticité, et la classification des sols testés selon l'abaque de Casagrande sont données par le tableau suivant :

**Tableau VIII.9 : Classification des sols selon l'abaque de Casagrande à partir des couples limite de liquidité – indice de plasticité**

| à partir des puits de reconnaissance : |                |                    |                  |                |                |
|----------------------------------------|----------------|--------------------|------------------|----------------|----------------|
| N° Sondages                            | Profondeur (m) | Limite d'Atterberg |                  |                | Observation    |
|                                        |                | % W <sub>l</sub>   | % W <sub>p</sub> | I <sub>p</sub> |                |
| Puits-01                               | 0.00–0.20      | 25                 | -                | -              | -              |
|                                        | 0.20–0.30      | -                  | -                | -              | Roche          |
| Puits-02                               | 0.00–0.10      | 31                 | 16               | 15             | peu plastique  |
| à partir de forages :                  |                |                    |                  |                |                |
| N° Sondages                            | Profondeur (m) | Limite d'Atterberg |                  |                | Observation    |
|                                        |                | % W <sub>l</sub>   | % W <sub>p</sub> | I <sub>p</sub> |                |
| F08 GH-M                               | 02.05-02.30    | 103                | 42               | 61             | Très plastique |
|                                        | 05.90-06.30    | 69                 | 30               | 39             | Plastique      |
|                                        | 17.25-17.55    | 52                 | 24               | 28             | Plastique      |
| F09 GH-M                               | 04.60-05.00    | 92                 | 41               | 51             | Très plastique |
|                                        | 15.50-15.80    | 103                | 42               | 61             | Très plastique |
|                                        | 19.50-19.80    | 48                 | 24               | 24             | Plastique      |
| F10 GH-M                               | 14.40-14.60    | 79                 | 35               | 44             | Plastique      |
|                                        | 16.00-16.20    | 81                 | 37               | 44             | Plastique      |

VIII.4.2.3. Densité Sèche et Teneur En Eau :

Les valeurs de la teneur en eau, densité sèche et degré de saturation sont données par le tableau suivant :

**Tableau VIII.10 : Valeurs de la teneur en eau, densité sèche des échantillons**

| N° Sondages | Profondeur (m) | Densité (g/cm <sup>3</sup> ) |                | % W <sub>n</sub> | Observation |
|-------------|----------------|------------------------------|----------------|------------------|-------------|
|             |                | γ <sub>h</sub>               | γ <sub>d</sub> |                  |             |
| F08 GH-M    | 02.05-02.30    | 1.88                         | 1.45           | 29.6             | Peu dense   |
|             | 05.90-06.30    | 1.99                         | 1.62           | 23.2             | Dense       |
|             | 17.25-17.55    | 2.25                         | 1.98           | 13.9             | Très dense  |
| F09 GH-M    | 04.60-05.00    | 1.87                         | 1.48           | 26.1             | Dense       |
|             | 15.50-15.80    | 1.86                         | 1.4            | 32.7             | Dense       |
|             | 19.50-19.80    | 2.08                         | 1.77           | 17.2             | Dense       |
| F04 GH-M    | 8.00-8.50      | 1.91                         | 1.51           | 26.6             | Peu dense   |
|             | 14.00-14.35    | -                            | 1.95           | -                | Très dense  |
|             | 23.00-23.30    | 2.17                         | 1.92           | 13.3             | Très dense  |

#### VIII.4.2.4. Essais de Proctor et essais VBS

Les résultats des essais de Proctor et essais VBS sont montrés dans le tableau suivant :

**Tableau VIII.11 : résultats des essais de Proctor et essais VBS**

| N° Sondages | Proctor modifié                    |          | Proctor Normal                     |          | Indice CBR % Immédiat | VBS g/100g |
|-------------|------------------------------------|----------|------------------------------------|----------|-----------------------|------------|
|             | $\gamma_d$ max (t/m <sup>3</sup> ) | WOPT (%) | $\gamma_d$ max (t/m <sup>3</sup> ) | WOPT (%) |                       |            |
| Puits-01    | 1.83                               | 11.6     | -                                  | -        | 57                    | -          |
| Puits-02    | 1.85                               | 8.7      | -                                  | -        | 78                    | -          |
| Puits-03    | -                                  | -        | 1.76                               | 6.7      | 36.03                 | 0.17       |
| Puits-04    | -                                  | -        | 1.84                               | 8.2      | 39.21                 | 0.17       |

#### VIII.4.2.5. Essais De Résistance Au Cisaillement Rectiligne À La Boite :

Les caractéristiques de résistance au cisaillement rectiligne consolidé drainé CD sont :

**Tableau VIII.12 : Caractéristiques de résistance au cisaillement rectiligne consolidé drainé (CD)**

| Sondage N° | Profondeur (m) | $\Phi'$ (°) | C' (Bar) |
|------------|----------------|-------------|----------|
| F-04 GH-M  | 8.00-8.50      | 21.7        | 0.45     |
| F-10 GH-M  | 3.40-3.70      | 20.5        | 0.25     |
| F-06 GH-M  | 11.00-11.30    | 18.8        | 0.3      |

#### VIII.4.2.6. Caractéristiques Œdométriques :

Les valeurs de l'indice de compressibilité  $C_c$ , pression de consolidation  $P_c$  et l'indice de gonflement  $C_g$  ; sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau VIII.13 : Caractéristiques Œdométriques**

| Sondage N° | Profondeur (m) | $P_c$ (bar) | $C_c$ (%) | $C_g$ (%) |
|------------|----------------|-------------|-----------|-----------|
| F-10 GH-M  | 19.50–19.80    | 0.93        | 14.28     | 4.18      |
| F-04 GH-M  | 14.00–14.35    | 1.09        | 17.3      | 2.27      |

#### VIII.4.2.7. Analyses Chimiques :

Les résultats des analyses chimiques sommaires du sol sont donnés par le tableau suivant :

**Tableau VIII.14 : Résultats des analyses chimiques sommaires du sol**

| Sondage<br>N° | Profondeur<br>(m) | Analyse chimique complète |                   |                   |                         | Observation            |
|---------------|-------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|
|               |                   | Sulfate<br>SO-4           | CaCO <sub>3</sub> | Chlorure Na<br>Cl | MO                      |                        |
| F-08 GH-<br>M | 5.00–5.30         | 0.5                       | 0.41              | 10.4              | 4.6                     | Agressivité<br>modérée |
|               | 10.00–10.30       | Traces                    | 0.53              | 51.72             | 22.76                   | Non agressive          |
|               | 02.05–02.30       | /                         | /                 | /                 | /                       | /                      |
|               | 05.90–06.30       | Traces                    | 0.35              | 47.41             | 20.86                   | Non agressive          |
|               | 17.25–17.55       | Traces                    | 0.58              | 50.43             | 22.19                   | Non agressive          |
|               | 21.05–21.20       | /                         | /                 | /                 | /                       | /                      |
| F-09 GH-<br>M | 00.00–00.80       | /                         | /                 | /                 | /                       | /                      |
|               | 04.60–05.00       | Traces                    | 0.47              | 11.2              | 4.92                    | Non agressive          |
|               | 08.25–08.50       | /                         | /                 | /                 | /                       | /                      |
|               | 15.50–15.80       | Traces                    | 0.58              | 20.68             | 9.1                     | Non agressive          |
|               | 19.50–19.80       | Traces                    | 0.53              | 53.44             | 23.52                   | Non agressive          |
| F-10 GH-<br>M | 3.00–3.60         | 0.55                      | 0.35              | 41.1              | 18.9                    | Agressivité<br>modérée |
|               | 16.00–16.20       | /                         | /                 | /                 | /                       | /                      |
| Sondage<br>N° | Profondeur<br>(m) | Analyse chimique sommaire |                   |                   |                         | Observation            |
|               |                   | Sulfate<br>mg/Kg          | Chlorures         | Carbonate         | Anhydride<br>Carbonique |                        |
| F-05 GH-<br>M | 6.7-7.00          | 0.5                       | 0.58              | 51.7              | 22.75                   | -                      |
|               | 10.80-11.0        | 0.6                       | 0.53              | 47.4              | 20.86                   | -                      |
| F-07 GH-<br>M | 2.7-3.00          | 0.8                       | 0.47              | 44.8              | 19.72                   | -                      |

**Tableau VIII.15 : Récapitulatif des résultats des essais au laboratoire à partir des sondages**

| Sondage N° | Profondeur (m) | Granulométrie % |        |        | Densité (g/cm <sup>3</sup> ) |                | % Wn | Limite d'Atterberg |                  |                | Caillement Rectiligne CD |         | Œdomètre             |                    |                    | Analyse chimique complète/ sommaire |                             |                |       |
|------------|----------------|-----------------|--------|--------|------------------------------|----------------|------|--------------------|------------------|----------------|--------------------------|---------|----------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------|-----------------------------|----------------|-------|
|            |                | <5 mm           | < 2 mm | < 80µm | γ <sub>h</sub>               | γ <sub>d</sub> |      | % W <sub>l</sub>   | % W <sub>p</sub> | I <sub>p</sub> | Φ' (°)                   | C'(Bar) | P <sub>c</sub> (bar) | C <sub>c</sub> (%) | C <sub>g</sub> (%) | Sulfate                             | CaCO <sub>3</sub> Chlorures | NaCl Carbonate | MO AC |
| F-04 GH-M  | < 8            | 89.1            | 81     | 25     | 1.91                         | 1.51           | 26.6 | -                  | -                | -              | 21.7                     | 0.45    | -                    | -                  | -                  | -                                   | -                           | -              | -     |
|            | > 8            | -               | -      | -      | 2.17                         | 1.92           | 13.3 | -                  | -                | -              | -                        | -       | 1.09                 | 17.3               | 2.27               | -                                   | -                           | -              | -     |
| F-05 GH-M  | -              | -               | -      | -      | -                            | -              | -    | -                  | -                | -              | -                        | -       | -                    | -                  | -                  | 0.5                                 | 0.58                        | 51.7           | 22.75 |
| F-06 GH-M  | 1.6            | 64.1            | 53.7   | 12.2   | -                            | -              | -    | -                  | -                | -              | -                        | -       | -                    | -                  | -                  | -                                   | -                           | -              | -     |
|            | 11             | -               | -      | -      | -                            | -              | -    | -                  | -                | -              | 18.8                     | 0.3     | -                    | -                  | -                  | -                                   | -                           | -              | -     |
| F-07 GH-M  | 3              | -               | -      | -      | -                            | -              | -    | -                  | -                | -              | -                        | -       | -                    | -                  | -                  | 0.8                                 | 0.47                        | 44.8           | 19.72 |
| F-08 GH-M  | 2-2.3          | -               | -      | -      | 1.88                         | 1.45           | 29.6 | 103                | 42               | 61             | -                        | -       | -                    | -                  | -                  | -                                   | -                           | -              | -     |
|            | 6-6.3          | -               | -      | -      | 1.99                         | 1.62           | 23.2 | 69                 | 30               | 39             | -                        | -       | -                    | -                  | -                  | Traces                              | 0.35                        | 47.41          | 20.86 |
|            | 17-17.6        | -               | -      | -      | 2.25                         | 1.98           | 13.9 | 52                 | 24               | 28             | -                        | -       | -                    | -                  | -                  | Traces                              | 0.58                        | 50.43          | 22.19 |
| F-09 GH-M  | 4.5-5          | -               | -      | -      | 1.87                         | 1.48           | 26.1 | 92                 | 41               | 51             | -                        | -       | -                    | -                  | -                  | Traces                              | 0.47                        | 11.2           | 4.92  |
|            | 15.5-16        | -               | -      | -      | 1.86                         | 1.4            | 32.7 | 103                | 42               | 61             | -                        | -       | -                    | -                  | -                  | Traces                              | 0.58                        | 20.68          | 9.1   |
|            | 19.5-20        | -               | -      | -      | 2.08                         | 1.77           | 17.2 | 48                 | 24               | 24             | -                        | -       | -                    | -                  | -                  | Traces                              | 0.53                        | 53.44          | 23.52 |
| F-10 GH-M  | < 10           | -               | -      | -      | -                            | -              | -    | -                  | -                | -              | 20.5                     | 0.25    |                      |                    |                    | 0.55                                | 0.35                        | 41.1           | 18.9  |
|            | > 10           | -               | -      | -      | -                            | -              | -    | 81                 | 37               | 44             | -                        | -       | 0.93                 | 14.3               | 4.18               | -                                   | -                           | -              | -     |

**Tableau VIII.16 : Récapitulatif des résultats des essais au laboratoire à partir des puits de reconnaissance avec classification des sols**

| Sondage N° | Profondeur (m) | Granulométrie % |        |        | Limite d'Atterberg |                  |                | Proctor modifié                        |          | Proctor Normal                         |          | Indice CBR % Immédiat | VBS g/ 100g | Classe UIC |
|------------|----------------|-----------------|--------|--------|--------------------|------------------|----------------|----------------------------------------|----------|----------------------------------------|----------|-----------------------|-------------|------------|
|            |                | <5 mm           | < 2 mm | < 80µm | % W <sub>l</sub>   | % W <sub>p</sub> | I <sub>p</sub> | γ <sub>d</sub> max (t/m <sup>3</sup> ) | WOPT (%) | γ <sub>d</sub> max (t/m <sup>3</sup> ) | WOPT (%) |                       |             |            |
| Puits-01   | 0.00-0.20      | 60              | 53     | 14     | 25                 | -                | -              | 1.83                                   | 11.6     | -                                      | -        | 57                    | -           | QS2        |
|            | 0.20-0.30      | -               | -      | -      | -                  | -                | -              |                                        |          |                                        |          |                       |             |            |
| Puits-02   | 0.00-0.10      | 63              | 42     | 3      | 31                 | 16               | 15             | 1.85                                   | 8.7      | -                                      | -        | 78                    | -           | QS3        |
| Puits-03   | 0.00-0.20      | 85.12           | 83.78  | 5.63   | -                  | -                | -              | -                                      | -        | 1.76                                   | 6.7      | 36.03                 | 0.17        | QS2        |
| Puits-04   | 0.00-0.15      | 78.87           | 76.28  | 5.98   | -                  | -                | -              | -                                      | -        | 1.84                                   | 8.2      | 39.21                 | 0.17        | QS2        |
|            | 0.15-0.25      | -               | -      | -      | -                  | -                | -              |                                        |          |                                        |          |                       |             |            |

## VIII.5. Unité géotechnique :

L'analyse détaillée des sondages carottés, des pressiométriques ainsi que celle des puits de reconnaissance, a permis d'identifier un ensemble lithologique relativement varié, mais pouvant être regroupé en quatre grandes unités géotechniques. Ces unités sont définies en fonction de plusieurs paramètres : la nature des matériaux, leur état d'altération, de leur cohésion, de leur degré de compacité, dureté...ect.

Les principales unités rencontrées le long du tracé sont présentées ci-après.

### Unité U1 : TVR : Dépôts meubles superficiels

Cette unité correspond aux matériaux superficiels rencontrés en tête de sondage. Elle est constituée de sables caillouteux, de tout-venant de reg et de dépôts meubles hétérogènes, parfois légèrement limoneux ou argileux. Ces dépôts sont généralement très meubles, à faible cohésion, et localement affectés par la présence de gypse.

Comportement géotechnique

- Portance faible
- Compressibilité modérée à élevée
- Sensibilité à l'eau
- Risque d'affaissement superficiel

Cette unité est observée notamment dans les sondages : F-02, F-09, F-10

### Unité U2 : Conglomérats

Elle regroupe les niveaux conglomératiques, caractérisés par une matrice sablo-argileuse, parfois vacuolaire, contenant des fragments arrondis à subarrondis de grès et de calcaire. La récupération se fait souvent sous forme de fragments broyés, témoignant d'une altération marquée.

Comportement géotechnique

- Hétérogène
- Résistance mécanique moyenne et variable
- Localement altérée ou friable
- Matériau généralement défavorable aux fondations superficielles

Cette unité est observée notamment dans les sondages : F-01, F-02.

### Unité U3 : Encroutement calcaire

Il s'agit d'une croûte calcaire dure, indurée, souvent tufacée, pouvant contenir des éléments gréseux et des traces de gypse. Cette unité est en général peu profonde, avec des épaisseurs variables selon les sondages.

Comportement géotechnique

- Très bonne portance
- Faible déformabilité
- Localement fissurée

Cette unité est observée notamment dans les sondages : F-03, F-10, SP-04

### Unité U4 : Calcaires sains

Cette unité regroupe les niveaux calcaires plus profonds, caractérisés par une roche saine à moyennement altérée, de couleur beige, parfois gréseuse, oolitique ou cristalline. Certains niveaux peuvent être vacuolaires ou fissurés, mais la roche reste globalement cohérente et résistante.

#### Comportement géotechnique

- Très bonne capacité portante
- Bonne homogénéité mécanique
- Faible déformabilité
- Favorable aux fondations profondes et semi-profondes

Cette unité est observée notamment dans les sondages : F-03, F-09, F-05, F-07, SP-04.

## VIII.6. Conception des ouvrages en terre :

### VIII.6.1. Remblais

Les remblais seront profilés à 3H/2V (Horizontal/Vertical) avec une berme de 3m chaque 8m de hauteur. 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 tout au long du tracé sont délimitées selon le profil en long comme suit :

**Tableau VIII.17: Les zones de remblais tout au long du tracé**

| PK     |        | Hmax (m) | PK Hmax | Longueur(m) | Travaux d'IG | Nature de terrain            |
|--------|--------|----------|---------|-------------|--------------|------------------------------|
| Début  | Fin    |          |         |             |              |                              |
| 27+000 | 27+150 | 4.81     | 27+075  | 150         | F-01         | Calcaires Massifs durs       |
| 29+225 | 29+750 | 4.5      | 29+375  | 525         | F-04         | Grès calcaire                |
| 30+025 | 30+300 | 7.64     | 30+175  | 275         | -            | -                            |
| 30+525 | 30+675 | 1.61     | 30+600  | 150         | -            | -                            |
| 31+225 | 31+550 | 2.8      | 31+375  | 325         | -            | -                            |
| 31+600 | 33+250 | 9.1      | 32+275  | 1650        | F-05/F-07    | Calcaires sains Massifs durs |
| 34+525 | 34+750 | 7.54     | 34+650  | 225         | -            | -                            |
| 36+000 | 38+475 | 5.48     | 36+800  | 2475        | F-08/F-06    | Calcaires massifs durs       |

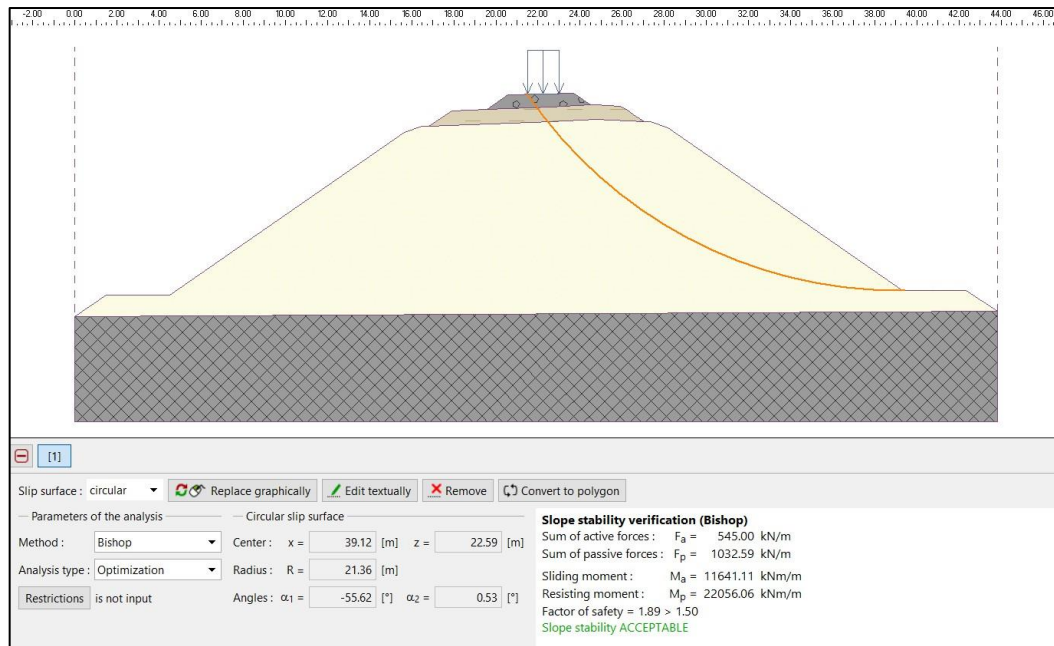
#### VIII.6.1.1. Justification de la stabilité au glissement (cas remblai) :

L'étude de stabilité des remblais a été menée par la recherche des surfaces de glissement critiques sur des talus d'une hauteur supérieure à 8 m. La géométrie adoptée pour ces terrassements est une pente de 3H/2V, entrecoupée d'une berme de 3 m tous les 8 m de dénivelé.

La modélisation a été exécutée sur le logiciel GEO 5 "Load slope stability", selon la méthode de calcul simplifiée de Bishop. La surface de glissement retenue comme étant la plus défavorable correspond à celle présentant le coefficient de sécurité minimal parmi la série de cercles de rupture générés par logiciel.

L'analyse s'est limitée aux conditions statiques : en effet, conformément aux Règles Parasismiques Algériennes (RPA 2024), la zone d'implantation du projet est classée en sismicité négligeable (Zone 0).

Enfin, un coefficient de sécurité  $F_s$  supérieur ou égal à 1,5 a été ciblé afin d'assurer la pérennité du talus sur le long terme.



**Figure VIII.6 : résultats de calcul de la stabilité du remblai PK 32+275 (GEO5)**

#### VIII.6.1.2. Justification de la stabilité au poinçonnement :

Selon les exigences définies dans le référentiel IN 3278 (Tome II, section 2.1.2.2.1), la vérification de la stabilité au poinçonnement impose d'atteindre un facteur de sécurité  $F_s$  supérieur ou égal à 1,5. Ce coefficient de sécurité est déterminé par l'équation ci-après :

$$F_s = \frac{q_{max}}{Q} = \frac{q_{max}}{\gamma_r \times H_r}$$

Avec :

- $\gamma_r$  : poids volumique du remblai en kN/m<sup>3</sup>
- $H_r$  : hauteur du remblai, en mètres
- $q_{max}$  : Charge maximale que le sol peut supporter le sol d'assise

❖ Exemple de calcul pour le PK 32+750 :

Formule de Menard  $q_{max} = \alpha \cdot PL$

Où :

- PL : la pression limite
- $\alpha$  : coefficient empirique qui dépend du type de sol

PL (SP-04) = 4.11 MPA = 4110 kpa

$\alpha = 1$  (sols non cohérents)

$q_{max} = 1 \times 4110 = 4110$  kpa

$$F_s = \frac{q_{max}}{Q} = \frac{q_{max}}{\gamma_r \times H_r} = \frac{4110}{18 \times 9.1} = 25.09 > 1.5$$

**Tableau VIII.18 : Résultats de la vérification de poinçonnement**

| PK     | H <sub>r</sub> (m) | γ <sub>r</sub> (KN/m <sup>3</sup> ) | Q (kpa) | Q <sub>max</sub> (kpa) | F     | Vérification |
|--------|--------------------|-------------------------------------|---------|------------------------|-------|--------------|
| 30+175 | 7.64               | 18                                  | 137.52  | 2900                   | 21.08 | Justifiée    |
| 32+750 | 9.1                | 18                                  | 163.8   | 4110                   | 25.09 |              |
| 34+525 | 7.54               | 18                                  | 135.72  | 4860                   | 35.8  |              |
| 36+000 | 5.48               | 18                                  | 98.64   | 4860                   | 49.27 |              |

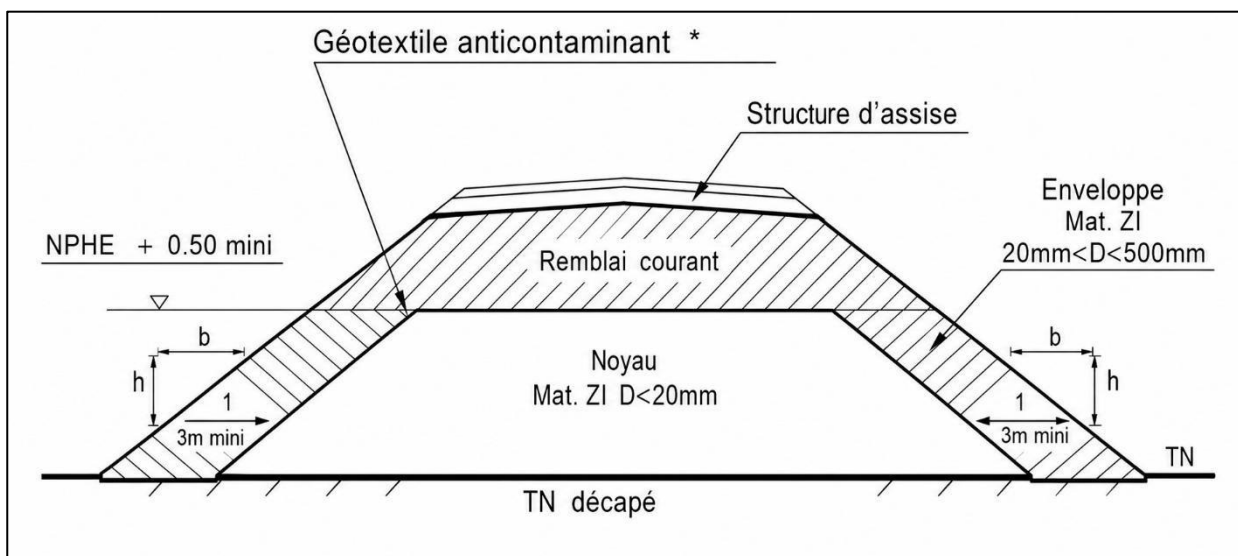
### VIII.6.1.2. Zone à risque géotechnique

#### **Les zones inondables :**

D'un point de vue géotechnique, les remblais situés dans les zones inondables du projet (identifiées du PK 27+862 au PK 28+009 « a côté de oued Sebseb) nécessitent un dimensionnement spécifique pour garantir leur stabilité et leur durabilité.

Ces ouvrages doivent être protégés par des enrochements latéraux ou des perrés, avec l'interposition d'un dispositif anti contaminant entre le corps du remblai et la couche d'enrochement. Afin de pallier ce risque, la base de ces remblais devra être constituée de matériaux spécifiques pour Zone Inondable (ZI) au noyau et un gabionnage en extérieur, et ce, jusqu'à la cote NPHE + 0,50 m.

Les caractéristiques exigées pour ces matériaux sont détaillées dans la fiche N°7 de la Spécification Technique ST 590 - Indice B (voir Annexe E).



**Figure VIII.7 : Conception des remblais en zones inondable**

#### **Risque stagnation des eaux (zone humide)**

Notre tronçon traverse une zone fortement exposée aux risques d'inondation en raison d'une morphologie vallonnée, d'un réseau hydrographique dense et de sols favorisant le ruissellement (marnes argileuses, calcaires et alluvions).

Ces contraintes engendrent des stagnations d'eau au niveau des lits d'oueds, des dépressions et des palmeraies. Pour pallier ce risque et maintenir la portance des ouvrages face aux remontées capillaires, un traitement spécifique est prévu :

La base des remblais sera équipée d'un géotextile et d'une couche filtrante en matériaux granulaires (30 à 50 cm d'épaisseur), conformément à la fiche N°6 de la Spécification Technique ST 590 (Indice B).

### VIII.6.1.3. Conception remblais :

#### **Pente de talus**

La géométrie des remblais a été dimensionnée dans le but de garantir leur stabilité avec l'exigence d'un coefficient de sécurité minimal de 1,5 en conditions normales.

L'inclinaison des talus retenue est de 3H/2V (Horizontal/Vertical). Toutefois, le profil de ces pentes pourra faire l'objet d'une optimisation ultérieure, selon les conclusions des calculs de stabilité et les propriétés mécaniques des matériaux de déblai destinés à être réutilisés.

#### **Risbermes :**

Des bermes ont été prévues le long du tracé afin d'assurer la stabilité des talus pour chaque tranche de 8 mètres de hauteur. Celles-ci présentent une largeur utile de 3 mètres avec une inclinaison transversale de 4% dirigée vers la cunette

#### VIII.6.1.4. Matériaux pour les remblais

##### **Critères de choix et d'exclusion des matériaux**

La sélection des matériaux destinés au corps du remblai repose sur une classification géotechnique rigoureuse. L'utilisation de sols limono-sableux et de certaines graves argileuses est autorisée. En revanche, les sols argileux très plastiques (classés A4 selon le GTR) ainsi que les roches évolutives (gypse, argilite, schistes) sont strictement exclues de la mise en œuvre. De manière générale, il est préconisé d'utiliser des sols propres pour la Partie Supérieure des Terrassements (PST).

Les matériaux retenus doivent majoritairement appartenir aux classes GTR CiB3, D3, R21, R22, R41, R42, R61 et R62, en stricte conformité avec la fiche N°7 de la Spécification Technique ST 590 Indice B (voir annexe E).

##### **Modalités de mise en œuvre et de compactage**

La construction du remblai s'effectue par la superposition de couches élémentaires. Afin de garantir l'efficacité du compactage, la dimension des plus gros blocs ( $D_{max}$ ) ne doit en aucun cas excéder les deux tiers ( $2/3$ ) de l'épaisseur de la couche. Les éléments surdimensionnés feront l'objet d'un fractionnement préalable ou seront évacués.

Enfin, la réception des couches repose sur les critères de portance et de densification suivants :

- **Taux de compactage :** la densité sèche  $\gamma_d \geq$  à 95% de l'Optimum Proctor Modifié (OPM).
- **Module de déformation (EV2) :**  $EV2 \geq 45 \text{ MN/m}^2$  pour les sols fins et  $EV2 \geq 60 \text{ MN/m}^2$  pour les sols sableux et graveleux.

##### **Valorisation des matériaux du site**

Afin d'optimiser les mouvements de terre, les matériaux issus des déblais sont réutilisés sous réserve du respect du GTR.

Dans le cadre de ce projet, les reconnaissances géotechniques ont démontré que les déblais extraits dans les secteurs situés du PK 33+250 au PK 34+525 et du PK 34+750 au PK 36+000 appartiennent à la classe R21 du GTR. Ces matériaux de très bonne qualité sont donc parfaitement valorisables pour la constitution du corps de remblai, et peuvent même être mis en œuvre en couche de forme, conformément aux prescriptions de la fiche N°4 de la norme ST 590 (voir annexe E). Ces matériaux sont utilisés sans réserve de l'état hydrique car elles sont insensibles à l'eau selon le GTR (fascicule 2 – conditions d'utilisation des matériaux en remblai) (voir annexe D).

#### VIII.6.1. Déblais

Les principales zones de déblais le long du tracé ont fait l'objet d'un programme de reconnaissance géotechnique établi sur la base du profil longitudinal. Les déblais seront profilés à 1H/1V (Horizontal/Vertical) avec une 3m berme chaque 8m de hauteur.

Les principales zones de déblai tout au long du tracé sont délimitées selon le profil en Long comme suit:

**Tableau VIII.19 : Les zones de déblais tout au long du tracé**

| PK     |        | Hmax (m) | PK Hmax | Longueur(m) | Travaux d'IG | Nature de terrain            |
|--------|--------|----------|---------|-------------|--------------|------------------------------|
| Début  | Fin    |          |         |             |              |                              |
| 27+150 | 27+560 | 6.96     | 27+325  | 410         | F-01         | Calcaires massifs durs       |
| 28+620 | 29+225 | 9.6      | 28+875  | 605         | F-02         | Calcaires massifs durs       |
| 29+750 | 30+025 | 3.26     | 29+825  | 275         | F-04         | Grès calcaire                |
| 30+300 | 30+525 | 1.93     | 30+400  | 225         | -            | -                            |
| 30+675 | 31+225 | 3.89     | 31+000  | 550         | -            | -                            |
| 33+225 | 34+520 | 25.94    | 33+425  | 1295        | F-07/F-03    | Calcaires sains massifs durs |
| 34+755 | 35+995 | 23.75    | 35+650  | 1240        | F-09/F-10    | Calcaires sains massifs durs |
| 38+480 | 38+925 | 4.96     | 38+775  | 445         | -            | -                            |

**VIII.6.1.1 Justification de la stabilité au glissement (cas déblai) :**

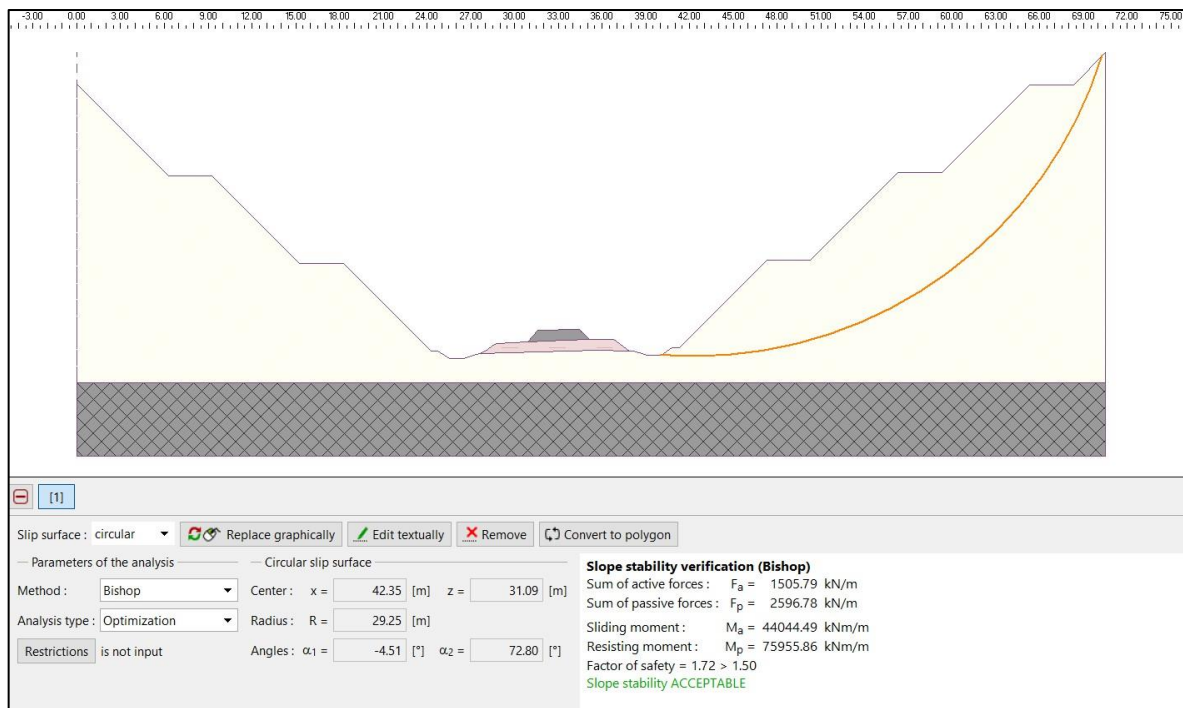
Concernant les zones en déblai, les calculs de stabilité se sont concentrés sur la recherche des plans de glissement critiques pour les talus excavés sur plus de 8 m de hauteur. La géométrie type étudiée se caractérise par une pente de 1V/1H, profilée avec une berme de 3 m de large tous les 8 m de dénivelé. L'évaluation du comportement du terrain a été menée à l'aide du logiciel GEO 5 (Load Slope Stability), basé sur l'approche simplifiée de Bishop.

L'outil informatique génère une multitude de cercles de rupture probables, et retient comme configuration la plus défavorable celle associée au coefficient de sécurité minimal.

▪ **Remarque :**

Selon le référentiel IN 3278 - Tome II (section « 2.1.2.2.2 - Stabilité des falaises et talus rocheux »), dans les cas où la roche est altérée ou susceptible de s'altérer en sol meuble, il est parfois nécessaire d'étudier la stabilité en effectuant une analyse de type « talus rocheux » (mécanique des roches), où les instabilités sont dictées par les discontinuités. Et une étude de type « talus en sol meuble » (mécanique des sols), où les ruptures se propagent à travers les zones altérées dont les caractéristiques mécaniques sont insuffisantes pour résister aux contraintes gravitaires. Ces deux modes de rupture sont parfois possibles au sein d'un même talus.

C'est précisément le cas des zones situées entre les PK 33+225 - 34+520 et les PK 34+755 - 35+995. Pour ces sections, nous avons d'abord entamé l'étude de type « talus en sol meuble » (mécanique des sols). Nous proposons par la suite la réalisation d'une étude complémentaire « talus rocheux » après les travaux de terrassement, afin d'identifier clairement les joints rocheux mis à nu et de proposer des solutions adéquates pour augmenter la stabilité si cela s'avère nécessaire.



**Figure VIII.8 : résultats de calcul de la stabilité du déblai PK 33+425 (GEO5)**

#### VIII.6.1.2. Protection Des Talus :

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

- Éviter 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).

#### VIII.6.1.3. Végétalisation :

La végétalisation consiste à épandre une couche de terre végétale sur les ouvrages en terre, opération suivie d'un ensemencement et, si nécessaire, de plantations. Les objectifs principaux de cette démarche sont de :

- Prévenir le lessivage des fines, le ravinement et la dégradation des talus liés à leur exposition prolongée aux intempéries.
- Contribuer au renforcement et à la stabilisation superficielle des talus, qu'ils soient en déblai ou en remblai.
- Favoriser l'intégration paysagère des infrastructures ferroviaires au sein de leur environnement naturel.

#### VIII.6.1.3 Conditions D'excitabilité / 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 rippable): sont considéré comme terrains rocheux dur tous les matériaux qui nécessitent pour leur extraction l'utilisation d'explosifs et/ou de brise roche.

## VIII.7. Dimensionnement de la structure d'assise :

### VIII.7.1. 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 avec certaine zone de QS3 , 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).

**Tableau VIII.20 : classification des sols selon UIC 719**

| Classification des sols (Identification géotechnique)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Classe de qualité de sol |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 0.1 Sols organiques<br>0.2 Sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonnés, humides et donc non compactables<br>0.3 Sols thixotropes (quick-clay par exemple)<br>0.4 Sols comportant des matériaux solubles (sels comme le gypse)<br>0.5 Sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels, par exemple)<br>0.6 Sols mixtes « minéraux organiques »                                                                                                                                               | QS <sub>0</sub>          |
| 1.1 Sols comportant plus de 40% de fines (sauf sols 0.2)<br>1.2 Roches très évolutives par exemple :<br>- Craies de $p < 1.7$ t/m <sup>3</sup> et de friabilité forte<br>- Marnes<br>- Schistes altérés<br>1.3 Sols comportant de 15 à 40% de fines (sauf sols 0.2)<br>1.4 Roches évolutives par exemple :<br>- Craies de $p < 1.7$ t/m <sup>3</sup> et de friabilité faible<br>- Schistes non altérés<br>1.5 Roches tendres par exemple :<br>Si micro Deval en présence d'eau (MDE) > 40 et Los Angeles (LA) > 40 | QS <sub>1</sub>          |
| 2.1 Sols comportant de 5 à 15% de fines<br>2.2 Sols comportant moins de 5% de fines mais uniforme ( $Cu < 6$ )<br>2.3 Roches moyennement dures par exemple :<br>Si $25 < MDE \leq 40$ et $30 < LA \leq 40$                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | QS <sub>2</sub>          |
| 3.1 Sols comportant moins de 5% de fines<br>3.2 Roches dures par exemple :<br>Si $MDE \leq 25$ et $LA \leq 30$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | QS <sub>3</sub>          |

### VIII.7.2. Méthode de dimensionnement adoptée :

Le dimensionnement de la couche d'assise et de l'épaisseur de la couche de forme a été effectué en suivant les indications de la fiche UIC 719 R. La définition de la classe de la plateforme suppose la classification préalable aussi bien de la qualité du sol support que de celle des matériaux constituant la couche de forme elle-même.

**Tableau VIII.21 : détermination de la classe de portance de la plateforme (Fiche UIC 719).**

| QUALITE DU SOL SUPPORT | CLASSE DE LA PLATE FORME | COUCHE DE FORME |                   |
|------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------|
|                        |                          | Qualité         | Épaisseur min (m) |
| QS1                    | P1                       | QS1             | -                 |
|                        | P2                       | QS2             | 0.50              |
|                        | P2                       | QS3             | 0.35              |
|                        | P3                       | QS3             | 0.50              |
| QS2                    | P2                       | QS2             | -                 |
|                        | P3                       | QS3             | 0.35              |
| QS3                    | P3                       | QS3             | -                 |

### VIII.7.3. Calcul d'épaisseur minimal d'après la fiche UIC 719 R

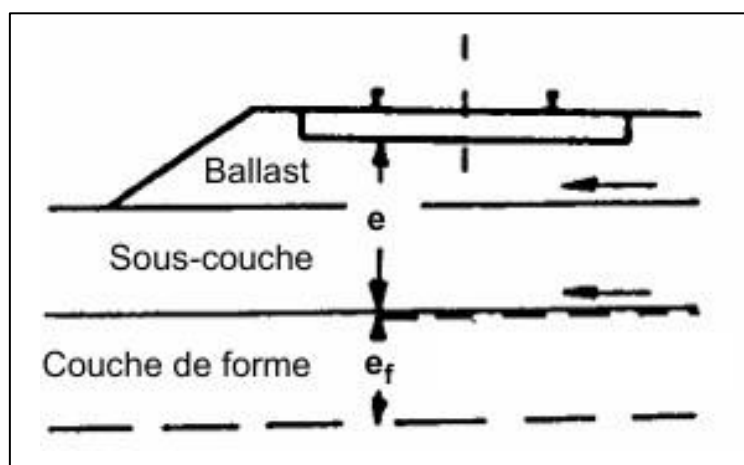
Une plateforme ferroviaire est constituée généralement par un ensemble de sous couches à savoir : Une couche de ballast, Une sous-couche qui comprend les couches de sous ballast, couche de fondation, couche anti-contaminant et géotextile.

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

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

Avec :

- E = (classe de la plateforme P1, P2, P3),
- a = classe de la voie (groupe de 1 à 6 voir UIC 714).
- b = type et longueur de la traverse
- c = (type de dimensionnement)
- d = (la charge maximale à l'axe)
- g = Géotextile.



**Figure VIII.9 : l'épaisseur minimale "e" des couches d'assise**

|   |                        |                                                                                                                                               |
|---|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E | = 0,70 m               | pour les plates-formes de classe de portance P1 <sup>a</sup>                                                                                  |
| E | = 0,55 m               | pour les plates-formes de classe de portance P2 <sup>a</sup>                                                                                  |
| E | = 0,45 m               | pour les plates-formes de classe de portance P3 <sup>a</sup>                                                                                  |
| a | = 0                    | pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V > 160 km/h, quel que soit le groupe UIC) <sup>b</sup>                                              |
| a | = - 0,05 m             | pour les groupes UIC 3 et 4 <sup>b</sup>                                                                                                      |
| a | = - 0,10 m             | pour les groupes UIC 5 et 6 <sup>b</sup>                                                                                                      |
| 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" <sup>b</sup>   |
| 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 <sup>a</sup> |
| f | = + 0,05 m             | pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse <sup>a</sup>                                           |
| f | = + 0,10 m             | pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse <sup>a</sup>                                           |
| g | = +                    | géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2 <sup>c</sup>                                                                      |
| g | = 0                    | (pas de géotextile) lorsque la couche de forme est en sol QS3 <sup>c</sup>                                                                    |

**Figure VIII.10 : critères de dimensionnement des couches d'assise (Fiche UIC 719)**

Pour notre projet :

- E = 0,45 m pour une plate-forme de classe de portance P3
- a = 0 pour les lignes de vitesse V > 160 Km/h.
- b = 0,13 cm pour les traverses en béton de longueur L = 2,24 m
- c = 0 pour un dimensionnement normal.
- d = 0,05 m (pour la charge nominale d'essieu de 22.5 ton/axe)
- f = 0 pour une plate-forme de classe de portance P3, et ligne à grande vitesse.

L'épaisseur des couches d'assise est :

$$e = 0.45 + 0.13 + 0.05 = 0.63 \text{ m}$$

On opte pour e = **0.70 m**

**Tableau VIII.22 : Épaisseurs des composants de la structure d'assise**

| Couches             | Epaisseur (cm) |
|---------------------|----------------|
| Ballast             | 35             |
| Sous-ballast        | 20             |
| Couche de fondation | 15             |

#### VIII.7.4. Couche de forme

On distingue deux cas :

- En remblai :

Pour augmenter la portance de la plateforme, on prévoit une couche de forme composant de sol de classe de qualité QS3 avec une épaisseur de 0.35m (Les matériaux de remblai sont considérés comme QS2)

- En déblai :
  - Zone dans le sol support est de classe QS2

On prévoit une couche de forme composant de sol de classe de qualité QS3 avec une épaisseur de 0.35m

- Zone dans le sol support est de classe QS3 (PK 33+250 au PK 34+500 et 34+775 au 36+075)

Pas de couche de forme.

##### ▪ Remarque

Selon UIC 719 R (2003), 2.4.1 « Structures d'assise types », concernant la couche de fondation :  
« Une couche de fondation en grave anti contaminante bien graduée, permettant la circulation des engins de chantier. Elle n'est pas nécessaire sur les sols de classe de qualité QS3. »

Alors pour une plate-forme réalisée sur un sol QS3, la couche de fondation peut être supprimée.

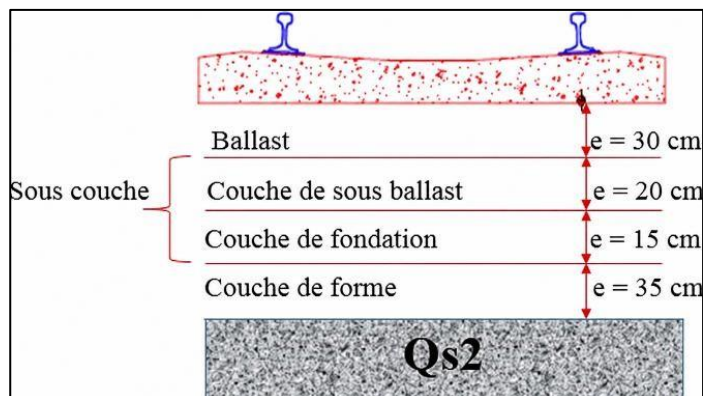


Figure VIII.11 :: Les Épaisseurs de la structure d'assise support (QS2)

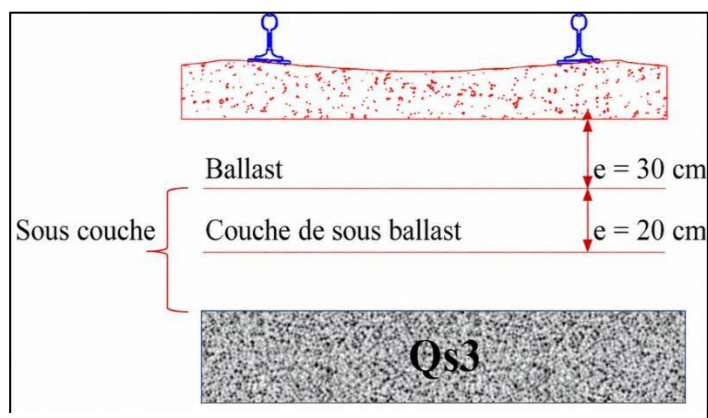


Figure VIII.12 : Les Épaisseurs de la structure d'assise support (QS3)

### **VIII.7.5. Exigences sur les constituants de l'assise**

#### **VIII.7.5.1. Le Ballast :**

Le Ballast sera constitué par de la roche concassée. Les exigences suivantes devront être satisfaites (selon le référentiel technique SNTF et la norme NF P53-695) :

- Résistance à la fragmentation Los-Angeles :  $\leq 19 \%$ .
- Résistance à l'usure Micro deval :  $\leq 6 \%$ .
- La granulométrie doit être comprise dans le fuseau suivant (25/50mm) et devra respecter les limites mentionnées dans la catégorie A de la Norme Européenne « CEN/TC/154 AD HOC Group Aggregates for Railway ballast », conformément au tableau suivant :

**Tableau VIII.23 : Fuseau granulométrique pour ballast (NFP 53-695)**

| <b>CEN/TC-154/SC-4</b> |                               |
|------------------------|-------------------------------|
| <b>MAILLE (mm)</b>     | <b>% de la masse passante</b> |
| 63                     | 100                           |
| 50                     | 70-100                        |
| 40                     | 30-65                         |
| 31.5                   | 0-25                          |
| 22.4                   | 0-3                           |
| 31.5-50                | 50                            |

- Résistance à la compression :  $RC \geq 1200 \text{ kg/cm}^2$
- Les éléments doivent avoir une forme polyédrique et à arêtes vives
- Propreté : les matériaux doivent être expurgés de toute matière impropre. La masse relative des éléments passant au tamis à maille carrées de 1.6mm ne doit pas excéder 0.5 %.

#### **VIII.7.5.2. Couche de foundation**

La couche de fondation conformément à la spécification technique ST590B, est exécutée en grave sableuse entièrement concassée, avec une valeur de propreté  $V_{bg} \leq 1$  et un coefficient de forme  $A \leq 25$  et  $LA+MDE \leq 50$ . Entre autres, les matériaux employés peuvent être issus soit des sous-produits des carrières à ballast, soit des alluvions d'oued (voir Annexe E).

#### **VIII.7.5.3. Couche de forme de qualité S3**

Conformément au document des spécifications techniques (ST590B). Elle est exécutée en grave 0/D. avec une résistance  $LA+MDE \leq 60$  et une valeur de propreté  $V_{bg} \leq 2$  (voir Annexe E).

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

- $\gamma_d \geq 100\%$  de l'OPM,
- $EV_2 \geq 80 \text{ MN/m}^2$ .

**CHAPITRE IX :  
LES CONTRAINTES  
EXISTANTES**

## CHAPITRE IX : LES CONTRAINTES EXISTANTES

### IX.1. Introduction

L'insertion d'une nouvelle infrastructure ferroviaire dans son environnement nécessite une analyse minutieuse des contraintes existantes le long du tracé. Ces contraintes, qu'elles soient d'origine naturelle (topographie accidentée, franchissement d'oueds, zones inondables) ou anthropique (croisements avec le réseau routier, présence de réseaux divers ou de zones urbanisées), dictent en grande partie les choix géométriques et structurels du projet.

Dans ce chapitre, nous identifierons les différents obstacles naturels et artificiels entravant le tracé de la ligne étudiée. Nous présenterons ensuite les solutions techniques retenues notamment les ouvrages d'art (ponts, viaducs, tunnel), les ouvrages de franchissement (passages supérieurs et inférieurs) projetées pour franchir ces contraintes tout en garantissant la pérennité, la sécurité et la continuité de l'exploitation ferroviaire.

### IX.2. Les contraintes hydrologiques : Franchissement des oueds

Les cours d'eau constituent des obstacles majeurs, particulièrement dans les régions arides où les crues peuvent être soudaines et violentes. Pour franchir ces brèches sans perturber l'écoulement naturel des eaux, des ouvrages d'art importants sont nécessaires.

#### IX.2.1. Le viaduc du PK 27+880 au PK 28+559 (Oued Sebseb)

Au niveau du PK 28+880, le tracé intercepte l'oued de Sebseb, caractérisé par un débit de crue centennale très important estimé à 1 070.5 m<sup>3</sup>/s par l'étude hydrologique (voir **Tableau 2**: Résultats des valeurs des débits calculés pour la crue centennale pour la ligne ferroviaire Ghardaïa – El Ménéa, entre le PK 27+075 et le PK 38+969.) . Pour franchir cet obstacle tout en assurant une parfaite transparence hydraulique, la construction d'un viaduc a été retenue.

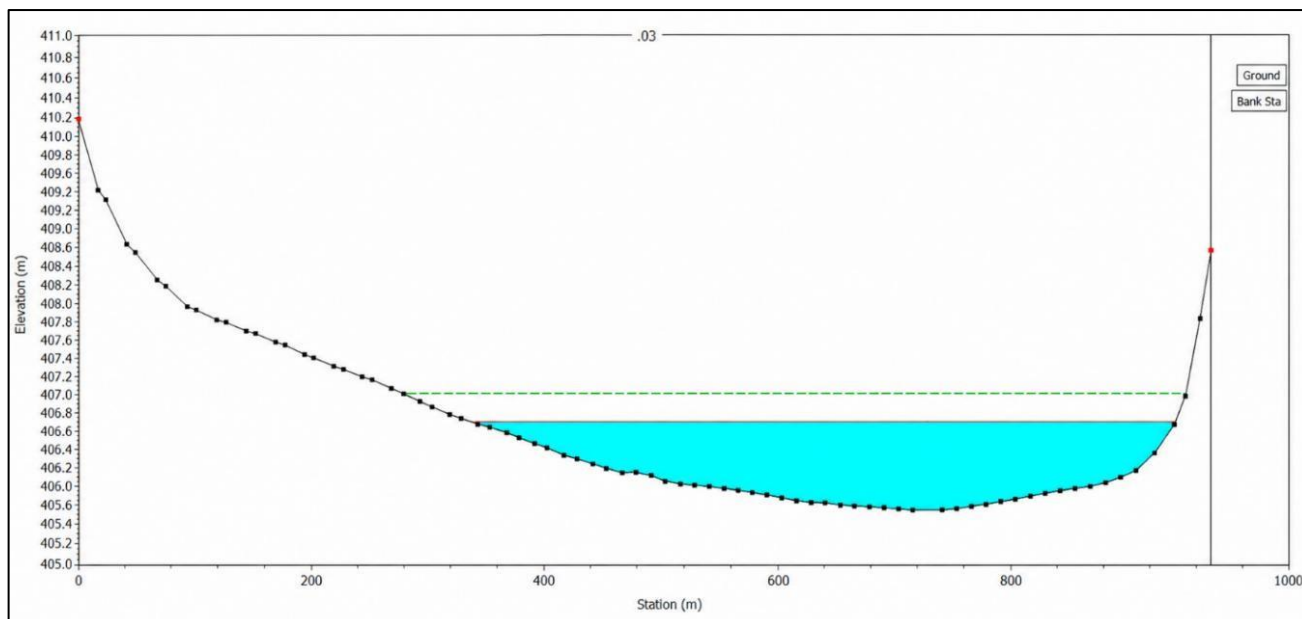
La définition de la longueur de cet ouvrage dépend directement de la topographie du site et du Niveau des Plus Hautes Eaux (NPHE). Pour la déterminer, une modélisation hydraulique a été réalisée à l'aide du logiciel **HEC-RAS** :

- Les sections transversales de l'oued ont été extraites de la topographie du terrain.
- Une modélisation de l'état naturel a été effectuée en y injectant le débit centennal

$$Q = 1070.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Cette simulation a permis d'évaluer les caractéristiques hydrauliques de l'écoulement et de définir la cote du NPHE en amont.

Le croisement de cette ligne d'eau (NPHE) avec la morphologie du terrain a ainsi permis de dimensionner l'ouverture requise pour le viaduc, garantissant le libre écoulement des crues en toute sécurité pour l'infrastructure ferroviaire.



**Figure IX.1 : Vue en coupe de modèle sur la section OA PK 27+880 du PK 27+825 au PK 28+554 (HEC-RAS)**

- **Remarque :** La solution proposée est la projection d'un ouvrage d'art entre le PK 27+880 et le PK 28+559 sur 679 ml avec Protection en gabionnage sur la partie amont et aval (sur une hauteur NPHE +0.5 m).

#### IX.2.1.1. Description de l'ouvrage

L'ouvrage projeté sera de type pont à poutres en béton précontraint à 21 travées isostatiques de 30.90 m de longueur chacune.

Le tablier est formé de 9 poutres en béton précontraint de type post-tension de 170 cm de hauteur espacées de 125 cm, surmontés d'une dalle de 30 cm, La largeur totale est de 12.80 m, surmonté de deux trottoirs de 1.75 m.

L'infrastructure est constituée de deux culées, dans l'alignement de la pile est prévu un voile en béton armé qui reposent sur semelle superficielle de liaison. Les culées sont pleines, avec des murs en retour encastrés sur le mur de front, chacune repose sur une semelle superficielle de liaison.

#### ▪ **Remarque :**

Dans une perspective d'évolution du trafic et de pérennité de l'infrastructure, l'ensemble des ouvrages d'art du projet (y compris ce viaduc) a été géométriquement dimensionné pour accueillir une double voie, anticipant ainsi un éventuel dédoublement futur de la ligne.

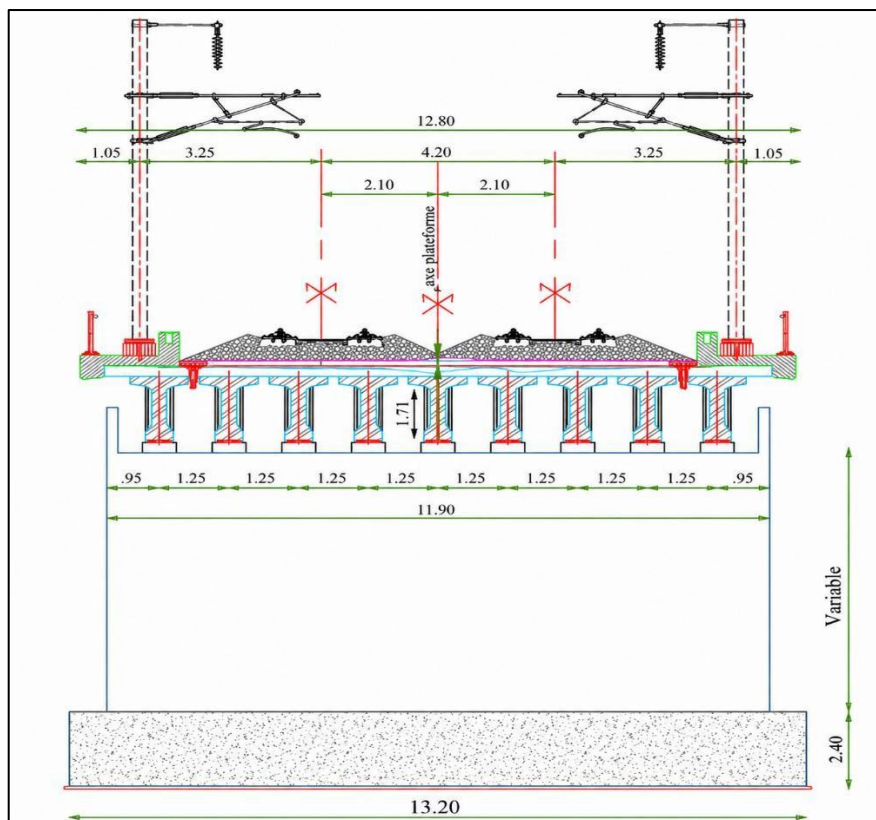


Figure IX.2 : Coupe transversale sur culée OA PK 27+880

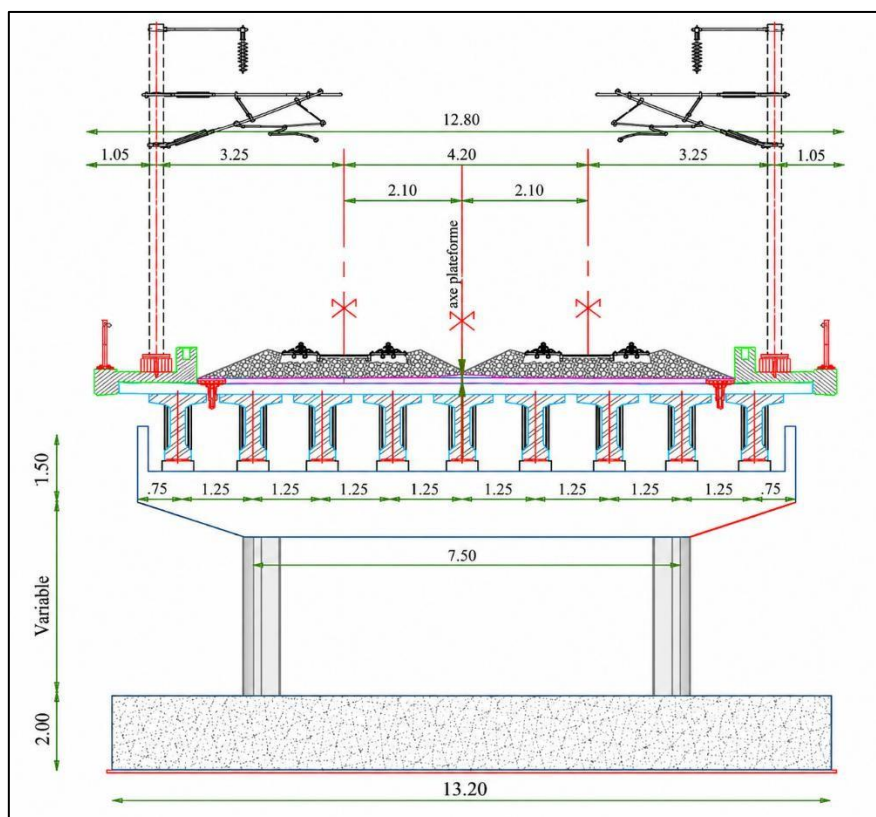


Figure IX.3 : Coupe transversale sur pile OA PK 27+880

### IX.3. Les contraintes anthropiques : Croisements route-rail

Le croisement entre le tracé ferroviaire et le réseau routier existant constitue une contrainte majeure du projet. Pour garantir une sécurité maximale et maintenir des vitesses d'exploitation élevées, les intersections à niveau sont systématiquement proscrites. Les conflits de circulation sont ainsi résolus par des ouvrages de dénivellation.

Selon le profil en long de la voie (déblai ou remblai), ces aménagements prennent la forme de Passages Supérieurs (PS) ou de Passages Inférieurs (PI).

#### IX.3.1. Passage Supérieur (PS) au PK 29+687

La conception de cet ouvrage d'art a été rendue nécessaire par l'intersection entre le tracé de la nouvelle voie ferrée et la Route Nationale 1 (RN1). Afin de supprimer ce croisement à niveau et garantir la sécurité des circulations, un rétablissement de communication a été projeté sous forme de Passage Supérieur permettant à la RN1 d'enjamber la plateforme ferroviaire.

L'ouvrage projeté est un pont à poutres en béton précontraint composé de trois travées isostatiques. Les travées latérales présentent une longueur de 32,95 m chacune, tandis que la travée centrale s'étend sur 33,50 m. Le tablier repose sur un système de poutres d'une hauteur constante de 1,50 m. L'infrastructure est constituée de deux culées d'extrémité pleines avec murs en retour (fondées sur des semelles de 9,00 m de largeur) et de deux piles intermédiaires reposant sur des semelles de 6,30 m. Le dégagement sous la travée centrale offre une largeur de 13,60 m et un tirant d'air de 7,80 m, garantissant ainsi l'accueil d'une future double voie ferroviaire en toute sécurité.

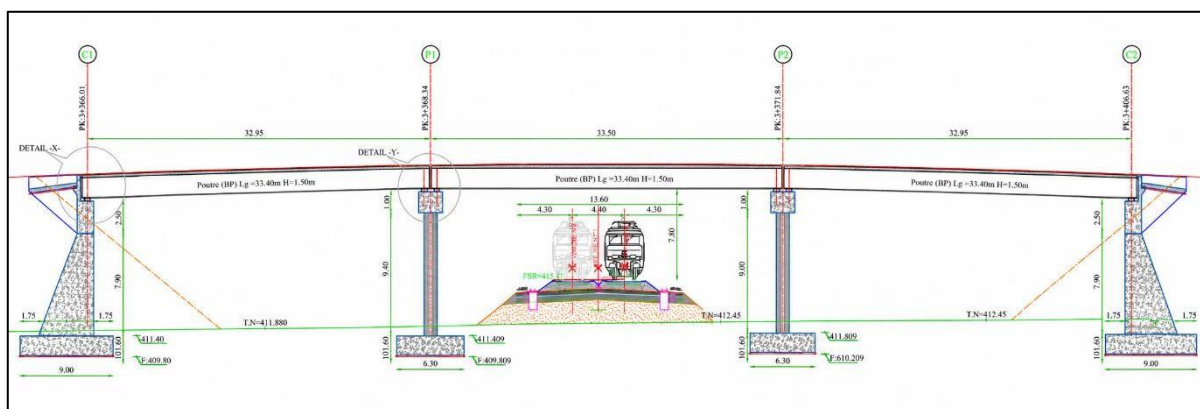


Figure IX.4: Coupe longitudinale de l'ouvrage d'art PK 29+687

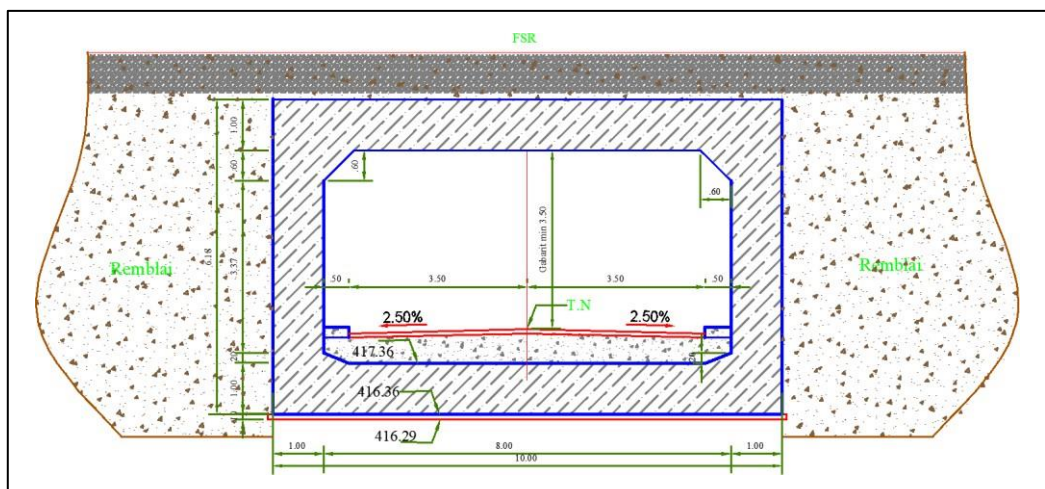
### IX.3.2. Passage Inférieur (PI) au PK 38+137 :

La réalisation de ce rétablissement de communication a été nécessitée par l'intersection du tracé avec une voie routière de faible importance. Afin d'assurer la continuité de cette desserte locale sous la plateforme ferroviaire en remblai, un Passage Inférieur a été projeté.

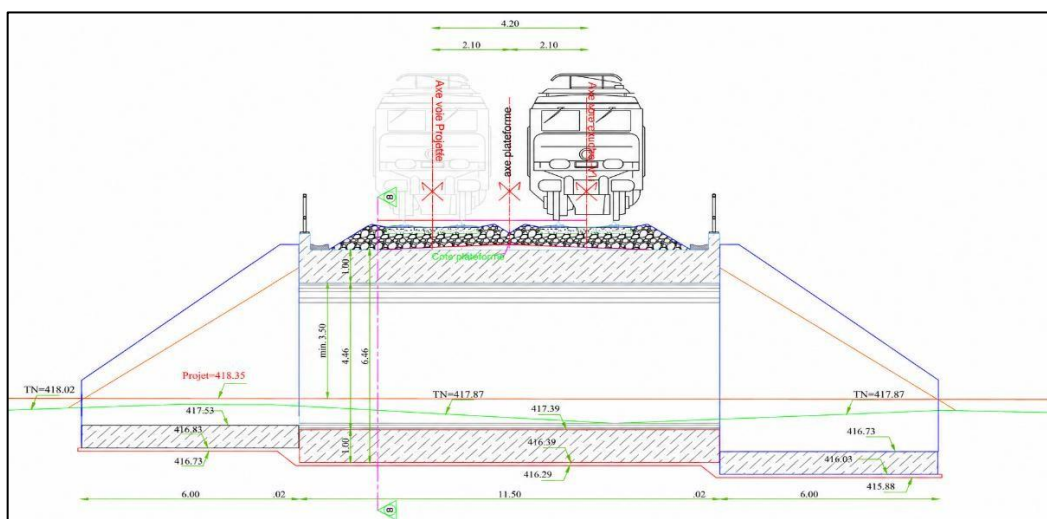
L'ouvrage retenu est de type cadre fermé en béton armé. Il se compose d'une dalle supérieure, de deux voiles verticaux et d'une fondation continue sous forme de radier général et 4 murs de soutènement.

Le cadre dégage une ouverture nette d'une largeur de 8,00 m pour une hauteur libre minimum de 3,50 m, ce qui est parfaitement adapté au trafic de la route.

Les éléments structuraux en béton armé ont été dimensionnés avec une épaisseur constante de 1,00 m, commune à la dalle supérieure, aux voiles latéraux et au radier général, ce dernier reposant sur une couche de béton de propreté de 0,10 m d'épaisseur. Des goussets de renfort de 0,60/0,60 m sont aménagés dans les angles intérieurs supérieurs pour rigidifier la structure.



**Figure IX.5 : Coupe transversal de l'ouvrage PK 38+137**



**Figure IX.6 : Coupe longitudinale de l'ouvrage PK 38+137**

## IX.4. Les contraintes climatiques : Protection contre l'ensablement

Le tronçon étudié, situé dans les abords de la wilaya de Ghardaïa, traverse un environnement saharien caractérisé par une aridité marquée. Toutefois, certaines zones sont véritablement soumises à une forte dynamique éolienne et au phénomène d'ensablement (de PK 30+700 au PK 32+400). Dans ces secteurs vulnérables, le déplacement des masses sableuses constitue un défi technique majeur menaçant directement la stabilité géométrique de la plateforme ferroviaire et la sécurité de l'exploitation.

Afin de prévenir ce risque, il est impératif d'y intégrer des stratégies de protection spécifiques rigoureusement adaptées à la morphologie du terrain naturel et au profil du tracé.

### IX.4.1. Dispositifs de protection en zone de remblai

En zone de remblai, (PK 31+675 au PK32+375) la surélévation de la plateforme entraîne une augmentation significative de la vitesse du vent au niveau du sol, ce qui amplifie le transport et le dépôt des grains de sable.

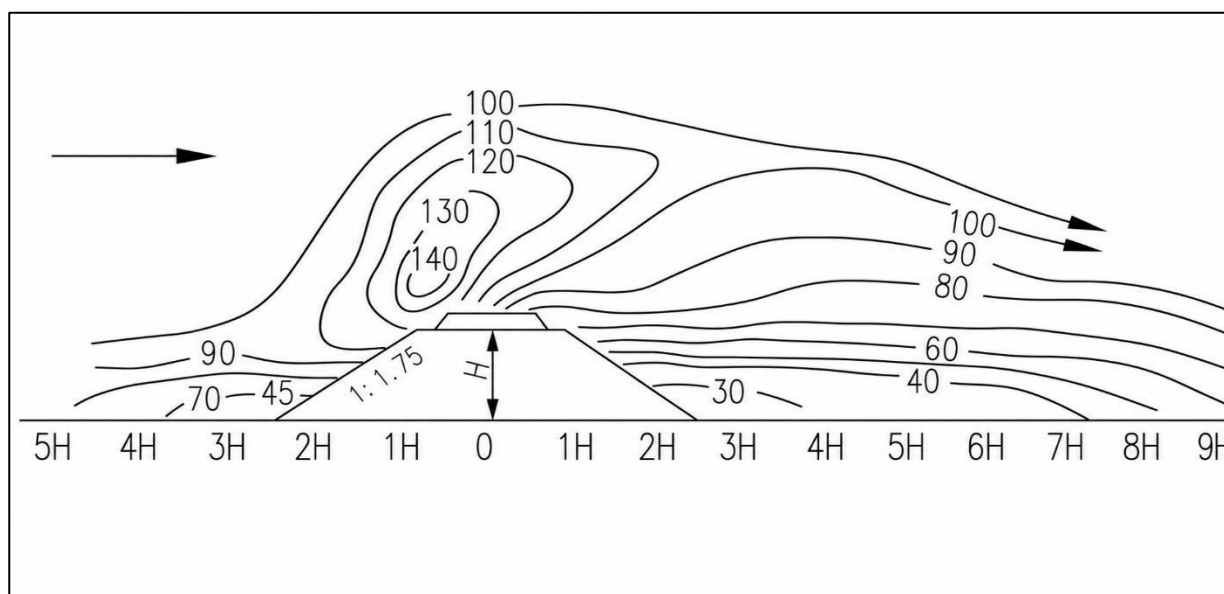


Figure IX.7 : Abaque de changement de vitesse de vent

Pour protéger l'infrastructure ferroviaire, une combinaison de méthodes d'atténuation et de balayage a été retenue.

- **Reprofilage des talus** : L'adoucissement de la pente des talus (généralement entre 3H/1V et 2H/1V) permet d'aplatir la ligne de vent. Ce profil aérodynamique empêche le sable de s'accumuler en favorisant une impulsion de glissement qui fait balayer les sables fins directement au-dessus et en dehors de la voie.
- **Fossés pièges à sable** : Disposés parallèlement à la plateforme, ces canaux en U construits en béton ont une largeur de 3,00 m pour une profondeur de 1,50 m. Ils permettent de capter les sédiments lourds avant qu'ils n'atteignent le ballast de la voie.

- **Fixation mécanique par (Carroyage) :** Pour stopper les dunes très mobiles menaçant les remblais, un dispositif en forme de carroyage est installé directement sur le versant de la dune face au vent. Il s'agit de palissades en mailles extrudées de polyéthylène haute densité, dressées verticalement et soutenues par des piquets spécifiques enfoncés dans le sable.
- **Fixation biologique des dunes (Végétalisation) :** En complément des dispositifs mécaniques (et souvent à l'intérieur des carroyages en plastique), la plantation d'espèces végétales adaptées à l'aridité saharienne (comme le *Tamarix*, l'*Atriplex* ou l'*Acacia*) assure une stabilisation pérenne des sables.

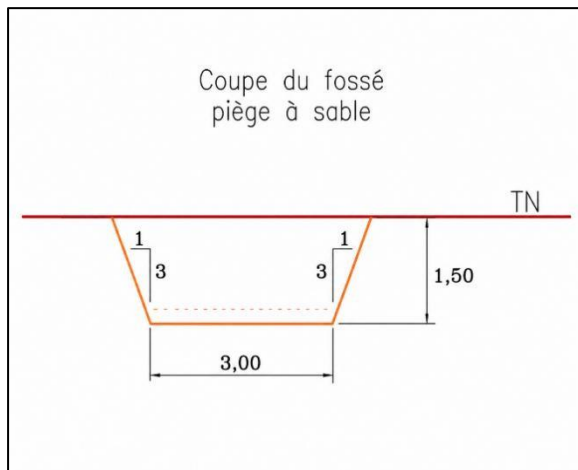


Figure IX.8 : coupe transversale du fossé pièges à sable

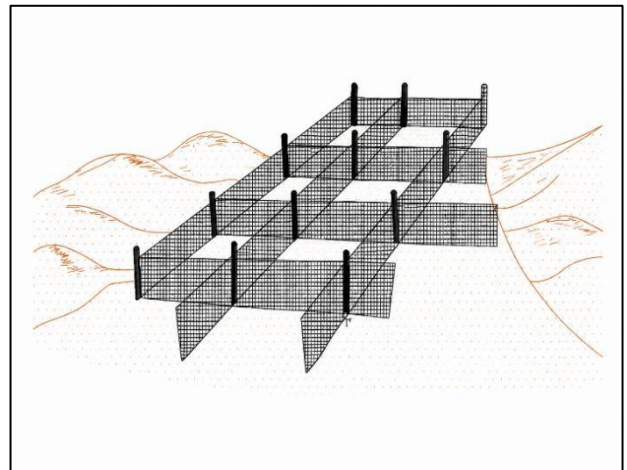


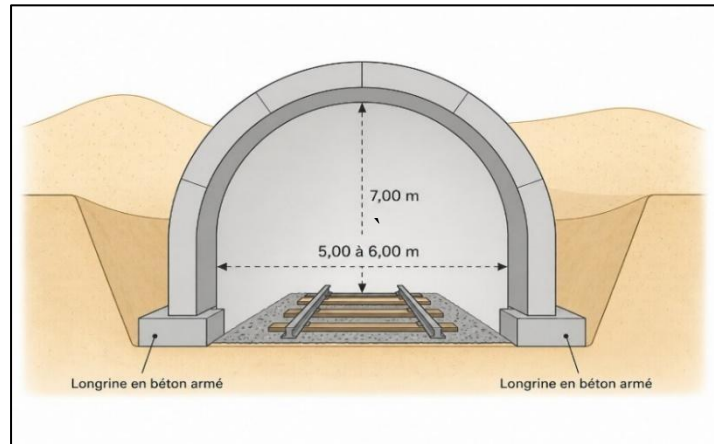
Figure IX.9 : dispositif du carroyage avec la maille en plastique

#### IX.4.2. Dispositifs de protection en zone de déblai

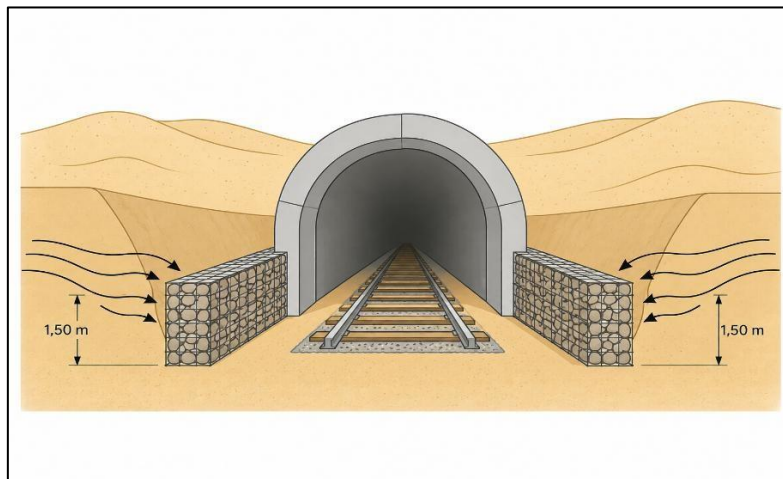
À l'inverse des remblais, le profil en déblai constitue naturellement un "piège à sable" en milieu désertique. Dès que la tranchée dépasse 2 mètres de profondeur, elle modifie la direction des courants d'air et génère de fortes turbulences, créant des tourbillons chargés de sédiments qui viennent s'engouffrer et s'accumuler directement sur la voie.

Sur le tronçon étudié, ce risque majeur d'ensablement en déblai concerne spécifiquement la zone comprise entre le PK 30+725 et le PK 31+200.

- **Voûtes de protection (Tunnels à ciel ouvert) :** La solution principale retenue pour sécuriser ce secteur consiste à couvrir totalement la tranchée par une voûte semi-circulaire. Il s'agit d'une structure composée d'éléments préfabriqués en béton armé posés sur des longrines, créant un véritable tunnel continu. Cet ouvrage offre un gabarit intérieur sécurisé avec une hauteur libre de 7,00 m et une largeur de 5,00 à 6,00 m, isolant complètement l'exploitation ferroviaire des chutes de sable.
- **Protection des têtes des voûtes (murets) :** L'objectif est de Limiter l'ensablement à l'entrée et à la sortie des voûtes ferroviaires tout en laissant passer une partie du flux d'air, pour éviter la création de zones de surpression ou turbulence intense



**Figure IX.10 : Schéma de principe d'une voûte de protection contre l'ensablement pour le profil déblai**



**Figure IX.11 : Schéma de principe des murets de protection des têtes de voûtes**

# **CHAPITRE X : AMÉNAGEMENT DE LA GARE**

# CHAPITRE X : AMÉNAGEMENT DE LA GARE

## X.1. Introduction

L'aménagement d'une gare ferroviaire constitue un maillon essentiel de tout réseau de transport intégré. Qu'elle soit dédiée aux voyageurs, au fret ou au triage, sa conception exige une démarche d'ingénierie méthodique, articulant analyse fonctionnelle, contraintes géométriques et exigences techniques dans un cadre normatif maîtrisé.

L'ingénieur ferroviaire s'appuie pour cela sur le plan de masse, document technique de référence qui détermine l'implantation, le dimensionnement et l'organisation spatiale de l'infrastructure. Son élaboration est conditionnée par plusieurs paramètres fondamentaux : la typologie de la gare, les volumes de trafic prévisionnels et les caractéristiques topographiques du site.

Centrée sur la **gare voyageurs**, la présente étude traite de son architecture fonctionnelle, de ses équipements, de ses contraintes d'exploitation et des normes en vigueur, avec pour objectif final une organisation spatiale rationnelle garantissant **efficacité opérationnelle, conformité normative et sécurité des usagers**.

## X.2. Conception de la gare

### X.2.1. Plan de masse

L'ingénieur en charge de l'aménagement ferroviaire est tenu d'établir un plan de masse intégrant l'ensemble des fonctions et des installations principales constitutives de la gare. L'élaboration de ce document technique de référence repose sur trois paramètres fondamentaux interdépendants :

- **Type de la gare** : Ce critère conditionne la vocation fonctionnelle de l'infrastructure ainsi que la nature et l'étendue des installations requises pour son exploitation. Il constitue le point de départ de toute démarche de conception.
- **Volume de trafic** : Ce paramètre permet d'évaluer l'importance opérationnelle de la gare et d'orienter les choix d'aménagement en termes de capacité, de dimensionnement des voies et des équipements associés.
- **Localisation géographique** : Cet aspect influe directement sur la catégorie de la gare et sur les prévisions de trafic, en tenant compte des contraintes topographiques, urbaines et environnementales propres au site d'implantation.

### X.2.2. Typologie des gares

Les infrastructures ferroviaires se déclinent en quatre typologies distinctes selon leur vocation principale :

- Gare de voyageurs : dédiée exclusivement à l'accueil et à l'acheminement des passagers.

- Gare de marchandises : spécialisée dans la réception, le traitement et l'expédition du fret ferroviaire.
- Gare de triage : destinée à la décomposition et à la recomposition des trains de marchandises par destination.
- Gare mixte : assurant simultanément les fonctions voyageurs et fret au sein d'une même infrastructure.

### X.3. Installation d'une gare voyageurs

L'aménagement d'une gare voyageurs est conditionné par sa catégorie fonctionnelle, sa conception architecturale et son niveau de service. Les installations qui la constituent sont organisées de manière à assurer une exploitation sûre, fluide et confortable pour l'ensemble des usagers. On distingue principalement les composantes suivantes :

- Bâtiment voyageurs (BV) : Bâtiment principal destiné à l'accueil des voyageurs, regroupant les services essentiels tels que l'attente, la billetterie et le contrôle des accès.
- Bâtiments à usages divers (BUD) : Installations réservées au personnel ferroviaire, dédiées aux activités administratives, techniques, de maintenance et de stockage.
- Quais : Espaces aménagés le long des voies permettant l'embarquement et le débarquement des voyageurs en toute sécurité.
- Abris de quais : Équipements de protection offrant aux voyageurs un abri contre les conditions climatiques pendant l'attente des trains.
- Passages souterrains et passerelles : Ouvrages assurant la circulation des piétons entre les quais sans interaction avec les circulations ferroviaires.

### X.4 La marge de glissement

La marge de glissement désigne le segment de voie libre réservé en aval d'un signal fermé, dans le prolongement direct du trajet d'un train. Cette zone de sécurité doit impérativement demeurer dégagée de tout matériel roulant, aucune circulation ne pouvant y être autorisée.

Sa fonction principale est d'atténuer les conséquences d'une collision potentielle dans les cas où l'arrêt du train s'avère insuffisant, que ce soit en raison d'une défaillance du système de freinage ou d'une dégradation de l'adhérence roue-rail, notamment par temps de pluie ou en présence de feuilles mortes sur les rails.

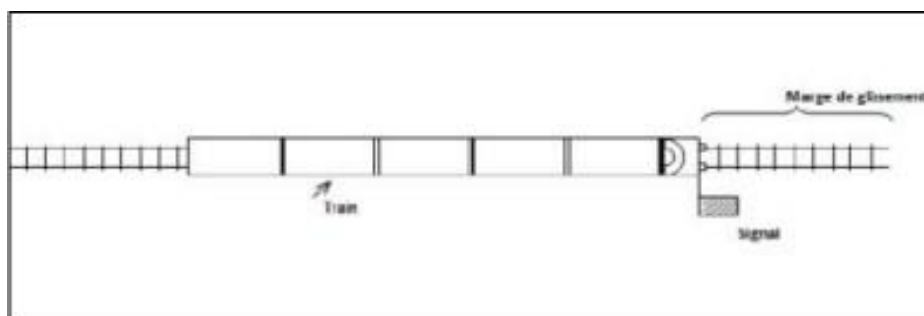


Figure X.1 : Schéma de la marge de glissement

#### X.4.1. Dimensionnement de la marge de glissement

La longueur de la marge de glissement  $L_G$  est définie en fonction de la vitesse de ligne  $V$ , selon les valeurs réglementaires suivantes :

$$50 \leq L_G \leq 200 \text{ m}$$

Tableau X.1 : Valeur de marge de glissement

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

Cette marge est systématiquement appliquée en aval des signaux suivants :

- Signal de **protection**
- Signal d'**entrée**
- Signaux **intermédiaires**
- Signal de **sortie**

#### **X.5. Garage franc (GF)**

Le garage franc est un repère physique matérialisé au sol, généralement sous la forme d'une plaque rectangulaire en béton peinte en blanc, implantée dans l'entrevoie au droit de deux voies convergentes. Il définit la limite absolue d'arrêt d'un matériel roulant stationné, au-delà de laquelle tout débordement sur la voie adjacente est susceptible d'engendrer une collision latérale, communément désignée sous le terme de **prise en écharpe**, avec un train en circulation sur la voie convergente.



Figure X.2 : Garage franc

### X.5.1. Fonctions du garage franc

Le garage franc remplit trois fonctions opérationnelles et sécuritaires essentielles :

- **Délimitation des zones de stationnement** : Il matérialise de manière précise et normalisée les limites de stationnement sur les voies de service.
- **Sécurisation des opérations ferroviaires** : Il garantit la ségrégation spatiale entre les matériels roulants stationnés et les circulations actives, réduisant ainsi le risque de collision latérale.
- **Optimisation de l'organisation des faisceaux de voies** : Il contribue à une gestion rationnelle de l'espace ferroviaire au sein des gares et des chantiers de triage.

### X.5.2. Dimensionnement et positionnement du garage franc

Le garage franc est positionné à une distance  $D$  mesurée depuis le **cœur de l'appareil de voie**. Cette distance est déterminée par la relation suivante :

$$GF = 3,57 \times N + 1$$

Où :

- $GF$ : distance de positionnement du garage franc, exprimée en mètres (m)
- $N$ : paramètre caractéristique de l'appareil de voie, fonction de son **angle d'ouverture** (ou numéro de l'appareil)

Le paramètre  $N$  est directement lié à la géométrie de l'appareil de voie ; plus l'angle d'ouverture est faible (appareil à grand rayon), plus la valeur de  $N$  est élevée, impliquant un positionnement du garage franc plus en aval du cœur.

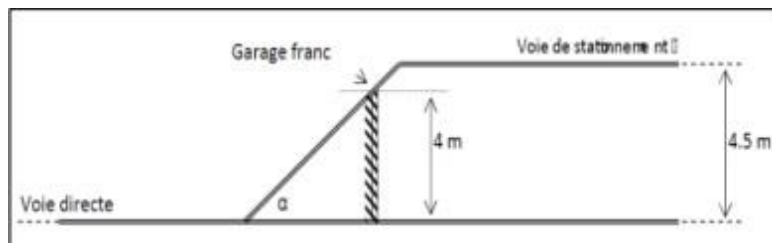


Figure X.3 : Schéma du garage franc

## **X.6. Longueur utile d'une voie de dépassement**

La longueur utile désigne la longueur minimale nécessaire et suffisante pour permettre à un train de s'immobiliser sur une voie de dépassement, sans obstruer la voie principale ni interférer avec les voies de dépassement adjacentes. Sur le plan géométrique, elle correspond à la distance séparant deux points de garage franc consécutifs, constituant ainsi la plage effective de stationnement du matériel roulant.

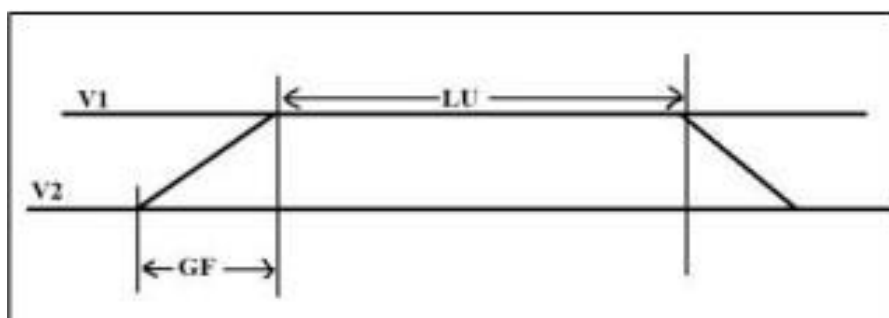
### X.6.1. Formulation analytique

La longueur utile  $Lu$  est déterminée par la relation suivante :

$$Lu = Lg + Ls + Lt + La + Lc$$

**Tableau X.2 : Symbole et désignation et description de la longueur utile**

| Symbole | Désignation                  | Description                                                                                |
|---------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lu      | Longueur utile               | Longueur minimale de la voie de dépassement                                                |
| Lg      | Longueur de glissement       | Distance de sécurité en aval du signal fermé                                               |
| Ls      | Longueur de sécurité         | Marge de sécurité réglementaire entre le train et les limites de la voie                   |
| Lt      | Longueur maximale du train   | Emprise longitudinale totale du convoi le plus long susceptible d'utiliser la voie         |
| La      | Marge de tolérance à l'arrêt | Correction tenant compte des imprécisions d'arrêt du matériel roulant                      |
| Lc      | Tronçon d'isolation          | Section réservée au système de contrôle-commande et de détection de l'occupation des voies |



**Figure X.4 : Schéma de la longueur utile**

## **X.7. Équipements de la gare**

### **X.7.1 Réseaux de voies**

L'organisation des voies au sein d'une gare de marchandises repose sur un ensemble de réseaux fonctionnellement distincts, chacun assurant un rôle spécifique dans le traitement des flux ferroviaires. Le tableau ci-dessous en présente la classification et la composition :

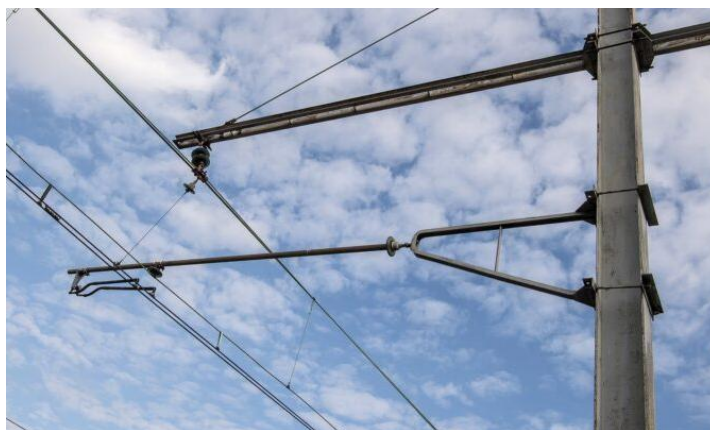
**Tableau X.3 : Réseaux de voies et leurs composantes**

| Réseau de voies   | Voies composant le réseau                                                                        |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Réseau de service | Voies de garage, voies de manœuvre, voies de stationnement                                       |
| Réseau de triage  | Voies de triage, voies de formation, voies de réception et d'expédition                          |
| Réseau de fret    | Voies de chargement/déchargement, voies d'accès aux entrepôts, voies d'embranchement particulier |
| Réseau industriel | Voies d'embranchement industriel, voies de desserte interne, voies de service spécifiques        |
| Réseau portuaire  | Voies d'embranchement portuaire, voies de transbordement, voies de liaison quai-entrepôt         |

### **X.7.2 Caténaire**

La caténaire désigne le système de câbles aériens chargés d'assurer l'alimentation électrique continue des trains sur les lignes électrifiées. Au sein d'une gare de marchandises, ce dispositif joue un rôle opérationnel essentiel en garantissant la continuité de l'alimentation lors des différentes phases d'exploitation, notamment :

- Le stationnement des trains sans interruption de l'alimentation électrique, assurant ainsi le maintien des systèmes embarqués actifs.
- Les opérations de manœuvre pour le triage et la recomposition des convois, nécessitant une alimentation permanente des locomotives de traction.
- Le chargement et le déchargement des marchandises, en particulier pour les wagons ou équipements requérant une alimentation électrique continue durant ces opérations.

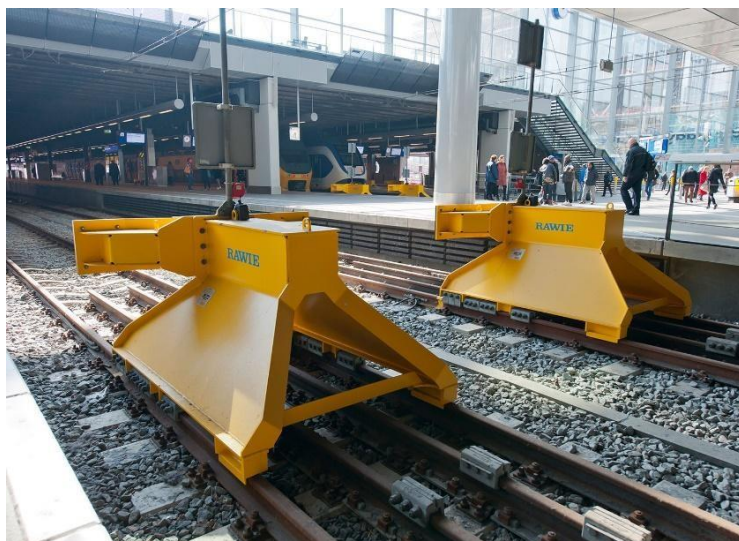


**Figure X.5 : Caténaire**

### X.7.3. Les heurtoirs

Le heurtoir est un dispositif de sécurité implanté à l'extrémité des voies en impasse, destiné à matérialiser la fin de la voie et à prévenir tout dépassement non contrôlé du matériel roulant au-delà de la limite de voie. Il constitue ainsi le dernier élément de protection contre les sorties de voie accidentelles.

En règle générale, des patins de freinage doivent être disposés à une distance minimale de 10 mètres en amont du heurtoir. Ces patins doivent être systématiquement réinstallés après chaque opération de manœuvre, conformément aux procédures d'exploitation en vigueur.



**Figure X.6 : Les heurtoirs**

#### X.7.3.1. Classification des heurtoirs

On distingue principalement deux catégories de heurtoirs selon leur mode de fonctionnement :

- Heurtoirs à déplacement (ou patinants)
- Les heurtoirs fixes.

## **X.8. Caractéristiques géométriques de la gare**

### X.8.1 Déclivités dans la gare

Conformément aux prescriptions techniques établies par la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) en Algérie, la déclivité maximale admissible au sein de l'enceinte d'une gare est fixée à **0,00 ‰**, soit un profil en long rigoureusement horizontal.

Cette exigence normative répond à un impératif de sécurité fondamental : garantir la stabilité statique et dynamique du matériel roulant lors des phases d'arrêt, de stationnement et de manœuvre. Tout profil présentant une inclinaison, même minimale, est susceptible d'induire des mouvements non contrôlés des véhicules ferroviaires, pouvant engendrer des incidents d'exploitation graves. L'horizontalité stricte du profil en gare constitue donc une condition sine qua non à la sécurité des opérations ferroviaires.

## **X.9. Les Quais**

### X.9.1. Longueur des quais

La longueur des quais est déterminée en fonction de la nature du service ferroviaire assuré et des compositions de trains correspondantes. Les valeurs de référence retenues sont les suivantes :

**Tableau X.4 : valeurs de référence retenues pour la longueur des quais**

| Type de service  | Longueur du quai |
|------------------|------------------|
| Grande ligne     | 450 m            |
| Service régional | 350 m            |
| Banlieue         | 225 m            |

Ces dimensions sont fixées de manière à garantir l'accostage intégral du matériel roulant le plus long susceptible de desservir la gare, tout en assurant la sécurité et le confort des voyageurs lors des opérations d'embarquement et de débarquement.

### **X.9.2. Largeur des quais**

Conformément aux recommandations techniques de la SNTF, la largeur minimale des quais est différenciée selon leur position dans la configuration de la gare :

**Tableau X.5 : longueur recommandée par la SNTF**

| Type de quai       | Largeur minimale (B)    |
|--------------------|-------------------------|
| Quai intermédiaire | $B > 8,00 \text{ m}$    |
| Quai extérieur     | $B \geq 6,00 \text{ m}$ |

La largeur supérieure imposée pour les quais intermédiaires se justifie par leur desserte bilatérale assurant simultanément l'accès à deux voies générant des flux de voyageurs croisés plus importants, qui nécessitent une emprise suffisante pour garantir la sécurité et la fluidité de la circulation piétonne.

### **X.9.3. Entraxe des voies au droit des quais**

L'entraxe entre voies adjacentes au droit des quais conditionne directement la largeur utilisable de la plateforme et la sécurité des voyageurs. Selon les prescriptions de la SNTF, les valeurs suivantes sont applicables :

**Tableau X.6 entraxe selon SNTF**

| Type d'entraxe  | Valeur minimale           |
|-----------------|---------------------------|
| Entraxe normal  | $En \geq 11,30 \text{ m}$ |
| Entraxe minimal | $En \geq 9,30 \text{ m}$  |

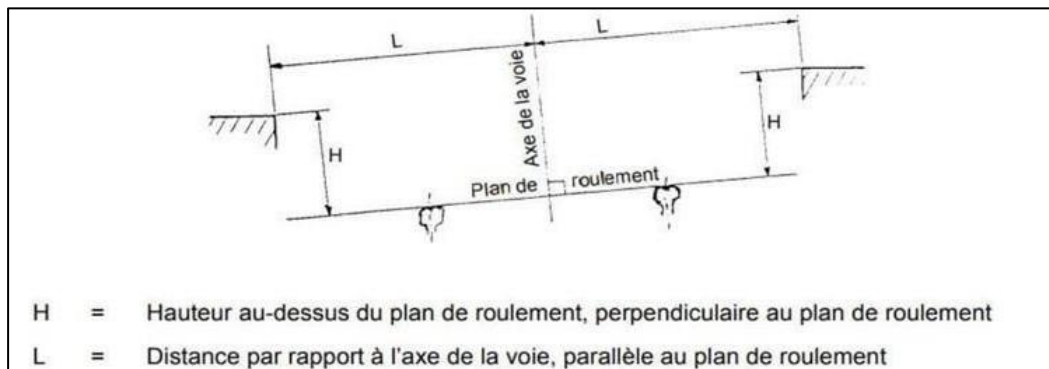
L'entraxe normal constitue la valeur de référence à retenir en conception courante. L'entraxe minimal ne peut être adopté que dans des situations contraintes, dûment justifiées par des contraintes géométriques ou foncières, et sous réserve de la validation des organes compétents.

### **X.9.4. Hauteur des quais**

Conformément aux dispositions de la fiche UIC 741 OR, la hauteur du bord de quai est définie comme suit :

**Tableau X.7 : Hauteur nominale du bord de quai**

| Cas d'application                                           | Hauteur nominale du bord de quai |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Cas général                                                 | 550 mm                           |
| Lignes principales et lignes de banlieue (cas particuliers) | 760 mm                           |



**Figure X.7 : La hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie**

### **X.9.5. Distance par rapport à l'axe de la voie**

Pour les quais dont la hauteur nominale de bordure est fixée à **550 mm** ou **760 mm**, la distance nominale entre la bordure de quai et l'axe de la voie est calculée selon la formule suivante :

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

Où S est un terme correctif tenant compte de la géométrie de la voie, défini par :

$$S (mm) = \frac{3750}{R} + \frac{I - 1435}{2}$$

Avec :

- R : Rayon de courbure de la voie en m
- I : Écartement de la voie en mm

## **X.10 Appareils de Voie**

### **X.10.1 Définition générale**

Un appareil de voie constitue un élément fondamental de l'infrastructure ferroviaire. Il a pour fonction d'assurer le guidage continu des véhicules ferroviaires tout en permettant les bifurcations, les croisements et les changements de direction entre voies adjacentes ou convergentes.

Du point de vue de sa commande, un appareil de voie peut être actionné selon deux modes :

- **Commande manuelle** : par intervention directe d'un agent habilité sur le terrain ;
- **Commande automatique ou à distance** : depuis un poste d'aiguillage centralisé, un poste de commande local (PCL) ou un centre de contrôle intégré.

Le choix est fait selon l'article B-2-4 Du référentiel SNTF partie Appareils de voie selon l'application en différents types de branchements

- ADV UIC 60 1/9 300 : Branchement d'entrées et de sortie des voies de quai utilisées par les trains voyageurs.
- ADV UIC 60 1/12 500 : Branchement d'entrée et de sortie voie voyageurs et des gares

Marchandises.

## **X. 1Application au Notre projet**

### **Les Quais**

#### **a) Longueur des quais**

La longueur des quais a été déterminée en fonction de la composition maximale des rames prévues en exploitation. Pour le présent projet, une longueur de quai de 225 mètres a été retenue, correspondant à une rame composée de 3 wagons de 75 mètres chacun.

$$L_{quai} = 3 \times 75 = 225 \text{ m}$$

#### **b) Largeur des quais**

Conformément aux exigences fonctionnelles et aux flux de voyageurs estimés, la largeur des quais est fixée à :

$$B_A = 6,00 \text{ m}$$

$$B_B = 8,00 \text{ m}$$

#### **c) Hauteur des quais**

La hauteur nominale de bordure de quai retenue pour ce projet est de :

$$h = 550 \text{ mm}$$

Cette valeur est conforme aux standards en vigueur pour les quais de type basse hauteur, assurant une accessibilité satisfaisante aux véhicules ferroviaires prévus.

#### **d) Distance par rapport à l'axe de la voie**

Conformément à la norme **UIC 741**, la distance nominale entre la bordure de quai et l'axe de la voie est donnée par :

$$L \text{ (mm)} = 1650 + S$$

Avec le terme correctif :

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

### Application numérique sur notre projet :

Dans le secteur de la gare, le tracé est en **alignement droit**, soit :

- $R = \infty$  **Justification** Tracé en alignement droit en gare
- $I = 1435$  mm **Justification** Écartement nominal standard UIC

$$S = \frac{3750}{\infty} + \frac{1435 - 1435}{2} = 0 + 0 = 0 \text{ mm}$$

$$L = 1650 + 0 = 1650 \text{ mm}$$

#### e) Longueur du garage franc :

En utilisant la formule suivante qui permet de calculer la longueur du garage franc

Où :  $Gf = 3.57 \times N + 1$  N: varie selon l'ouverture de l'appareil de voie).

$$Gf = 3.57 \times 9 + 1 = 33.13 \text{ m.}$$

$$Gf = 3.57 \times 12 + 1 = 43.84 \text{ m}$$

➤ Pour notre projet on a recours à 8 appareils de voie : UIC 60 300 1/9 et UIC 60 1/12 500.

#### Implantation des ADV :

Tableau X.8 : Implantation des ADV

| Numero d'ADV | Type        | PK       |
|--------------|-------------|----------|
| ADV 1        | UIC 60 1/12 | 39+013   |
| ADV 2        | UIC 60 1/12 | 39+238   |
| ADV 3        | UIC 60 1/9  | 39+398   |
| ADV 4        | UIC 60 1/9  | 39+435.8 |
| ADV 5        | UIC 60 1/9  | 40+185.8 |
| ADV 6        | UIC 60 1/9  | 40+223.6 |
| ADV 7        | UIC 60 1/12 | 40+383.6 |
| ADV 8        | UIC 60 1/12 | 40+608.6 |

#### c) La longueur utile d'une voie de stationnement :

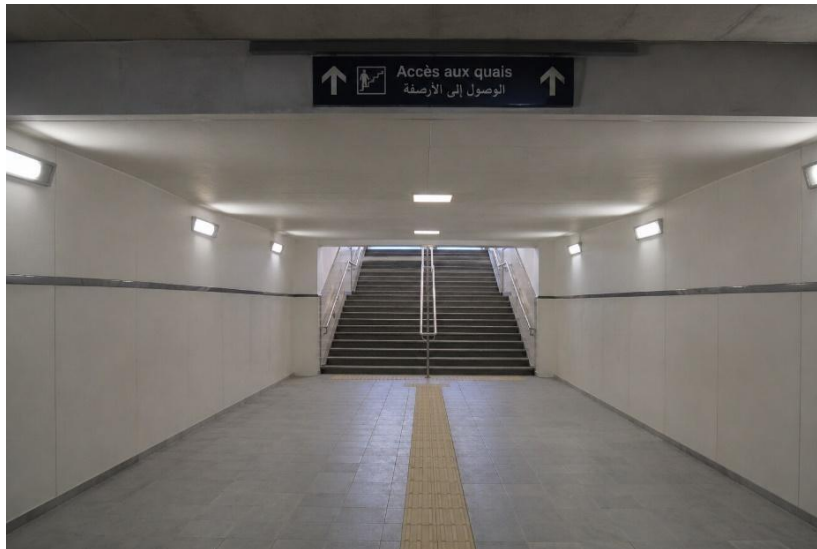
- $V1 = 1200$  m
- $V2 = 1200$  m
- $V3 = 750$  m
- $V4 = 750$  m

## X.12 Passage Souterrain

Dans le cadre de l'aménagement de la gare, un passage souterrain a été prévu pour assurer la liaison entre les différents quais et le bâtiment voyageurs sans nécessiter la traversée directe des voies ferrées. Cet ouvrage répond à une double exigence :

- En exploitation courante : il garantit la fluidité et la sécurité des déplacements des voyageurs entre les quais, indépendamment des mouvements de trains en surface.
- En situation d'urgence : il constitue une voie d'évacuation protégée, permettant aux usagers de quitter rapidement et en toute sécurité l'enceinte de la gare en cas d'incident ou d'incendie.

Le passage souterrain représente ainsi un aménagement essentiel, alliant sécurité, confort et continuité des flux de voyageurs au sein de la gare.



**Figure X.8 : Passage souterrain**

## **X.13. Assainissement de la Gare**

### **X.13.1. Assainissement Transversal**

L'évacuation des eaux pluviales au niveau des quais est assurée par une pente transversale de 2 %, réalisée selon l'une des deux configurations suivantes :

- En forme de toit : évacuation bilatérale vers les voies ;
- En forme de V : collecte centrale dirigée vers un point d'évacuation unique.

Ces dispositions, combinées aux pentes transversales des plates-formes, permettent d'acheminer efficacement les eaux de ruissellement vers les dispositifs de drainage.

### **X.13.2. Assainissement Longitudinal**

L'assainissement longitudinal est assuré par une fosse latérale implantée le long des voies, destinée à collecter et évacuer les eaux pluviales ainsi que les eaux d'infiltration provenant des quais et de la plateforme ferroviaire.

La fosse est dimensionnée avec une pente longitudinale de 4 %, garantissant :

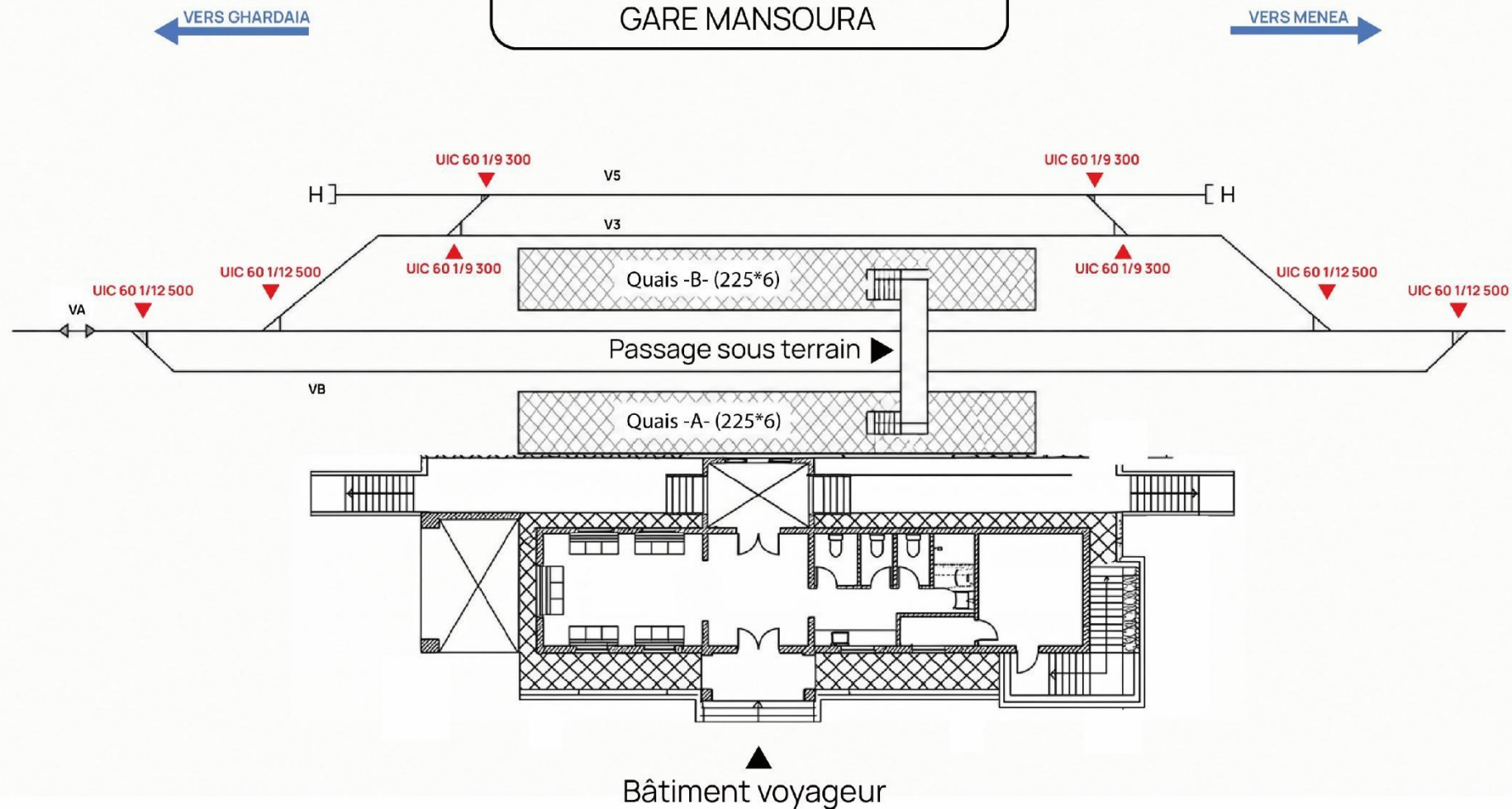
- Un écoulement gravitaire continu sans risque de stagnation ;

- La protection de la plateforme et des équipements ferroviaires contre toute accumulation d'eau nuisible ;
- Une évacuation rapide vers les ouvrages de collecte ou les réseaux d'assainissement en aval.

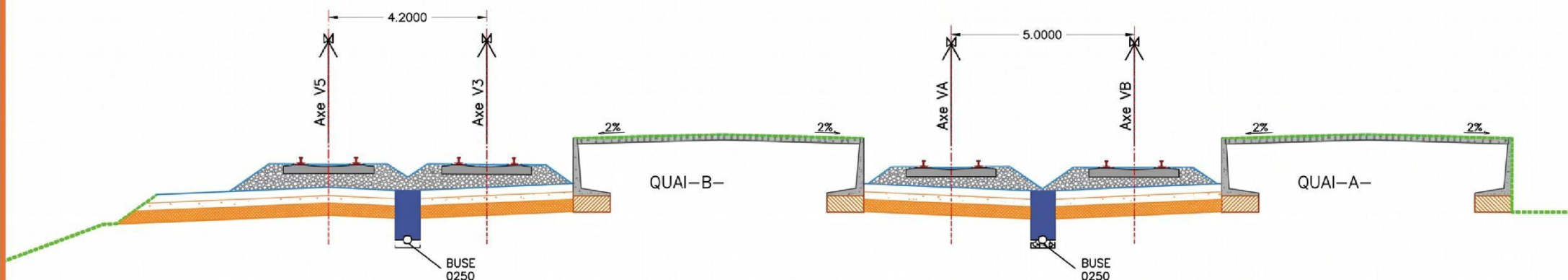
## **X14.Conclusion**

L'aménagement d'une gare voyageurs nécessite une conception rigoureuse conciliant exigences d'exploitation, sécurité et confort des usagers. Ce chapitre a présenté les principaux éléments techniques intervenant dans sa conception ainsi que les normes associées. Leur application au projet a permis de définir un aménagement fonctionnel, sûr et adapté aux besoins d'exploitation, garantissant ainsi une infrastructure ferroviaire performante et durable.

# SHÉMA DE PRINCIPE GARE MANSOURA



## Profil en travers Type de la gare de Mansoura



Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -  
16051. Alger  
Fax : (023) 70 19 38 Site web : [www.enstp.edu.dz](http://www.enstp.edu.dz)  
Tel : (023) 70 19 04 E-mail : [enstp@enstp.edu.dz](mailto:enstp@enstp.edu.dz)

### PROJET DE FIN D'ETUDE

Etude en APD de la nouvelle  
ligne ferroviaire à voie unique  
Ghardaia - Meniaa du PK27+00  
au PK39+00 avec conception  
de la gare de Mansoura

### Réalise par

ATTICHE  
Kamel  
TOUATI  
Abdelbasset

### Encadré par

GHAFFAR  
Karam  
FEDGHOUCHE  
Farhat

### Echelle

1:150

### Planche

Profil en travers  
Type de la gare  
de Mansoura

### Année

2025  
2026

# **CHAPITRE XI : SIGNALISATION FERROVIAIRE**

# CHAPITRE XI : SIGNALISATION FERROVIAIRE

## XI.1. Introduction

La signalisation ferroviaire désigne l'ensemble des dispositifs conventionnels et équipements techniques déployés sur un réseau ferroviaire pour garantir la sécurité des circulations et assurer la fluidité du trafic. Elle joue un rôle central dans la régulation des mouvements de trains, la prévention des accidents et la protection des passagers, du personnel et des marchandises.

Le présent chapitre traite de la signalisation ferroviaire retenue pour le raccordement ferroviaire reliant la Gare Mansoura (PK 39+013), gare voyageurs sur voie unique nouvelle. Le choix du système de signalisation est déterminé par le niveau de trafic, la nature de l'exploitation et les exigences de sécurité propres à ce type de raccordement.

## XI.2. Rôle de la signalisation

Sur le raccordement ferroviaire avec la Gare Mansoura, la signalisation est mise en place pour résoudre les problèmes d'exploitation suivants :

- Espacement des circulations : éviter les rattrapages entre trains voyageurs et convois fret sur voie unique.
- Protection des points dangereux : sécuriser les aiguillages et appareils de voie en entrée et sortie
- Gestion de la circulation en sens unique alterné : coordonner le croisement des trains sur voie unique, les sens de circulation étant alternés par autorisation.
- Information des conducteurs : signaler les limitations de vitesse à l'approche de la gare et lors du franchissement des appareils de voie.
- Sécurité des usagers : protéger les passagers et le personnel aux abords de la gare voyageurs.

Ces risques sont prévenus par la mise en place d'une signalisation adaptée, l'établissement d'un régime d'exploitation de la ligne et la mise en œuvre de procédures spécifiques au raccordement.

## XI.3. Système de signalisation

### XI.3.1. Fonctions des signaux

Les signaux ferroviaires constituent un élément essentiel du système de signalisation. Ils permettent de transmettre aux conducteurs les informations nécessaires à la conduite sécurisée des trains et à la régulation des circulations ferroviaires.

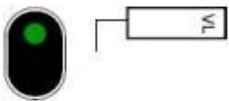
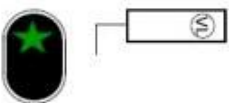
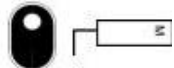
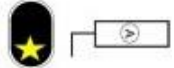
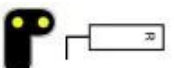
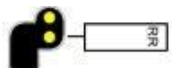
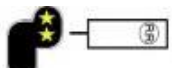
Les principales fonctions assurées par les signaux sont les suivantes :

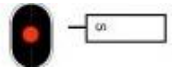
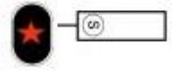
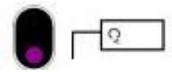
- **La signalisation d'arrêt** : elle impose au conducteur l'arrêt du train avant une zone protégée, un canton occupé ou un point dangereux ;
- **La signalisation de limitation de vitesse** : elle indique les sections de voie nécessitant une réduction de vitesse afin d'assurer la sécurité des circulations, notamment au niveau des aiguillages et des entrées de gare ;
- **La signalisation de direction** : elle renseigne le conducteur sur l'itinéraire à suivre et la voie à emprunter.

### **XI.3.2 Types de Signaux**

Les signaux ferroviaires remplissent trois fonctions essentielles : la signalisation d'arrêt, la signalisation de limitation de vitesse et la signalisation de direction. La figure ci-après présente les principaux signaux :

**Tableau XI.1 .: Types de Signaux**

| <b>Nom du signal</b>             | <b>Représentation</b>                                                               | <b>Signification</b>                                                                                                                                            |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Feu vert</b>                  |    | Informe le conducteur que la circulation en marche normale est autorisée, à condition qu'aucun obstacle ou restriction ne s'y oppose.                           |
| <b>Feu vert clignotant</b>       |    | Indique au conducteur d'un train circulant à une vitesse supérieure à 160 km/h qu'il doit engager un freinage afin de réduire sa vitesse.                       |
| <b>Feu blanc</b>                 |    | Confirme au mécanicien qu'il peut circuler en mode manœuvre.                                                                                                    |
| <b>Feu blanc clignotant</b>      |   | Interdit systématiquement le départ d'un train en ligne.                                                                                                        |
| <b>Avertissement / feu jaune</b> |  | Un avertissement fermé impose au conducteur de se préparer à l'arrêt aux signaux d'arrêt annoncés, tels que le carré, le sémaphore, ou un feu rouge clignotant. |
| <b>Feu jaune clignotant</b>      |  | Impose au conducteur de se tenir prêt à s'arrêter devant le signal annoncé à courte distance par l'avertissement suivant.                                       |
| <b>Ralentissement 30</b>         |  | Le signal de ralentissement 30 fermé impose au mécanicien de franchir l'aiguillage ou les aiguillages concernés à une vitesse ne dépassant pas 30 km/h.         |
| <b>Rappel 30</b>                 |  | Le signal de ralentissement 60 fermé impose au conducteur de ne pas dépasser 60 km/h lors du franchissement de l'aiguillage ou des aiguillages concernés.       |
| <b>Ralentissement 60</b>         |  | Le signal de ralentissement 60 fermé impose au conducteur de ne pas dépasser 60 km/h lors du franchissement de l'aiguillage ou des aiguillages concernés.       |
| <b>Rappel 60</b>                 |  | Le signal de ralentissement 60 fermé impose au conducteur de ne pas dépasser 60 km/h lors du franchissement de l'aiguillage ou des aiguillages concernés.       |

| Nom du signal        | Représentation                                                                    | Signification                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Carré (2)            |  | Un carré fermé impose au mécanicien de s'arrêter impérativement avant le signal.                                                                                                                                                              |
| Sémaphore            |  | Un sémaphore fermé impose au mécanicien de s'arrêter avant le signal.                                                                                                                                                                         |
| Feu rouge clignotant |  | Lorsqu'un mécanicien est confronté à un feu rouge clignotant, il est autorisé à poursuivre sa progression en marche à vue, sans obligation de marquer l'arrêt. Toutefois, la vitesse au franchissement du signal ne doit pas excéder 15 km/h. |
| Carré violet         |  | Ce signal fermé ordonne au conducteur de stopper son train avant son emplacement.                                                                                                                                                             |

### XI.3.3. Implantation des Signaux

L'implantation des signaux à la Gare Mansoura respecte les principes suivants :

- Positionnement à gauche de la voie, conformément à la règle de circulation à gauche des trains sur le réseau algérien, sauf contrainte technique.
- Les signaux d'annonce sont placés à une distance suffisante des signaux d'arrêt pour permettre le freinage et l'arrêt complet du train, tenant compte du profil de la voie et des performances des convois fret.
- La visibilité de chaque signal est assurée conformément aux normes en vigueur, garantissant une distance de perception minimale suffisante pour que le mécanicien réagisse en temps utile.
- Les panneaux lumineux fixes sont utilisés pour les signaux principaux ; les signaux mobiles de ralentissement 30 sont activés uniquement lorsqu'un aiguillage est en position déviée.

### XI.3.4. Système de Cantonnement

Le cantonnement est le principe fondamental d'espacement des trains. La ligne est fractionnée en cantons, chacun protégé par des signaux d'arrêt à ses extrémités. Un seul train est admis par canton à la fois, empêchant tout rattrapage.

#### XI.3.4.1. Types de Blocs

Trois systèmes de bloc existent sur le réseau ferroviaire algérien :

- **Block Manuel (B.M)** : l'autorisation de pénétrer dans un canton est délivrée manuellement par un agent garde. Cantons de 10 à 25 km. Économique mais nécessite plus de personnel.
- **Block Automatique Lumineux (B.A.L)** : signaux automatisés, espacement géré par détection d'occupation des voies. Utilisé sur les lignes à fort trafic.
- **Block Automatique à Permissivité Restreinte (B.A.P.R)** : automatisé avec des cantons plus longs que le BAL. Adapté aux lignes à trafic moyen et lignes secondaires.

### XI.3.5. Système de contrôle et de protection ERTMS

L'ERTMS (*European Rail Traffic Management System*), ou système européen de gestion du trafic ferroviaire, est un système moderne de contrôle, de commande et de supervision des circulations ferroviaires. Il permet d'assurer une exploitation ferroviaire standardisée, sécurisée et interopérable entre les différents réseaux ferroviaires.

Ce système améliore la sécurité des circulations tout en optimisant la gestion du trafic ferroviaire grâce à l'échange continu d'informations entre la voie et le train.

#### XI.3.5.1. Fonctions principales de l'ERTMS

L'ERTMS assure plusieurs fonctions essentielles, notamment :

- Le contrôle de la signalisation latérale à travers des balises normalisées communiquant avec les équipements embarqués à bord du train ;
- La transmission de l'autorité de mouvement du train jusqu'au prochain signal, selon le principe de cantonnement adopté ;
- La conversion des informations de signalisation via l'unité de contrôle latérale (*LEU – Lineside Electronic Unit*) afin de les transmettre au train par l'intermédiaire des balises ;
- La transmission continue de la position et de la vitesse du train vers le centre de contrôle grâce aux équipements de communication embarqués ;
- La protection automatique des trains par la communication voie-train assurée par les Eurobalises, garantissant ainsi un niveau élevé de sécurité et de fiabilité des circulations ferroviaires.

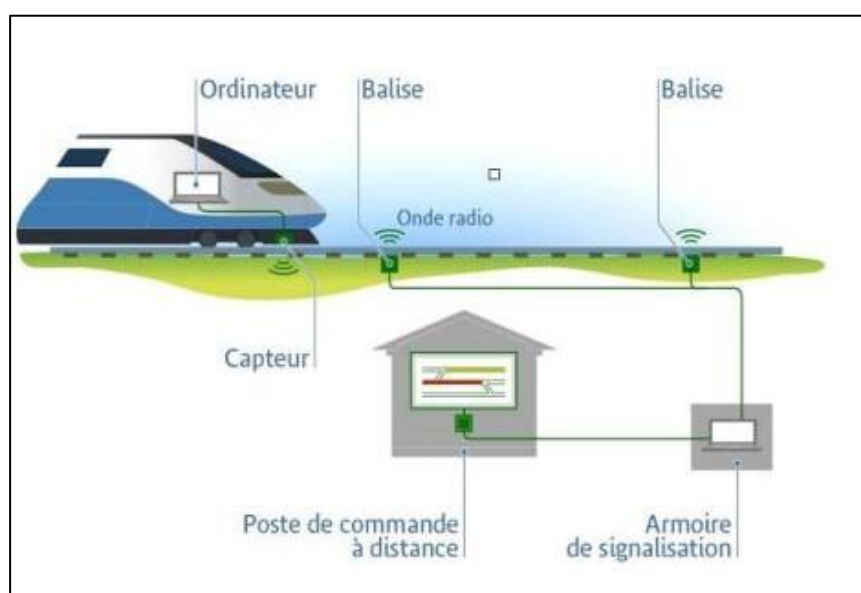


Figure XI.1 System de contrôle des trains ERTMS

### XI.3.6 Application au projet

Dans le cadre du projet de la gare voyageurs Mansoura PK 39+013, le système de signalisation retenu repose sur l'utilisation du **Block Automatique Lumineux (BAL)** associé à l'**ERTMS Niveau 1** afin d'assurer une exploitation moderne, sécurisée et adaptée au trafic de la nouvelle ligne ferroviaire.

Le BAL permet d'assurer automatiquement l'espacement des trains grâce au découpage de la ligne en cantons protégés par des signaux lumineux. Ce système garantit une meilleure fluidité des circulations ainsi qu'une réduction des risques de rattrapage et de collision.

En complément, l'ERTMS Niveau 1 renforce la sécurité de l'exploitation par la transmission des informations de signalisation directement au train via des Eurobalises implantées le long de la voie. Ce système permet notamment le contrôle de la vitesse, la supervision des mouvements ferroviaires et la protection automatique des trains en cas de non-respect des consignes de signalisation.

L'association du BAL et de l'ERTMS Niveau 1 constitue ainsi une solution performante et adaptée aux exigences d'exploitation de la gare voyageurs de Mansora PK 39+013.

## **XI.4. Conclusion**

La signalisation ferroviaire joue un rôle essentiel dans la sécurité et la fluidité de l'exploitation de la gare voyageurs de Mansoura PK 39+013. L'étude réalisée a permis de définir un système adapté aux contraintes d'une ligne nouvelle à voie unique, garantissant une gestion sûre et efficace des circulations ferroviaires.

Le choix du Block Automatique Lumineux (BAL), associé à l'ERTMS Niveau 1, offre une solution moderne permettant d'assurer l'espacement des trains, le contrôle des mouvements et le renforcement de la sécurité des circulations. L'implantation des signaux et les dispositifs de protection ont été conçus conformément aux exigences du réseau ferroviaire algérien et aux standards internationaux.

**CHAPITRE XII**  
**ETUDE D'IMPACT**  
**SUR L'ENVIRONNEMENT**

## X.II. ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

### XII.1. Introduction :

L'étude d'impact sur l'environnement, également appelée étude d'incidence environnementale, est une démarche qui vise à identifier et évaluer les effets potentiels du projet de ligne ferroviaire Ghardaïa – El Ménéea sur l'environnement dès les premières étapes de sa planification. Elle permet de situer le projet dans son contexte territorial saharien, d'en justifier la pertinence, et de décrire les principales composantes du milieu récepteur.

L'objectif de cette étude est de détecter les atteintes possibles aux écosystèmes traversés par le tracé, d'évaluer l'ampleur des impacts et de proposer des mesures pour atténuer les effets négatifs sur l'être humain, l'environnement, ainsi que sur les ressources naturelles et agricoles.

### XII.2. Réglementation :

Pour garantir une mise en œuvre respectueuse de l'environnement, le projet de ligne ferroviaire Ghardaïa – El Ménéea doit se conformer aux lois et règlements algériens en matière de protection de l'environnement. L'Algérie accorde une attention particulière à la préservation des écosystèmes et à l'intégration du développement durable dans ses politiques. Voici quelques dispositions juridiques clés à prendre en compte :

**Tableau XII.1 : Références légales et réglementaires applicables au projet ferroviaire**

| Domaine                                                | Références légales et réglementaires                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Faune et flore                                         | -Ordonnance n° 06-05 du 15 juillet 2006 relative à la protection et à la préservation de certaines espèces animales menacées de disparition.<br>-Décret exécutif n° 12-235 du 24 mai 2012 fixant la liste des espèces animales non domestiques protégées.                   |
| Protection de l'environnement et développement durable | -Loi n° 03-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.<br>-Loi n° 01-20 du 12 Décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire.                                                                  |
| Patrimoine culturel et sites archéologiques            | - Loi n°98-04 du 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel.                                                                                                                                                                                              |
| Étude d'impact sur l'environnement                     | -Décret exécutif n° 90-78 du 27 février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement.<br>Décret exécutif n° 07-145 du 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et notices d'impact sur l'environnement. |

### XII.3. Caractéristiques générales du site

La zone d'étude est située dans le sud de l'Algérie et s'étend entre les wilayas de Ghardaïa et d'El Menéea. Elle se caractérise par un environnement saharien dominé par de vastes étendues désertiques, des formations dunaires, des plateaux rocheux et des oueds temporaires. Cette région occupe une position stratégique dans les échanges entre le nord et le sud du pays et dispose d'un potentiel économique important lié aux activités agricoles, commerciales, touristiques et minières. Ferroviairee liaison

ferroviaire vise à renforcer l'accessibilité de cette zone, à améliorer la mobilité des populations et à faciliter le transport des marchandises.

## XII.4. Potentiel physique, biologique et humain de la zone d'étude

La région de Ghardaïa et d'El Ménée se distingue par son importance stratégique, ses ressources naturelles diversifiées et son potentiel économique considérable, notamment dans les secteurs du commerce, de l'agriculture, du tourisme saharien et des activités minières.

**Tableau XII.2 : Éléments physiques, écologiques et humains de la zone concernée**

| Ressource  | Type                                            | Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Physique   | Relief                                          | La zone d'étude traverse deux ensembles morphologiques distincts : le plateau rocheux de la Chebka du M'Zab (Pk 0 à Pk 203), caractérisé par des calcaires crétacés découpés par des vallées irrégulières.                                                                                                             |
|            | Climat                                          | Climat saharien aride. Les précipitations annuelles varient entre 70 mm (Ghardaïa) et 45 mm (El Ménée). Les températures sont extrêmes et les vents dominants favorisent l'ensablement de la voie ferroviaire.                                                                                                         |
|            | Géologie<br>Hydrogéologie                       | Formations du Crétacé supérieur (calcaires turoniens dolomitiques, argiles du Cénomanien-Vraconien) sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire du Bas-Sahara. Présence de gypses et d'anhydrites en intercalations.                                                                                          |
|            | Réseau<br>hydrographique                        | Le tracé traverse le grand bassin versant du Sahara septentrional, bassin versants principal : Oued Sebeb. Le oued est majoritairement à sec la majeure partie de l'année.                                                                                                                                             |
| Biologique | Flore                                           | Végétation saharo-méditerranéenne adaptée aux conditions arides : Retama retam, Tamarix gallica, Ziziphus lotus, Acacia flava, Euphorbia guyoniana, Salsola baryosoma, Pancratium saharae, ainsi que des palmiers dattiers (Phoenix dactylifera) dans les zones habitées.                                              |
|            | Faune                                           | Faune saharienne diversifiée : mammifères (Goundi du M'Zab, Lièvre du cap, Fennec), reptiles (Fouette-queue, Couleuvre de moïla), et avifaune variée (Busard des roseaux, Buse féroce, Courlis cendré, Huppe fasciée). Site Ramsar de Sebkhet el Melah recensé à El Ménée.                                             |
| Humaine    | Activités<br>économiques                        | Le tracé dessert 6 communes (Metlili, Seb Seb, Mansoura, Hassi El F'hal, El Ménée, Hassi El Gara) avec une population totale d'environ 119 000 habitants. L'agriculture repose sur la phoeniciculture (24 720 ha de palmeraies), le maraîchage et l'élevage. La production laitière atteint 2 223 000 L/an à El Ménée. |
|            | Les<br>infrastructures<br>de base<br>existantes | Réseau routier structuré : 927 km de routes nationales (Ghardaïa) et 636 km (El Ménée). Taux de raccordement électrique : 97% (Ghardaïa) et 96% (El Ménée). Projets de centrales photovoltaïques prévus. Aucune ligne ferroviaire existante dans la zone à ce jour.                                                    |

## XII.5. L'impact du projet

### XII.5.1 Les effets bénéfiques :

Les impacts identifiés concernent principalement les aspects suivants :

q

**Tableau XII.3 : Bénéfices directs et indirects du projet**

| Direct                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Indirect                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Désenclaver les wilayas de Ghardaïa et d'El Ménéa, réduisant l'isolement des populations.</li><li>- Générer de nouvelles opportunités d'emploi durant les phases de construction et d'exploitation.</li><li>- Accroître la vitesse de circulation sur la ligne et raccourcir les temps de trajet entre les wilayas.</li><li>- Faciliter le transport des marchandises, notamment des productions agricoles et minières.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- L'élimination d'une partie du transport routier des marchandises, diminuant les coûts d'entretien des routes.</li><li>- La baisse du trafic routier contribuant à réduire la pollution de l'air ainsi que les risques d'accidents.</li><li>- L'optimisation de la gestion des ressources locales (phoeniciculture, élevage) pour plus d'efficacité.</li><li>- Le soutien au développement socio-économique régional et à l'attractivité touristique du territoire.</li></ul> |

### XII.5.2. Les impacts négatifs et les mesures d'atténuation proposées :

Les impacts négatifs représentent les effets défavorables potentiels du projet sur l'environnement, les populations et les activités socio-économiques. Le tableau suivant présente les principaux impacts identifiés ainsi que les mesures proposées pour les atténuer.

**Tableau XII.4 : Impacts négatifs et mesures d'atténuation**

| Catégorie d'impact                       | Impacts négatifs                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Solutions d'atténuation proposées                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Sols</b>                              | <ul style="list-style-type: none"><li>- Risque d'érosion et d'ensablement des terrassements.</li><li>- Altération des sols résultant de l'extraction de matériaux de construction.</li><li>- Compactage du sol limitant la perméabilité et l'absorption de l'eau.</li><li>- Pollution du sol par les huiles usagées et les déchets de chantier.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Réhabiliter les carrières et zones d'emprunt avec nivellement des terres.</li><li>- Utiliser des récipients étanches pour stocker et éliminer les huiles usagées.</li><li>- Prévoir une aire bétonnée pour la maintenance et le ravitaillement des engins.</li><li>- Limiter le défrichement au strict minimum nécessaire.</li></ul>           |
| <b>Eau (superficielle / souterraine)</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Risque de pollution des eaux de surface par ruissellement de polluants.</li><li>- Perturbation possible des nappes phréatiques et des sources locales.</li><li>- Risque de contamination par les effluents du chantier.</li></ul>                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"><li>- Acheminer les effluents de vidange vers un site agréé pour leur traitement.</li><li>- Assurer un système de gestion des eaux de lavage et des résidus huileux.</li><li>- Veiller à l'étanchéité des zones de stockage de liquides potentiellement polluants.</li><li>- Assurer la transparence hydraulique par des ouvrages adaptés.</li></ul> |
| <b>L'air</b>                             | <ul style="list-style-type: none"><li>- Émissions de poussières et de particules nuisibles à la santé, la sécurité et au paysage.</li><li>- Nuisances sonores perturbant les habitants et la faune.</li></ul>                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"><li>- Arrosage régulier des pistes et des emprises ferroviaires matin et soir.</li><li>- Mettre en place un dispositif de bâchage pour tous les camions transportant des matériaux.</li></ul>                                                                                                                                                        |

|                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Émissions de gaz d'échappement des engins de chantier.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fournir aux ouvriers des équipements de protection individuelle (masques, etc.).</li> <li>- Se conformer aux normes en vigueur en matière d'émissions sonores.</li> </ul>                                                                                                                                                                                        |
| <b>Flore</b>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Disparition de végétation due au décapage du sol et aux terrassements.</li> <li>- Perturbation des espèces végétales fixatrices de sable.</li> <li>- Destruction d'habitats végétaux lors des phases de génie civil.</li> </ul>                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Éviter toute installation de chantier dans des milieux densément végétalisés.</li> <li>- Obtenir l'autorisation préalable des services forestiers pour toute coupe d'arbres.</li> <li>- Initier des opérations de reboisement compensatoire avec la direction forestière.</li> <li>- Mettre en place un programme de réhabilitation environnementale.</li> </ul> |
| <b>Faune</b>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perturbation de la faune et effet de coupure des corridors écologiques.</li> <li>- Destruction d'habitats naturels lors des travaux de terrassement.</li> <li>- Risques de collision et de chasse illicite par les ouvriers.</li> </ul>                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maintenir la continuité écologique via des passages à faune.</li> <li>- Instaurer un plan d'action local pour la sauvegarde des espèces et habitats naturels.</li> <li>- Sensibiliser les ouvriers aux enjeux de protection de la faune et aux risques de collision.</li> </ul>                                                                                  |
| <b>Milieu humain et socio-économique</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Interception des réseaux (pipelines, lignes électriques, réseaux d'eau).</li> <li>- Distraction et expropriation de terrains agricoles.</li> <li>- Perturbation des pratiques culturelles agricoles riveraines.</li> <li>- Nuisances sonores et insécurité routière pour les riverains.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Protéger et/ou déplacer les réseaux interceptés, informer la population.</li> <li>- Consulter les agriculteurs avant travaux et les indemniser.</li> <li>- S'assurer que les dégâts aux propriétés et cultures sont limités au minimum.</li> <li>- Organiser des campagnes de sensibilisation à la sécurité routière pour les riverains.</li> </ul>              |
| <b>Milieux humain</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bruit des trains affectant le sommeil, la concentration et la qualité de vie des riverains.</li> <li>- Le projet peut accroître les risques d'accidents, tant pour les ouvriers du chantier que pour les usagers.</li> </ul>                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Créer des passages sécurisés pour piétons et véhicules aux points de franchissement.</li> <li>- Installer des barrières anti-bruit près des zones habitées.</li> <li>- Limiter l'accès au chantier au personnel autorisé.</li> </ul>                                                                                                                             |
| <b>Milieux agricoles</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- La réalisation des voies ferrées diminue la superficie des terres agricoles disponibles.</li> <li>- Risque de pollution des eaux d'irrigation et des sols agricoles par les déchets de chantier.</li> </ul>                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Éviter les zones agricoles de haute valeur pour préserver les terres cultivables.</li> <li>- Indemniser les agriculteurs affectés selon le code de l'expropriation nationale.</li> <li>- Remettre en état les terres agricoles temporairement affectées après la fin des travaux.</li> </ul>                                                                     |

## **XII.6. Influence de l'environnement sur la réalisation du projet**

La ligne ferroviaire Ghardaïa – El Ménéa évolue dans un milieu saharien contraignant où le climat aride et les vents provoquent un fort risque d'ensablement nécessitant des protections spécifiques. La géologie calcaire du plateau influence directement les travaux de terrassement et les ouvrages. Malgré un réseau hydrographique généralement sec, des crues soudaines peuvent survenir et exigent des structures adaptées. Le tracé traverse proche des zones agricoles, imposant une maîtrise des emprises et des impacts sur les activités locales.

## **XII.7. Conclusion**

En conclusion, la ligne Ghardaïa – El Ménéa s'inscrit dans un milieu contraignant mais maîtrisable. Les impacts environnementaux identifiés sont pris en compte dès la conception grâce à des mesures d'atténuation adaptées. L'intégration rigoureuse des contraintes environnementales améliore la durabilité du projet et assure son insertion harmonieuse dans le milieu saharien. Sa réussite dépend du respect strict des recommandations environnementales par tous les acteurs durant les phases de construction et d'exploitation.

**CHAPITRE XIII**  
**DEVIS QUANTITATIF**  
**ET ESTIMATIF**

# CHAPITRE XIII : DEVIS QUANTITATIVE ET ESTIMATIVE

Tableau XIII.1 : Devis quantitatif et estimatif

| N°                                  | DESIGNATIONS                                            | Unité | Quantité   | Prix Unitaire  | Montant HT            |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------|------------|----------------|-----------------------|
| <b>1 INSTALLATIONS GENERALES</b>    |                                                         |       |            |                |                       |
| 1.01                                | Amenée du matériel et installation générale de chantier | F     | 1.00       | 90,000,000.00  | 90,000,000.00         |
| 1.02                                | Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier | F     | 1.00       | 44,575,416.00  | 44,575,416.00         |
| 1.03                                | Etude d'exécution et plan de recollement                | F     | 1.00       | 150,000,000.00 | 150,000,000.00        |
| <b>TOTAL 1</b>                      |                                                         |       |            |                | <b>284,575,416.00</b> |
| <b>2 TERRASSEMENTS GENERAUX</b>     |                                                         |       |            |                |                       |
| 2.01                                | Décapage des terres végétale                            | M3    | 71,394.10  | 455.95         | 32,552,139.90         |
| 2.02                                | Déblais mise en remblai                                 | M3    | 343,655.20 | 900.00         | 309,289,680.00        |
| 2.03                                | Déblais en terres mise en dépôt                         | M3    | 607,378.30 | 486.10         | 295,246,591.63        |
| 2.04                                | Fourniture Mise en place du Géotextile                  | M2    | 2,700.00   | 1,700.00       | 4,590,000.00          |
| 2.05                                | Matériau de zone inondable/humide                       | M3    | 3,600.00   | 4,200.00       | 15,120,000.00         |
| <b>TOTAL 2</b>                      |                                                         |       |            |                | <b>656,798,411.53</b> |
| <b>3 ASSISE FERROVIAIRE</b>         |                                                         |       |            |                |                       |
| 3.01                                | F/P couche de forme                                     | M3    | 36,794.70  | 778.00         | 28,626,276.60         |
| 3.02                                | F/P couche de fondation                                 | M3    | 14,478.20  | 3,341.00       | 48,371,666.20         |
| 3.03                                | F/P couche de sous ballast                              | M3    | 19,992.30  | 3,341.00       | 66,794,274.30         |
| 3.04                                | F/P couche de ballast                                   | M3    | 27,459.20  | 6,305.00       | 173,130,256.00        |
| <b>TOTAL 3</b>                      |                                                         |       |            |                | <b>316,922,473.10</b> |
| <b>4 DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT</b> |                                                         |       |            |                |                       |
| 4.01                                | Dalots en béton armé (1.5x1.5)-(2x3)-(2x2)              | M3    | 702.00     | 117,600.00     | 82,555,200.00         |
| 4.02                                | Fossé en béton arme.                                    | ML    | 19,560.00  | 27,000.00      | 528,120,000.00        |
| <b>TOTAL 4</b>                      |                                                         |       |            |                | <b>610,675,200.00</b> |
| <b>5 TRAVAUX DE VOIE ET DE GARE</b> |                                                         |       |            |                |                       |
| 5.01                                | Fourniture des rails UIC 60 E                           | T     | 1,827.35   | 121,250.00     | 221,566,187.50        |
| 5.03                                | Fourniture des attaches (Type NABLA)                    | U     | 49,042.00  | 1,200.00       | 58,850,400.00         |

|                                          |                                                    |    |           |               |                         |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------|----|-----------|---------------|-------------------------|
| 5.04                                     | Pose de voie                                       | ML | 14,700.00 | 9,400.00      | 138,180,000.00          |
| 5.05                                     | Soudures électriques et soudures aluminothermiques | U  | 1,120.00  | 18,915.00     | 21,184,800.00           |
| 5.07                                     | Traverses mono-Bloc                                | U  | 24,521.00 | 10,185.00     | 249,746,385.00          |
| 5.08                                     | Fourniture des adv UIC 60-300-1/9                  | U  | 3.00      | 13,181,202.00 | 39,543,606.00           |
| 5.09                                     | Fourniture des adv UIC 60-500-1/12                 | U  | 4.00      | 15,899,976.00 | 63,599,904.00           |
| 5.1                                      | Pose des adv UIC 60-500-1/12                       | U  | 4.00      | 553,627.00    | 2,214,508.00            |
| 5.09                                     | Pose des adv UIC 60-300-1/9                        | U  | 3.00      | 489,462.00    | 1,468,386.00            |
| 5.1                                      | Heurtoir                                           | U  | 2.00      | 936,686.56    | 1,873,373.12            |
| 5.11                                     | Traverses de garage franc                          | U  | 6.00      | 40,891.00     | 245,346.00              |
| 5.12                                     | Batiment de service                                | F  | 1.00      | 75,022,510.00 | 75,022,510.00           |
| 5.13                                     | F/P des quais avec ces installations               | U  | 2.00      | 19,417,281.00 | 38,834,562.00           |
| <b>TOTAL 5</b>                           |                                                    |    |           |               | <b>912,329,967.62</b>   |
| <b>6 SIGNALISATION</b>                   |                                                    |    |           |               |                         |
| 6.01                                     | Signalisation                                      | F  | 1.00      | 6,000,000.00  | 6,000,000.00            |
| <b>TOTAL 6</b>                           |                                                    |    |           |               | <b>6,000,000.00</b>     |
| <b>7 OUVRAGES D'ART :</b>                |                                                    |    |           |               |                         |
| 7.01                                     | Passage superieur                                  | F  | 1.00      | 69,526,439.30 | 69,526,439.30           |
| 7.02                                     | Passage inferieur                                  | F  | 1.00      | 20,356,332.20 | 20,356,332.20           |
| 7.03                                     | Pont rail                                          | ML | 679.00    | 1,200,000.00  | 814,800,000.00          |
| <b>TOTAL 7</b>                           |                                                    |    |           |               | <b>904,682,771.50</b>   |
| <b>8 PROTECTION CONTRE L'ENSABLEMENT</b> |                                                    |    |           |               |                         |
| 8.01                                     | Piège à sable                                      | M3 | 800.00    | 2,310.00      | <b>1,848,000.00</b>     |
| 8.02                                     | Carroyage                                          | M2 | 95.00     | 16,503.00     | <b>1,567,785.00</b>     |
| 8.03                                     | Voute de protection                                | ML | 475.00    | 700,000.00    | <b>332,500,000.00</b>   |
| 8.04                                     | Végétalisation en surface libre                    | M2 | 40.00     | 18,281.00     | <b>731,240.00</b>       |
| <b>TOTAL 7</b>                           |                                                    |    |           |               | <b>336,647,025.00</b>   |
| <b>Total en HT</b>                       |                                                    |    |           |               | <b>4,028,631,264.75</b> |
| <b>MONTANT TVA (19%)</b>                 |                                                    |    |           |               | <b>765,439,940.30</b>   |
| <b>MONTANT TOTAL EN TTC</b>              |                                                    |    |           |               | <b>4,794,071,205.05</b> |

**Montant total en TTC (en lettres) :**

Quatre milliards sept cent quatre-vingt-quatorze millions soixante et onze mille deux cent cinq dinars algériens.

# **CONCLUSION GÉNÉRALE**

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Le présent mémoire a porté sur l'étude en Avant-Projet Détaillé (APD) de la nouvelle ligne ferroviaire électrifiée à voie unique reliant Ghardaïa à El Meniaa, plus précisément sur le tronçon compris entre le PK 27+000 et le PK 39+000, ainsi que sur la conception de la gare de Mansoura. Ce projet s'inscrit dans la dynamique de développement du réseau ferroviaire national et vise à améliorer la desserte des régions sahariennes tout en accompagnant leur essor socio-économique.

Cette étude nous a permis d'aborder les principaux aspects de la conception ferroviaire, notamment l'étude géométrique du tracé, les investigations géologiques et géotechniques, le dimensionnement de la structure d'assise, les études hydrologiques et hydrauliques, ainsi que la prise en compte des contraintes spécifiques du milieu saharien, telles que les franchissements d'ouvrages et la protection contre l'ensablement. La conception de la gare de Mansoura a également été développée conformément aux besoins d'exploitation et aux exigences de sécurité.

L'utilisation d'outils spécialisés tels qu'AutoCAD, Covadis 17, Google Earth, Global Mapper, HEC-RAS et GEO5, associée au respect des normes de l'UIC et des prescriptions de la SNTF, a permis de proposer des solutions techniques cohérentes et adaptées au contexte du projet.

En conclusion, ce travail a constitué une expérience particulièrement enrichissante, nous permettant de consolider nos connaissances théoriques, de développer nos compétences pratiques en ingénierie ferroviaire et d'acquérir une meilleure compréhension des différentes étapes nécessaires à la réalisation d'un projet d'infrastructure ferroviaire durable et performant.

# Bibliographie

- [1] SETERAIL, (Rapport de l'étude géologique et géotechnique).
- [2] SETERAIL, (Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique).
- [3] ST N°590 B
- [4] IN 0272, Conception du tracé de la voie courante  $V \leq 220$  km/h.
- [5] Mémoires de l'école nationale supérieure des travaux publics.
- [6] SNTF, Référentiel technique, chapitre 6 : Géométrie de la voie 2005.
- [7] IN 260, Dimensionnement des structures d'assise pour la construction et la réfection des voies ferrées.
- [8] Cours Mr.Gheffar
- [9] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2ème Edition.
- [10] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 3ème Edition.
- [11] SNTF, Appareils de vois.
- [12] SNTF, ouvrage en terre.
- [13] IN 3

# **ANNEXE**

## ANNEXE A: Listing de l'axe en plan

| Elts Caractéristiques                       |                        |          |  | Points de Contacts |            |             |
|---------------------------------------------|------------------------|----------|--|--------------------|------------|-------------|
| Nom                                         | Paramètres             | Longueur |  | Abscisse           | X          | Y           |
| Droite 1                                    | Gisement 189.68gr      | 1655.773 |  | 27000.000          | 572611.458 | 3551223.425 |
| Clothoïde 1                                 | Paramètre 648.074      | 150.000  |  | 28655.773          | 572878.585 | 3549589.342 |
| Arc 1                                       | Rayon 2800.000 m       | 1362.624 |  | 28805.773          | 572904.104 | 3549441.534 |
|                                             | Centre X 575654.336 m  |          |  |                    |            |             |
|                                             | Centre Y 3549967.106 m |          |  |                    |            |             |
| Clothoïde 2                                 | Paramètre -648.074     | 150.000  |  | 30168.397          | 573469.190 | 3548216.353 |
| Droite 2                                    | Gisement 155.29gr      | 455.499  |  | 30318.397          | 573565.052 | 3548100.989 |
| Clothoïde 3                                 | Paramètre -616.441     | 190.000  |  | 30773.897          | 573859.280 | 3547753.268 |
| Arc 2                                       | Rayon -2000.000 m      | 3238.907 |  | 30963.897          | 573979.686 | 3547606.315 |
|                                             | Centre X 572393.300 m  |          |  |                    |            |             |
|                                             | Centre Y 3546388.375 m |          |  |                    |            |             |
| Clothoïde 4                                 | Paramètre 616.441      | 190.000  |  | 34202.804          | 573532.640 | 3544744.628 |
| Droite 3                                    | Gisement 264.44gr      | 588.034  |  | 34392.804          | 573373.152 | 3544641.399 |
| Clothoïde 5                                 | Paramètre 619.677      | 160.000  |  | 34980.838          | 572874.502 | 3544329.740 |
| Arc 3                                       | Rayon 2400.000 m       | 2847.590 |  | 35140.838          | 572739.780 | 3544243.441 |
|                                             | Centre X 574078.908 m  |          |  |                    |            |             |
|                                             | Centre Y 3542251.775 m |          |  |                    |            |             |
| Clothoïde 6                                 | Paramètre -619.677     | 160.000  |  | 37988.428          | 571730.458 | 3541757.018 |
| Droite 4                                    | Gisement 184.66gr      | 865.041  |  | 38148.428          | 571766.911 | 3541601.234 |
|                                             |                        |          |  | 39013.470          | 571973.349 | 3540761.186 |
| Longueur totale de l'axe 12013.470 mètre(s) |                        |          |  |                    |            |             |

## ANNEXE B : Listing de profil en long

| Elts Caractéristiques                                  |                          |          |  | Points de Contacts |          |
|--------------------------------------------------------|--------------------------|----------|--|--------------------|----------|
| Nom                                                    | Pente / Rayon            | Longueur |  | Abscisse           | Altitude |
| Pente 1                                                | Pente -1.25 %            | 573.638  |  | 27000.000          | 421.541  |
| Cercle 1                                               | Rayon 20000.000 m        | 237.967  |  | 27573.638          | 414.368  |
|                                                        | Sommet Absc. 27823.677 m |          |  |                    |          |
|                                                        | Sommet Alt. 412.805 m    |          |  |                    |          |
| Pente 2                                                | Pente -0.06 %            | 2648.039 |  | 27811.605          | 412.809  |
| Cercle 2                                               | Rayon -27000.000 m       | 191.134  |  | 30459.645          | 411.211  |
|                                                        | Sommet Absc. 30443.348 m |          |  |                    |          |
|                                                        | Sommet Alt. 411.216 m    |          |  |                    |          |
| Pente 3                                                | Pente -0.77 %            | 746.977  |  | 30650.779          | 410.419  |
| Cercle 3                                               | Rayon 20000.000 m        | 473.227  |  | 31397.756          | 404.680  |
|                                                        | Sommet Absc. 31551.409 m |          |  |                    |          |
|                                                        | Sommet Alt. 404.090 m    |          |  |                    |          |
| Pente 4                                                | Pente 1.60 %             | 2239.474 |  | 31870.983          | 406.643  |
| Cercle 4                                               | Rayon -50000.000 m       | 918.286  |  | 34110.458          | 442.432  |
|                                                        | Sommet Absc. 34909.395 m |          |  |                    |          |
|                                                        | Sommet Alt. 448.815 m    |          |  |                    |          |
| Pente 5                                                | Pente -0.24 %            | 276.459  |  | 35028.744          | 448.673  |
| Cercle 5                                               | Rayon -23000.000 m       | 290.060  |  | 35305.203          | 448.013  |
|                                                        | Sommet Absc. 35250.302 m |          |  |                    |          |
|                                                        | Sommet Alt. 448.078 m    |          |  |                    |          |
| Pente 6                                                | Pente -1.50 %            | 1359.648 |  | 35595.263          | 445.491  |
| Cercle 6                                               | Rayon 20000.000 m        | 299.966  |  | 36954.911          | 425.096  |
|                                                        | Sommet Absc. 37254.877 m |          |  |                    |          |
|                                                        | Sommet Alt. 422.847 m    |          |  |                    |          |
| Pente 7                                                | Pente -0.00 %            | 1758.592 |  | 37254.877          | 422.847  |
|                                                        |                          |          |  | 39013.470          | 422.847  |
| Longueur totale de l'axe 12013.470 mètre(s)            |                          |          |  |                    |          |
| Longueur développée totale de l'axe 12014.058 mètre(s) |                          |          |  |                    |          |

## ANNEXE C : classe-sol-RPA

| Catégorie | Description                                                                                 | $q_{c30}$<br>(MPa)<br><b>(c)</b> | $N_{30}$<br>(coups)<br><b>(d)</b> | $C_{u30}$<br>(kPa)<br><b>(e)</b> | $R_{c30}$<br>(MPa)<br><b>(f)</b> | $Pl_{30}$<br>(Mpa)<br><b>(g)</b> | $E_{p30}$<br>(MPa)<br><b>(g)</b> | $V_{S30}$<br>(m/s)<br><b>(h)</b> |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| $S_1$     | Rocheux <b>(a)</b>                                                                          | /                                | /                                 | /                                | >10                              | >5                               | >100                             | >800                             |
| $S_2$     | Ferme                                                                                       | >15                              | >50                               | >100                             | 0.4-<br>10                       | 2-5                              | 20-<br>100                       | 360-<br>800                      |
| $S_3$     | Meuble                                                                                      | 1.5-<br>15                       | 15-50                             | 50-<br>100                       | 0.1-<br>0.4                      | 1-2                              | 5-20                             | 180-<br>360                      |
| $S_4$     | Très Meuble ou Présence<br>de 3 m, au moins,<br>d'argile molle <b>(b)</b>                   | < 1.5                            | <15                               | <50                              | <0.1                             | <1                               | <5                               | <180                             |
| $S_5$     | site nécessitant investi-<br>gations approfondies et<br>études spécifiques (cf. §<br>3.3.3) | /                                | /                                 | /                                | /                                | /                                | /                                | /                                |

Table 3.1: Classification des sites

## ANNEXE D : Condition d'utilisation des matériaux en remblai (GTR)

### CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI

**R<sub>2</sub>, R<sub>4</sub>, R<sub>6</sub>, R<sub>31</sub>, R<sub>32</sub> et R<sub>33</sub>**

| Sol                                                         | Observations générales                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Situation météorologique                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                               | Conditions d'utilisation en remblai                                                                                                                                                                                                   | Code<br>E G W T R C H |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>R<sub>21</sub><br/>R<sub>41</sub><br/>R<sub>61</sub></b> | Matériaux rocheux sains<br>Ces matériaux habituellement insensibles à l'eau, sont utilisables en remblais quelles que soient les conditions météorologiques.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | ++<br>+<br>=<br>ou<br>-                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | toutes conditions météorologiques                             | G : élimination des éléments ≥ 800 mm<br>C : compactage moyen                                                                                                                                                                         | 0 1 0 0 0 2 0         |
| <b>R<sub>22</sub><br/>R<sub>42</sub><br/>R<sub>62</sub></b> | Matériaux rocheux de dureté moyenne, évoluant granulométriquement en cours de chantier vers un sol blocailleux. Cette évolution granulométrique peut être notamment accélérée en période pluvieuse sous trafic                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Les conditions dépendent de la nature et de l'état du sol obtenu en chantier. Ces matériaux se classent généralement en C <sub>2</sub> et quelques fois en C <sub>1</sub> ou en D <sub>3</sub> .<br>Dans chaque cas, le géotechnicien doit préciser le sol le plus probable auquel on aboutit en fin de mise en œuvre<br>Cf. conditions d'utilisation de ces sols                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                               |                                                                                                                                                                                                                                       |                       |
| <b>R<sub>23</sub><br/>R<sub>43</sub><br/>R<sub>63</sub></b> | Matériaux rocheux "déstructurés", évoluant en cours de chantier vers un sol fin souvent sensible à l'eau                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Les conditions dépendent de la nature et de l'état du sol obtenu en chantier. A priori, ces matériaux peuvent se classer :<br>- pour R <sub>23</sub> : principalement en C <sub>2</sub> Bi ou D <sub>3</sub><br>- pour R <sub>43</sub> : principalement en C <sub>2</sub> Bi, Bi, D <sub>1</sub> ou D <sub>2</sub><br>- pour R <sub>63</sub> : toutes classes possibles<br><br>Dans chaque cas le géotechnicien doit préciser le sol le plus probable auquel on aboutit en fin de mise en œuvre<br>On se référera alors aux conditions d'utilisation de ce sol en y ajoutant systématiquement l'obligation d'une fragmentation complémentaire |                                                               |                                                                                                                                                                                                                                       |                       |
| <b>R<sub>31</sub></b>                                       | Marnes rocheuses ou roches argileuses, évolutives, dont la mise en remblai comporte un risque qu'il convient d'apprécier avant chaque chantier.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Matériaux normalement inutilisables en raison des risques importants qu'ils induisent sur la stabilité à long terme des ouvrages                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                               |                                                                                                                                                                                                                                       | NON                   |
| <b>R<sub>32</sub></b>                                       | Les conditions d'utilisation proposées doivent être accompagnées d'une réflexion approfondie sur les méthodes d'extraction les plus appropriées en particulier en vue de la fragmentation, et sur la conception globale des remblais (couches drainantes, stabilisation des talus "imperméabilisation"...).<br>Ces matériaux présentent d'autant moins de risque d'évolution qu'ils sont mieux fractionnés (viser un matériau de granularité continue ou riche en fines), bien compactés et humides à la mise en œuvre.<br>L'étude spécifique préalable de ces roches est souvent nécessaire pour définir la conception du remblai, la granularité à obtenir et les moyens nécessaires correspondants, et le mode de compactage. | ++                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | pluie forte                                                   | Situation ne permettant pas une mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes                                                                                                                                             | NON                   |
|                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | +                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | pluie faible                                                  | G : fragmentation complémentaire après extraction<br>R : couches minces<br>C : compactage intense<br>H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)                                                                                          | 0 3 0 0 1 1 2         |
|                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | =<br>ou<br>-                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ni pluie, ni évaporation importante ou évaporation importante | <b>Solution 1 : fragmentation</b><br>G : fragmentation complémentaire après extraction<br>R : couches minces<br>C : compactage intense<br>H : remblai de hauteur faible (≤ 5 m)                                                       | 0 3 0 0 1 1 1         |
|                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                               | <b>Solution 2 : fragmentation et arrosage</b><br>G : fragmentation complémentaire après extraction<br>W : arrosage pour maintien de l'état<br>R : couches minces<br>C : compactage intense<br>H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m) | 0 3 3 0 1 1 2         |
| <b>R<sub>33</sub></b>                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ++                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | pluie forte                                                   | Situation ne permettant pas une mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes                                                                                                                                             | NON                   |
|                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | +                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | pluie faible                                                  | R : couches moyennes<br>C : compactage moyen                                                                                                                                                                                          | 0 0 0 0 2 2 0         |
|                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | =<br>ou<br>-                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ni pluie, ni évaporation importante ou évaporation importante | R : couches moyennes<br>C : compactage intense                                                                                                                                                                                        | 0 0 0 0 2 1 0         |



## ANNEXE E : ST590 ind B

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

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

|                                            |  | lignes parcourues<br>à grandes vitesses<br>V > 160 km/h                                                            |                                                                                                                | autres lignes                                                                                                                                                                      |  | Observations |
|--------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------|
| <u>désignation</u>                         |  | Grave 0 / 31,5 bien graduée                                                                                        |                                                                                                                |                                                                                                                                                                                    |  |              |
| Caractéristiques intrinsèques              |  |                                                                                                                    |                                                                                                                |                                                                                                                                                                                    |  |              |
| résistance                                 |  | LA+MDE                                                                                                             | <= 40                                                                                                          | <= 50                                                                                                                                                                              |  |              |
| Caractéristiques de fabrication            |  |                                                                                                                    |                                                                                                                |                                                                                                                                                                                    |  |              |
| dimensions nominales                       |  | d                                                                                                                  | 0                                                                                                              |                                                                                                                                                                                    |  |              |
|                                            |  | D                                                                                                                  | 31,5                                                                                                           | 31,5 (ou 40)                                                                                                                                                                       |  |              |
| granularité<br>( fuseau de spécification ) |  | P[2D]<br>P[1,58D]<br>P[D]<br>P[D/2]<br>P[D/5]<br>P[D/10]<br>P[D/20]<br>P[D/50]<br>P[D/100]<br>P [D/200]<br>P[0,08] | 100<br>100 - 99<br>99 - 85<br>81 - 55<br>57 - 31<br>45 - 23<br>36 - 17<br>26 - 11<br>19 - 8<br>13 - 6<br>8 - 4 | fuseau de la<br>courbe moyenne<br><br>P[D/2] : 73 - 65<br>P[D/5] : 52 - 42<br>P[D/10]: 40 - 31<br>P[D/20] : 31 - 22<br>P[D/50] : 21 - 16<br>P[D/100] : 15 - 12<br>P[D200] : 10 - 8 |  |              |
| angularité                                 |  |                                                                                                                    | Entièrement<br>concassée                                                                                       | >= 95 sec.<br>( sur fraction 6,3/10)                                                                                                                                               |  |              |
| forme                                      |  | A                                                                                                                  | <= 25                                                                                                          |                                                                                                                                                                                    |  |              |
| propreté                                   |  | Vbg                                                                                                                | <= 1                                                                                                           |                                                                                                                                                                                    |  |              |
| Caractéristiques complémentaires           |  |                                                                                                                    |                                                                                                                |                                                                                                                                                                                    |  |              |
| compacité                                  |  |                                                                                                                    | >= 82 %                                                                                                        | >= 80 %                                                                                                                                                                            |  |              |
| sensibilité au gel                         |  |                                                                                                                    | non gélif                                                                                                      |                                                                                                                                                                                    |  |              |
| 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

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

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

|                                           |  | lignes parcourues<br>à grandes vitesses<br>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<br>( 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                | voir § 7.4   |
|                                           |  |                                                         | >= 95 sec.<br>( sur fraction 6,3/10) |              |
| 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                     |  | [ 1 ]                                                   |                                      |              |

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

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

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

| désignation                                |           |               | Grave 0/D | Observations |
|--------------------------------------------|-----------|---------------|-----------|--------------|
| <b>Caractéristiques intrinsèques</b>       |           |               |           |              |
| résistance                                 | R [ 1 ]   | <= 60         |           |              |
| <b>Caractéristiques de fabrication</b>     |           |               |           |              |
| dimensions nominales                       | d<br>D    | 0<br>20 à 125 |           |              |
| granularité<br>( 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           |           |              |
| <b>Caractéristiques complémentaires</b>    |           |               |           |              |
| compacité                                  |           | >= 80 %       |           |              |
| sensibilité au gel                         |           | [ 3 ]         |           |              |
| granulats artificiels                      |           | [ 4 ]         |           |              |

[ 2 ]

voir § 7.6.1

voir § 8.2.3

[ 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.

## Fiche n° 6 : Matériaux de zone humide

Type de matériau, CiB1, CiB3, D3, R21, R22, R41, R42, R61, R62, F31, F71

[ 1 ]

|                                            |          |               |
|--------------------------------------------|----------|---------------|
| désignation                                |          | Grave 0/D     |
| <b>Caractéristiques intrinsèques</b>       |          |               |
| résistance                                 | LA + MDA | $\leq 80$     |
| <b>Caractéristiques de fabrication</b>     |          |               |
| dimensions nominales                       | d D      | 0             |
| granularité<br>( fuseau de spécification ) | P[Dmax]  | 63 à 500      |
|                                            | P[D]     | $\geq 99\%$   |
|                                            | P[D/20]  | [ 2 ]         |
|                                            | P[0,08]  | $\leq 12\%$   |
| angularité                                 |          |               |
| forme                                      |          |               |
| propreté                                   | ESP      | $\geq 35$     |
| <b>Caractéristiques complémentaires</b>    |          |               |
| sensibilité au gel                         |          | non gélif     |
| dégradabilité                              |          | non mesurable |
| granulats artificiels                      |          | [ 5 ]         |

[ 1 ] Les sols B1, B3, D1 peuvent également être utilisés en matériaux de zone humide, à condition d'être mis en noyau.

Les caractéristiques intrinsèques des sols B1, B3, D1 sont  $R = LA + MDE \leq 80$  ou  $FS \leq 60$ [2] si  $D \leq 200$  mm :  $P[D] = 99$  à  $85\%$  ( $D_{max} = 1,25 D$ )si  $D > 200$  mm :  $P[D] \geq 99\%$  ( $D = D_{max}$ )

[ 3 ] mesuré sur la fraction 0/50

[ 4 ] si le pourcentage de passants à 2mm de la fraction 0/50 est supérieur ou égal à 30%

[ 5 ] voir recommandations d'emploi en annexes 1 et 2

## Fiche n° 7 : Matériaux de zone inondable

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

|                                           |                                       | Observations |
|-------------------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| <b>désignation</b>                        | Grave 0/D                             | [ 2 ]        |
| <b>Caractéristiques intrinsèques</b>      |                                       |              |
| résistance                                | LA + MDA <= 80                        |              |
| <b>Caractéristiques de fabrication</b>    |                                       |              |
| dimensions nominales                      | d<br>D                                |              |
| granularité<br>( fuseau de spécification) | P[Dmax]<br>P[D]<br>P[D/20]<br>P[0,08] |              |
| angularité                                |                                       |              |
| forme                                     |                                       |              |
| propreté                                  |                                       |              |
| <b>Caractéristiques complémentaires</b>   |                                       |              |
| sensibilité au gel                        | non gélif                             |              |
| dégradabilité                             | non mesurable                         |              |
| granulats artificiels                     | [ 3 ]                                 |              |

[ 1 ] si  $D \leq 200 \text{ mm}$  :  $P[D] = 99 \text{ à } 85 \%$  (  $D_{\text{max}} = 1,25 D$  )  
 si  $D > 200 \text{ mm}$  :  $P[D] \geq 99 \%$  (  $D = D_{\text{max}}$  )

[ 2 ] mesuré sur la fraction 0/50

[ 3 ] voir recommandations d'emploi en annexes 1 et 2

