

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
فرنسيس جانشون
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
Francis Jeanson



Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

**Étude de la nouvelle ligne ferroviaire
GHARDAIA-MENEA du (pk 86+106 au
pk97+000) y compris la gare HASSI LAFHEL**

Présenté par :

BELHAOUCHAT SEYF EDDINE
CHERRAD MAROUA

Encadré par :

Mme.SERIDJI WIDAD

Promotion 2025/2026

© ENSTP-FJ - Garidi - Vieux Kouba

ملخص

تتناول هذه المذكرة دراسة المشروع التفصيلية (APD) لخط سكة حديدية احادي المسار يربط بين غرداية والمنيعه من النقطة الكيلومترية 86+106 الى 97+000 مع تصميم محطة حاسي الفحل انجزت هذه الدراسة وفقا لمعايير (UIC) الاتحاد الدولي للسكك الحديدية واستنادا الى توصيات (SNTF) الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية الجزائرية وذلك باستعمال البرامج التالية Google Earth , covadis 17.0, InfraWorks, Geo5. PRIMAVERA

RÉSUMÉ

Le présent mémoire porte sur une étude avant-projet détaillée (APD) d'une ligne ferroviaire minière à voie unique reliant GHARDAÏA à El Ménéa, du PK 86+106 au PK 97+000, avec la conception d'une gare de Hassi Elfehal.

Cette étude a été réalisée conformément aux normes de l'Union internationale des chemins de fer (UIC) et sur la base des recommandations de la Société nationale des transports ferroviaires algérienne (SNTF), en utilisant les logiciels suivants : COVADIS17.0, InfraWorks, Geo5, PRIMAVERA, Google Earth.

Summary

This dissertation presents a Detailed Preliminary Design Study (APD) for a single-track mining railway line connecting Ghardaïa to El Menéa, from chainage PK 86+106 to PK 97+000, including the design of the Hassi Elfehal station.

The study was carried out in accordance with the standards of the International Union of Railways (UIC) and based on the recommendations of the Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) (Algerian National Railway Transport Company), using the following software: COVADIS 17.0, InfraWorks, Geo5, PRIMAVERA, and Google Earth.

Remerciement

Je tiens tout d'abord à rendre grâce à Dieu Tout-Puissant pour la force, la patience et la persévérance qu'Il m'a accordées tout au long de mon parcours et pour m'avoir permis d'achever ce travail.

Ce mémoire n'aurait pu être réalisé sans l'aide et le soutien de nombreuses personnes auxquelles j'adresse ma sincère gratitude.

Je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance à **Monsieur EL-BRAZZI Djilali** pour son accompagnement, sa disponibilité et les précieux conseils qu'il nous a prodigués durant toute la période du stage de fin d'études.

J'adresse également mes vifs remerciements à l'ensemble du personnel du **Pôle T154 de COSIDER** Terrassement Annaba pour son accueil chaleureux, sa disponibilité et le partage de son expérience professionnelle.

Je tiens à témoigner toute mon estime à mes encadrants, **Madame W. SERIDJI** et **Monsieur HATRI Amer**, pour leur rigueur scientifique, leurs orientations pertinentes et leur disponibilité tout au long de ce travail. J'associe à ces remerciements Madame MERIDJI Amina pour son soutien constant et ses encouragements.

Je souhaite enfin saluer l'équipe pédagogique de l'ENSTP pour la qualité de la formation dispensée, ainsi que **Monsieur F. FEDGHOUCHE** et **Madame Y. MAHIAOUI** pour leur accompagnement et leurs conseils avisés. Une pensée particulière est également adressée à l'administration du département des Infrastructures de Base pour son professionnalisme et son soutien tout au long de notre cursus.

À toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce projet, j'adresse mes plus sincères remerciements.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à **mes très chers parents**, dont les sacrifices, le soutien indéfectible, la patience et les encouragements constants ont été une source de motivation tout au long de mon parcours.

Leur amour et leurs conseils précieux m'ont permis de surmonter les difficultés et d'avancer avec détermination.

Que ce travail soit le témoignage de ma profonde gratitude et de mon immense reconnaissance.

À mes chers frères **Mahdi** et **Haithem** et à ma très chère sœur **Souhaila**, je dédie ce travail avec toute mon affection et ma reconnaissance pour leur soutien moral, leur présence et leurs encouragements permanents.

À mon binôme **CHERRAD Maroua**, je souhaite un avenir rempli de réussite, de bonheur, de sérénité et d'épanouissement. Notre collaboration et les efforts partagés ont grandement contribué à l'aboutissement de ce travail.

À mes meilleurs amis **Lamri, Achref, Yasser** et **H.Imad**.

Enfin, à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, je leur adresse mes sincères remerciements et ma profonde gratitude.

BELHAOUCHA7 SEUF EDDME

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à **mes très chers parents**, dont les sacrifices, le soutien indéfectible, la patience et les encouragements constants ont été une source de motivation tout au long de mon parcours.

Leur amour et leurs conseils précieux m'ont permis de surmonter les difficultés et d'avancer avec détermination.

Que ce travail soit le témoignage de ma profonde gratitude et de mon immense reconnaissance.

À mes chers frères **Tarek** et **Ahmed** et à ma très chère sœur **Anfel**, je dédie ce travail avec toute mon affection et ma reconnaissance pour leur soutien moral, leur présence et leurs encouragements permanents.

À mon binôme **BELHAOUCHAT Seyf eddine**, je souhaite un avenir rempli de réussite, de bonheur, de sérénité et d'épanouissement. Notre collaboration et les efforts partagés ont grandement contribué à l'aboutissement de ce travail.

À **IMAME Red**, pour ta présence précieuse, ton soutien sincère et les beaux moments partagés au fil des années. Merci d'avoir été un appui constant et une personne importante dans mon parcours.

Enfin, à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, je leur adresse mes sincères remerciements et ma profonde gratitude.

CHERRAD MAROUA

Abréviations

A.P.D : Avant-Projet Détaillé.
SNTF : Société Nationale des Transports Ferroviaires.
ANESRIF : Agence Nationale d'Études et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires.
UIC : Union Internationale des Chemins de fer.
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
ONM : Office National de la Météorologie.
BV : Bassin versant.
ERTMS : Européen Railways Traffic Management System.
GF : Garage Franc
IDF : Intensité - Durée – Fréquence.
Lu : Longueur Utile(m).
PK : Point kilométrique.
PU : Puit de reconnaissance.
RN : Route Nationale.
SC : Sondage Carotté.
SP : Sondage pressiométrique.
SPT : Essai de Pénétration Standard.
VBS : Essai bleu de méthylène.
B.V : Bâtiment Voyageurs.
ADV : Appareil De Voie.
TN : Terrain Naturel.
WP : Limite de plasticité.
WL : Limite de liquidité.
IP : Indice de plasticité.
 γ_h : Poids volumique humide (t/m^3).
 γ_d : Poids volumique sec (t/m^3).
 γ_{opt} : Poids volumique optimum (t/m^3).
Wn : Teneur en eau naturelle.
 ω_{opt} : Teneur en eau optimum.
 Φ : Angle de frottement ($^\circ$).
C : Cohésion du sol (bars).
T : Période de retour (ans).
Tc : Temps de concentration (h).
P max,j : Pluies maximales journalières (mm).
i : Intensité de pluie (mm/h).
I : Pente moyenne (m/m).
Cr : Coefficient de ruissellement.
Qa : Débit d'apport (m^3/s).
VP : Voie principale.
FSR : Face supérieure de roulement.
PCG : le point changement de la gare.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I : PRÉSENTATION DU PROJET	4
I.1. Introduction	4
I.2. Présentation de la zone d'étude.....	4
I.2.1. Situation géographique	4
I.2.2. Cadre géomorphologique	4
I.3. Présentation du projet	6
I.4. Objectif du projet.....	7
I.5. Les caractéristiques de la ligne projetée	7
Chapitre II : La superstructure de la voie	10
II.1. Introduction	10
II.2. Les composantes de la voie.....	10
II.2.1. Les rails	10
II.2.1.1. Le rôle des rails	11
II.2.1.2. Assemblage des rails	12
II.2.2. Les traverses	12
II.2.2.1. Traverses en bois.....	12
II.2.2.2. Traverses métalliques.....	13
II.2.2.3. Traverses en béton.....	13
II.2.2.4. Le rôle des travers	14
II.2.3. Les attaches	14
II.2.3.1. Le rôle des attaches	14
II.2.4. L'appareil de voie	15
II.3. Conclusion.....	16
Chapitre III : LA GÉOMÉTRIE DE LA VOIE	18
III.1. Tracé en plan.....	18
III.1.1. Introduction.....	18
III.1.2. Conditions et règles à respecter dans le tracé en plan	18
III.1.3. Les éléments du tracé en plan	18
III.1.4. Définitions des éléments de tracé.....	19
III.1.5. Caractéristiques géométriques	21
III.1.5.1. Application sur le projet.....	22

III.1.5.2. Les contraintes le long du tracé :	23
III.2. PROFIL EN LONG	24
III.2.1. Introduction.....	24
III.2.2. RÈGLES À RESPECTER DANS LE TRACE DU PROFIL EN LONG	24
III.2.3. ÉLÉMENTS GÉOMÉTRIQUES DU PROFIL EN LONG	25
III.2.3.1. Les déclivités droites	25
III.2.3.2. Raccordements de déclivités.....	25
III.2.3.3. Choix des alignements droits	25
III.2.3.4. Choix des cercles	26
III.2.4. PARAMÈTRES DE PROFIL EN LONG	27
III.3. CONCLUSION.....	27
Chapitre IV : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE	30
IV.1. Introduction.....	30
IV.2. ÉTUDE HYDROLOGIQUE	30
IV.2.1. Caractéristiques climatiques de la zone d'étude.....	30
IV.2.1.1. Les Températures	30
IV.2.1.2. Humidité	31
IV.2.1.3. Le vent	31
IV.2.2. Analyse des données pluviométriques.....	32
IV.2.2.1. Précipitations moyennes mensuelles	32
IV.2.2.2. Pluies journalières.....	33
IV.2.2.3. Pluies de courtes durées.....	34
IV.2.3. BASSIN VERSANT.....	35
IV.2.3.1. La délimitation des bassins versants.....	35
IV.2.3.2. Les caractéristiques morphologiques des bassins versants	35
IV.2.3.3. Calcule des débits des bassins	37
IV.3. CALCUL HYDROLOGIQUE	38
IV.4. ETUDE HYDRAULIQUE	41
IV.4.1. Le débit de saturation	42
IV.4.2. Dimensionnement des buses.....	43
IV.4.2.1. Application numérique	43
IV.4.3. Dimensionnement des dalots	46
IV.4.4. Zones Marécageuses.....	46
IV.4.5. Dimensionnement des ouvrages longitudinaux.....	47
IV.4.5.1. Application sur notre projet.....	48
IV.5. Conclusion	50
Chapitre V : ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE	52

V.1. Introduction	52
V.2. ÉTUDE GÉOLOGIQUE	52
V.2.1. Situation géographique	52
V.2.2. Géologie	53
V.2.3. Géomorphologie	53
V.2.4. Géologie locale	54
V.2.4.1. Sectorisation selon les cartes géologiques :	54
V.2.4.2. Sectorisation géologique selon la campagne géotechnique :	54
V.2.5. Principales contraintes géologiques qui peuvent être rencontrées le long du tracé	55
V.2.5.1. Risque d'inondation	55
V.2.5.2. Risque d'ensablement	55
V.3. ETUDE GEOTECHNIQUE	56
V.3.1. Introduction	56
V.3.2. Programme d'investigation géotechnique	56
V.3.2.1. Lot tracé	57
V.3.2.2. Description lithologique à partir des puits de reconnaissance	58
V.3.2.1. Rock Quality Designation (RQD)	59
V.3.2.2. Interprétation des résultats des essais de pénétromètre dynamique	59
V.3.2.3. Interprétation des résultats des essais pressiométrique	60
V.3.3. Essais Au Laboratoire	60
V.3.4. Réutilisation des matériaux de déblais	66
V.4. Conclusion	66
Chapitre VI : ASSISE FERROVIARE	68
VI.1. Introduction	68
VI.2. Le ballast	68
VI.2.1. Définition	68
VI.2.2. Caractéristiques de ballast	68
VI.3. Sous couche	68
VI.3.1. Rôle de la sous couche	69
VI.4. La plate-forme	69
VI.4.1. Définition	69
VI.4.2. Classification des sols pour la plateforme	69
VI.4.3. Les classes de la portance de la plateforme	70
VI.5. Application au projet	72
VI.6. Conclusion	73
Chapitre VII : PROFIL EN TRAVERS	75

VII.1. Introduction	75
VII.2. Eléments constitutifs du profil en travers type.....	75
VII.2.1. Éléments d'infrastructure	75
VII.2.2. Éléments de superstructure.....	75
VII.2.3. Éléments du talus (remblai ou déblai).....	75
VII.2.4. Éléments d'assainissement.....	75
VII.2.5. Éléments de protection de la voie	76
VII.3. Le profil en travers du projet d'étude.....	76
VII.4. Calcul des cubatures.....	76
VII.5. Conclusion.....	77
Chapitre VIII : TERRASSEMENTS ET OUVRAGES	81
VIII.1. Introduction.....	81
VIII.2. Les terrassements	81
VIII.2.1. Conditions de réalisation des remblais	81
VIII.2.2. Conditions de réalisation des déblais.....	82
VIII.2.3. Conditions d'excavabilité/rippabilité	82
VIII.2.4. Pente des talus en déblai et en remblai	82
VIII.3. Étude de stabilité.....	83
VIII.4. Tassement.....	84
VIII.5. Compactage.....	84
VIII.6. Les ouvrages	84
VIII.6.1. Les ouvrages d'art du projet	85
VIII.6.2. Les ouvrages hydrauliques.....	85
VIII.7. Protection des fibres optique et les lignes de tension	85
VIII.8. Conclusion	85
Chapitre IX : Conception de la gare	87
IX.1. Introduction.....	87
IX.2. Types de gares ferroviaires.....	87
IX.3. Objet d'une gare ferroviaire	87
IX.4. Conditions de conception des gares.....	87
IX.4.1. Installations d'une gare voyageurs	88
IX.5. Aménagements Fonctionnels de la Gare	89
IX.5.1. Voie de Garage Franc	89
IX.5.2. Heurtoir et Dispositifs de Sécurité en Fin de Voie.....	89
IX.6. Caractéristiques géométriques des gares	90
IX.6.1. Dimensionnement de quais.....	90
IX.6.2. Déclivité dans les gares	91

IX.6.3. Marge de glissement a l'aval des signaux	91
IX.6.4. La longueur utile d'une voie de stationnement	92
IX.6.5. Appareils de voie	92
IX.6.5.1. Désignation des appareils de voie	93
IX.6.5.2. Assainissement dans les gares :	93
IX.7. Application au projet	93
IX.8. Conclusion	95
Chapitre X : SIGNALISATION FERROVIAIRE.....	98
X.1. Introduction	98
X.2. Objet de la signalisation ferroviaire	98
X.3. Type de signalisation	99
X.3.1. Les feux	99
X.3.2. Les blocs	99
X.3.2.1. Le bloc automatique lumineux (BAL)	99
X.3.2.2. Le bloc automatique à permissivité restreinte (BAPR)	100
X.3.2.3. Le bloc manuel (BM)	100
X.3.2.4. Cantonnement téléphonique	100
X.3.2.5. Les voies de manœuvre	100
X.3.3. Les panneaux	101
X.3.3.1. Panneaux mobiles	101
X.3.3.2. Tableau indicateur de vitesse (TIV)	101
X.3.3.3. Les TIVD	102
X.4. LE SYSTÈME ERTMS (EUROPÉEN TRAFIC MANAGEMENT SYSTEM)	103
X.4.1. Les composantes d'ERTMS	103
X.4.2. Implantation d'ERTMS	103
X.4.3. Les niveaux de ERTMS	104
Chapitre XI : Impact sur l'environnement	106
XI.1. Introduction	106
XI.2. Caractérisation environnementale du territoire traverse :	106
XI.3. CONCLUSION	110
Chapitre XII : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF	112
XII.1. Introduction	112
XII.2. Devis estimatif et quantitatif	112
Chapitre XIII : PLANIFICATION DE PROJET	118
XIII.1. Introduction	118
XIII.2. Planification	118

XIII.2.1. Objectifs de la planification	118
XIII.3. Le diagramme de GANTT	118
XIII.4. Résumé de notre projet	119
XIII.5. Conclusion	122
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	125

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa-EL Ménéa.....	4
Tableau II-1: Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1	11
Tableau III-1: Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes	19
Tableau III-2:Définition des éléments du tracé	20
Tableau III-3:Vitesse des trains maximale	21
Tableau III-4:Paramètres géométriques de tracé en plan (SNTF)	21
Tableau III-5:Paramètres de la voie	22
Tableau III-6: Calcul récapitulatif des éléments géométriques	23
Tableau III-7: Les longueurs minimales des déclivités	26
Tableau III-8: Valeurs de Rayon vertical minimale (SNTF).....	26
Tableau III-9: Paramètres du profil en long (SNTF)	27
Tableau IV-1: Températures moyenne mensuelles au niveau des stations de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménéa (2002-2024).....	30
Tableau IV-2: Graphe Variation des températures moyennes mensuelles au niveau de la station de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménéa (2002-2024).....	31
Tableau IV-3: Humidité moyenne mensuelles au niveau des stations de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménéa (2008-2024).....	31
Tableau IV-4: Vitesses moyennes mensuelles des vents au niveau des stations de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménéa (2008-2024)	32
Tableau IV-5: Précipitations moyenne mensuelles au niveau des stations de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménéa (2002-2024).....	33
Tableau IV-6: valeurs d'ajustement des pluies journalières selon les fréquences choisies, au niveau de la station de Ghardaïa.	33
Tableau IV-7 : valeurs du paramètre « a » selon les fréquences au niveau de la station de Ghardaïa (Source ANRH).	34
Tableau IV-8: Valeur des intensités pour les différentes périodes de retour.....	34
Tableau IV-9: Les caractéristiques morphologiques de nos bassins versants	36
Tableau IV-10: Le Temps de concentration calculé avec les 3 méthodes.....	38
Tableau IV-11: Valeurs de C1.....	39
Tableau IV-12: valeurs de C2	39
Tableau IV-13: valeurs de C3	39
Tableau IV-14: Résultats des valeurs des débits calculés pour la crue centennale pour la ligne ferroviaire Ghardaïa – El Ménéa, entre le PK 86+106 et le PK 97+000	41
Tableau IV-15: la vérification des conditions d'auto-curage pour l'ouvrage busé bassin versant N°8.....	44
Tableau IV-16: Calculs récapitulatifs des ouvrages busés de notre projet Vérifications des conditions d'auto-curage	45
Tableau IV-17: : Dimensions des ouvrages de drainage pour la Ligne Ghardaïa – El Ménéa de PK86 +106 AU PK97+000	46
Tableau IV-18: Les caractéristiques du remblai et déblai	48
Tableau IV-19: Calcul du débit	49
Tableau IV-20: Dimensionnement du fossé proposé.....	49

Tableau V-1: Wilayas et communes desservies	52
Tableau V-2: Zones à risque d'inondation	55
Tableau V-3: Interprétation des résultats des essais in-situ.....	57
Tableau V-4: Interprétation géotechnique	58
Tableau V-5: Récapitulatif des paramètres géotechniques à partir des sondages	62
Tableau V-6: Description lithologique du sondage F G-04 GH-M.....	63
Tableau V-7: Tableau récapitulatif représentant les valeurs brutes des essais S.P.T ...	63
Tableau V-8: Zone à risque géotechnique	64
Tableau V-9: Exigences constructives et optimisation des matériaux de remblais.....	65
Tableau VI-1: la classe la portance de la plate-forme (normes UIC 719R p.34)	70
Tableau VI-2: Le tableau détaillé, conforme à la norme UIC 719R	71
Tableau VI-3: Dimensionnement de la couche d'assise.....	72
Tableau VI-4: Épaisseurs des composants de la structure d'assise	72
Tableau VII-1: Les cubatures des couches d'assise	76
Tableau VII-2: Les cubatures des terrassements	76
Tableau VIII-1: Protection des fibres optique et les lignes de tension	85
Tableau IX-1: Caractéristiques géométriques de quai (normes SNTF).....	90
Tableau IX-2: Les déclivités dans les gares (selon UIC 741)	91
Tableau IX-3: Caractéristiques géométriques de la gare	94
Tableau X-1: Les risques ferroviaires.....	98
Tableau XI-1: Les caractérisation environnementale du territoire travers	106
Tableau XI-2: Les impacts positifs du projet ferroviaire GHARDAÏA – EL MENEA	107

Liste des figures

Figure I-1 : Situation administrative de la nouvelle ligne ferroviaire Ghardaïa – El Ménée.....	5
Figure I-2 : Carte de zonage sismique de l'Algérie (RPOA, 2024).....	6
Figure I-3: la carte de situation du projet de la ligne ferroviaire GHARDAÏA -EL MENEÀ.	7
Figure II-1: Barre de rails UIC 60	10
Figure II-2: Composants de la section transversale du rail.....	10
Figure II-3: Rail type Vignole	10
Figure II-4: Rail UIC 60	11
Figure II-5: Traverse en bois	13
Figure II-6: Traverse en acier	13
Figure II-7: Traverse en béton	13
Figure II-8: Traverse monobloc	14
Figure II-9: Travers bi-bloc	14
Figure II-10: Le système d'attache VOSSLOH.....	15
Figure II-11: Appareil de voie (UIC-60 500- 1 :12).....	15
Figure II-12: Appareil de voie (UIC-60 300- 1 :9).....	16
Figure III-1: les éléments du tracé en plan	19
Figure III-2: les éléments de profil en long	25
Figure IV-1: Graphe Variation des moyennes mensuelles de l'humidité à la station de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménée (2008-2024)	31
Figure IV-2: Graphe Variation des moyennes mensuelles des vitesses du vent à la station de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménée (2008-2024).....	32
Figure IV-3: Graphe Variation des Précipitations moyenne mensuelles des stations de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménée (2002-2024)	33
Figure IV-4: valeurs d'ajustement des pluies journalières selon les fréquences choisies, au niveau de la station de Ghardaïa.	34
Figure IV-5: Délimitation des BV sur la carte d'état-major	35
Figure IV-6: Ouvrage hydraulique (dalot).....	46
Figure IV-7: profile type de la zone inondable.....	47
Figure IV-8: Schéma du fossé type 2.....	49
Figure V-1: Localisation géographique du tracé Ghardaïa – el Ménée.....	52
Figure V-2: Les formations géologiques traversées par le tracé	53
Figure V-3: Différents ensembles morphologiques de la zone d'étude superposés sur la carte géologique d'Algérie 1/500 000	54
Figure VI-1: Les composants de la structure d'assise	73
Figure VIII-1: étude de stabilité du déblai.....	84
Figure IX-1: équipement d'une gare mixte.....	88
Figure IX-2: Garage franc.....	89
Figure IX-3: Les heurtoirs de sécurités.....	90
Figure IX-4: Schéma de la marge de glissement	91
Figure IX-5: la longueur utile	92
Figure IX-6: Eléments constitutifs d'un appareil de voie	92
Figure IX-7: Implantation de la gare de Hassi Elfhal.....	94
Figure X-1: Bloc automatique lumineux	99
Figure X-2: Bloc automatique à permissivité restreinte	100
Figure X-3: la signalisation disque	101

Figure X-4: Tableau indicateur de vitesse à distance	101
Figure X-5: Tableau indicateur de la vitesse (TIV)	101
Figure X-6: TIVD de type B.....	102
Figure X-7: TIVD de type c.....	102
Figure X-8: TIVD et TIV	102
Figure X-9: Les composantes d'ERTMS	103
Figure X-10: les niveaux de ERTMS	104
Figure XI-1: Terrassement des dunes	109
Figure XI-2: Les brises vents.....	109
Figure XI-3: Fixation mécanique : La maille en plastique	109
Figure XI-4: Fixation biologique	109

INTRODUCTION GENERALE

Les infrastructures de transport revêtent une importance cruciale dans le développement économique d'un pays, et leur expansion est un phénomène observé à grande échelle dans les nations développées. Elles facilitent la circulation des biens et des individus, renforcent les liens entre les acteurs économiques, et dynamisent ainsi les échanges commerciaux, contribuant ainsi à la croissance économique globale.

Parmi ces infrastructures, le réseau ferroviaire se distingue en offrant des solutions de transport compétitives aux voyageurs et aux transporteurs à travers tout le territoire. En effet, il représente un atout majeur de compétitivité et d'attractivité, aussi bien à l'échelle nationale que locale, et revêt une importance économique, sociale, et écologique considérable. Grâce à ses nombreux avantages par rapport au transport routier, notamment en termes de capacité et d'efficacité énergétique, le transport ferroviaire est particulièrement adapté au transport de volumes massifs sur de longues distances.

Face à la vaste étendue du territoire algérien, le développement d'un réseau ferroviaire répondant aux besoins du pays était une nécessité impérieuse. Ainsi, l'Algérie a entrepris plusieurs programmes visant à construire de nouvelles lignes et à étendre celles existantes afin d'améliorer les capacités de transport. Bien que certaines régions demeurent encore isolées, le réseau ferroviaire algérien est aujourd'hui l'un des plus vastes du continent africain, avec une vision ambitieuse des autorités publiques visant à connecter toutes les villes du pays via le réseau ferroviaire. Actuellement, ce réseau s'étend sur plus de 4 700 km, avec des perspectives de développement et d'optimisation continues.

Dans le cadre des programmes nationaux de développement ferroviaire, le gouvernement envisage la création de nouvelles liaisons ferroviaires, dont fait partie la ligne reliant Ghardaïa à Ménéa sur une distance totale de 235km. Notre sujet porte spécifiquement sur une étude en phase d'Avant-Projet Détaillé (APD) concernant un tronçon de 13 km de cette ligne, s'étendant du PK 86+106 au PK 97+000. En outre, une étude de conception d'une gare à Hassi -Lefhal est également prévue dans ce cadre.

Le présent travail est constitué de 15 chapitres portant :

Les chapitres I et II détaillent la ligne ferroviaire examinée dans cette étude, ainsi que la superstructure de la voie ferrée.

Les chapitres III, IV et V abordent trois aspects critiques d'un projet ferroviaire : l'étude géométrique, hydrologique et hydraulique, ainsi que géologique et géotechnique.

Les chapitres VI et VII entament le dimensionnement de l'assise ferroviaire et l'élaboration du profil en travers après avoir effectué une évaluation complète du couloir du tracé sous tous ses aspects.

Les chapitres VIII détaille les travaux de terrassement nécessaires ainsi que les ouvrages d'art à réaliser le long du tracé.

Le chapitre IX se concentre sur la conception et l'aménagement de la gare de Hassi Lefhal.

Le chapitre X examine les systèmes de signalisation nécessaires pour assurer la sécurité et la régulation du trafic ferroviaire.

Le chapitre XI présente une étude d'impact environnemental, soulignant l'importance de minimiser les effets négatifs sur l'écosystème local.

Les chapitres XII et XIII se concentrent sur des aspects pratiques tels que l'estimation des coûts et la planification détaillée des phases et des tâches de construction du projet.

Nous clôturons notre travail en soulignant l'apport de connaissances, de compétences et d'expériences acquises au cours de ce projet, qui seront précieuses pour notre parcours professionnel à venir.

CHAPITRE I
PRÉSENTATION DU PROJET

Chapitre I : PRÉSENTATION DU PROJET

I.1. Introduction

La construction d'une ligne de chemin de fer représente une infrastructure très importante pour plusieurs raisons. Elle permet d'améliorer la connectivité entre les régions et de faciliter le transport des personnes et des marchandises sur de longues distances, tout en contribuant au développement d'un mode de transport plus durable.

Dans ce cadre, le projet de la ligne ferroviaire Ghardaïa-El Ménéa constitue un élément clé du développement économique et social de la région. Il offre des avantages durables, aussi bien sur le plan environnemental que sur le plan socio-économique.

I.2. Présentation de la zone d'étude

I.2.1. Situation géographique

Tableau I-1 : Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa-EL Ménéa

Situation géographique de Ghardaïa	Situation géographique de EL Ménéa
-La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord du Sahara algérien. -A environ 600 Km au sud de la capitale du pays Alger. -La wilaya de Ghardaïa couvre une superficie de 86.560 km² et compte 396.452 habitants, elle est limitée : - Au Nord par la Wilaya de Laghouat. - Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa. - À l'Est par la Wilaya d'Ouargla. - Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset. - Au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar. - À l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh	-La wilaya d'El Meniaa est située au centre du Sahara algérien. -À environ 870 km au sud d'Alger et 270 km au sud-ouest de Ghardaïa. -Elle est délimitée par les wilayas de : -Ghardaïa (nord) -In Salah (sud) -Ouargla (est) -El Bayadh/Timimoun (ouest).

I.2.2. Cadre géomorphologique

La géomorphologie de la zone traversée par La ligne ferroviaire Ghardaïa – Ménéa correspond à un vaste plateau rocaillieux découpé des vallées profondes et enchevêtrées constituant un filet ou Chebka, constituée par des affleurements calcaires et des calcaires dolomitiques durs, ravinés en tous sens par l'érosion fluviale du début du quaternaire et sillonné d'un réseau complexe d'oueds dont les principaux écoulements forment des vallées encaissées, constituées essentiellement par des sables plus moins grossiers, argileux, d'épaisseur variant entre 20 à 30 m.



Figure I-1 : Situation administrative de la nouvelle ligne ferroviaire Ghardaïa – El Ménéa

- **Relief :**

Le terrain situé entre **Ghardaïa** et **El Ménéa** , au cœur du désert du Sahara, se caractérise par un vaste paysage aride dominé principalement par des dunes et des plateaux rocheux.

Le terrain est généralement plus ou moins **accidenté**, avec des hauteurs de déblai pouvant atteindre **environ 27 à 28 m** par rapport au niveau du terrain naturel.

- **Climat :**

Le climat de la zone d'étude est de type saharien, caractérisé par un écart élevé entre la température de l'été et celle de l'hiver, une faible précipitation et une évaporation intense.

- **Sismicité :**

Le règlement parasismique Algérien (RPA 2024), divise le territoire national en cinq (05) zones de sismicité croissante, définies comme suit :

- Zone 0 : sismicité très faible.
- Zone I : sismicité faible.
- Zone II : sismicité faible à moyenne.
- Zone III : sismicité moyenne.
- Zone IV : moyenne à élevée.
- Zone V & VI : très élevée.

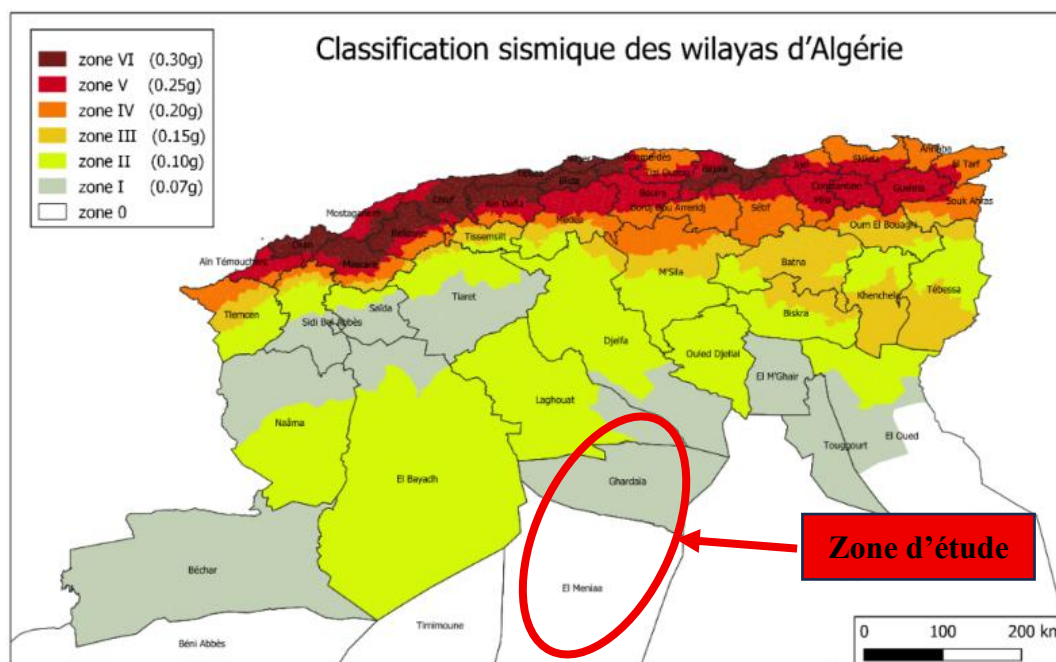


Figure I-2 : Carte de zonage sismique de l'Algérie (RPOA, 2024)

D'après ce découpage notre région d'étude se divise en deux zones : la wilaya de Ghardaïa appartient à la zone I, caractérisée par une sismicité faible et la wilaya de El Menia appartient à la zone 0, caractérisé par une sismicité négligeable.

I.3. Présentation du projet

Dans le cadre de son programme pour le développement des transports ferroviaires inscrit au plan quinquennal du secteur du transport Algérien, l'ANESRIF prévoit le développement du réseau ferroviaire national.

Ce plan de développement intègre la construction d'une nouvelle ligne ferroviaire électrifiée entre Ghardaïa et Ménée d'une longueur d'environ 230 km pour une exploitation à 220 km/h pour les voyageurs et 100km/h pour les marchandises.

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

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

Le projet a été sélectionné en deux tronçons :

Tronçon A : De La Gare de bifurcation au niveau de Metlili (Ghardaïa) Jusqu'au Le PCG N°1 Du pk 0+000 au pk 120+000

Tronçon B : De la Gare de croisement N01 Jusqu'au la gare de Ménée Du pk120+000 au pk 235+050

Le présent projet a pour objet l'étude d'APD (Avant-projet détaillé) de la nouvelle ligne ferroviaire Ghardaïa-El Ménée entre les points kilométriques Pk 86+106 jusqu'à Pk 97+000, incluant la conception de la gare de Hassi lafhel.

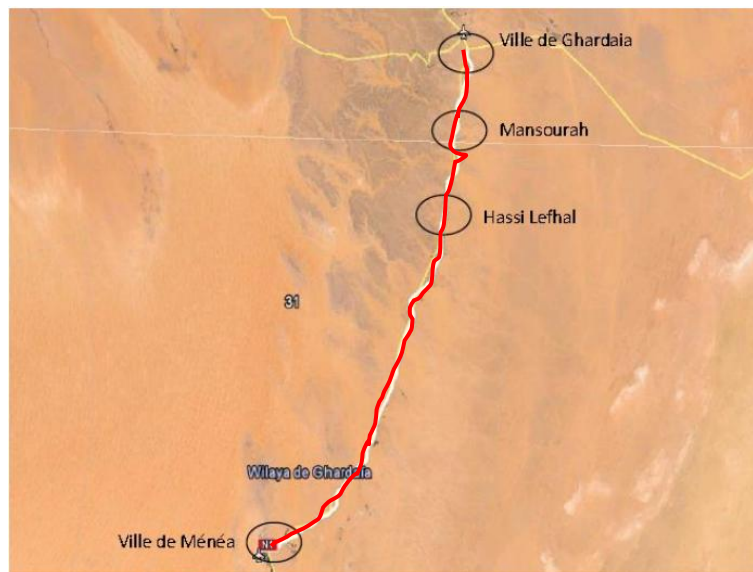


Figure I-3: la carte de situation du projet de la ligne ferroviaire GHARDAÏA -EL MENEÂ.

I.4. Objectif du projet

Les objectifs et bénéfices du projet sont multiples, avec des impacts à différentes échelles :

- Nationale : Extension du réseau ferroviaire, amélioration de la compétitivité du transport ferroviaire, aménagement du territoire et intégration régionale. Il vise à équilibrer le développement économique et social en connectant les régions riches en ressources du Sud aux centres industrialisés du Nord.
- Régionale et Locale : Désenclavement des régions du Sud, stimulation de leur développement économique et social, amélioration de la mobilité des voyageurs et de l'acheminement des marchandises, ce qui profitera aux autorités locales, aux entreprises et à la population résidente.
- Continentale : Positionnement de l'Algérie comme un carrefour économique et logistique en Afrique du Nord, renforçant le commerce intracontinental et l'intégration régionale.
- Environnementale : Réduction de la congestion routière et de la pollution, contribuant à un modèle de développement plus durable.

I.5. Les caractéristiques de la ligne projetée

- Ligne à voie unique.
- Longueur 12 Km.
- Caractéristiques géométriques selon SNTF et les standards UIC.
- Vitesse de conception de la ligne : Voyageurs : 220 km/h, Marchandises : 100km/h.
- Ecartement standard (1435mm en alignement).

- Entre axes : 4,20m.
- Ouvrage d'art prévu pour double voie.
- Charge à l'essieu :
 - Infrastructure : 22.5T.
 - Ouvrage d'art : 25.0T.
- Gabarit d'obstacle : UIC (y compris caténaire en 25Kv).
- Voie équipée de rails UIC 60 posés sur traverses en béton armé.
- Mode de traction : diesel / électrique.
- Signalisation de type ERTMS.
- Télétransmissions de type GSM-R et fibre optique.
- Electrification en 25Kv/50Hz.
- Aucun passage à niveau sur la ligne.
- Largeur de la plateforme : 8m.
- Logiciel a utilisé dans l'étude « COVADIS 2017 ».
- Profil de la voie : Rampes et pentes max en pleine voie :
 - Maximale 16‰, Souhaitable 12‰
 - Au niveau des gares : 0‰.

CHAPITRE II
LA SUPERSTRUCTURE DE LA
VOIE

Chapitre II : La superstructure de la voie

II.1. Introduction

La superstructure de la voie ferrée constitue l'ossature essentielle des systèmes ferroviaires, jouant un rôle fondamental dans leur fonctionnement efficace et leur durabilité. Située au-dessus de la couche de forme, elle englobe une variété d'éléments clés, tels que le ballast, les rails, les traverses et les appareils de voie. Ces composants interagissent harmonieusement pour garantir la stabilité, la résistance et la sécurité de la voie ferrée, assurant ainsi le passage fluide des trains et préservant l'infrastructure ferroviaire dans sa globalité.

II.2. Les composantes de la voie

II.2.1. Les rails

Les rails, constitués de barres d'acier profilées, sont disposés en deux lignes parallèles sur des traverses pour former la voie ferrée. Leur conception vise à soutenir le poids de la roue, ainsi qu'à la guider et à faciliter son déplacement le long de la voie. Composés de trois parties distinctes ; le champignon, l'âme et le patin - ces éléments en acier sont visibles dans l'illustration ci-dessous :



Figure II-3: Rail type Vignole



Figure II-1: Barre de rails UIC 60

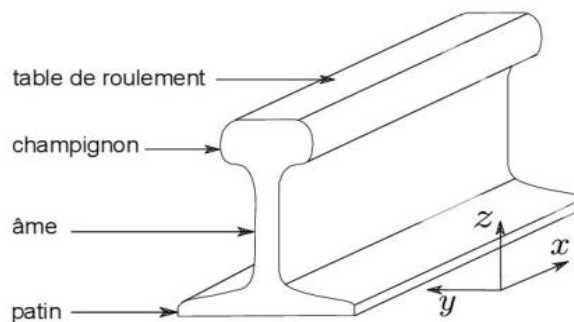


Figure II-2: Composants de la section transversale du rail

II.2.1.1. Le rôle des rails

Le rôle du rail dans les transports est multiple :

- Il est responsable de la transmission et de la redistribution des charges verticales des roues vers les traverses, assurant ainsi la stabilité et la sécurité du train.
- Il guide le mouvement latéral des roues, réabsorbant les forces transversales et les transmettant aux traverses, ce qui permet de maintenir l'alignement approprié du train.
- Il fournit une surface lisse pour le roulement des roues, répartissant les forces de freinage et d'accélération, ce qui contribue à un confort de voyage accru pour les passagers.
- Il conduit l'électricité des lignes électrifiées vers le train, alimentant les moteurs de traction et fournissant l'énergie nécessaire au mouvement du train.
- Il guide les roues pour empêcher le déraillement, assurant ainsi la sécurité du fonctionnement du train.

Le type de rail utiliser dans notre projet :

❖ Dans le projet Ghardaïa-El Ménée le type de rail utilisé est le **Vignole UIC 60 E1**

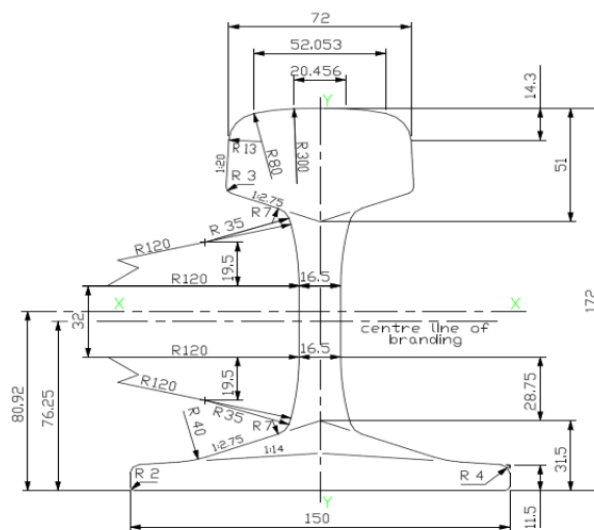


Figure II-4: Rail UIC 60

- Les caractéristiques de notre rail choisies dans le tableau ci-dessous :

Tableau II-1: Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1

Caractéristique	Valeur
Masse	60.21 kg/ml
Surface de la section	76.7 cm2
Hauteur du rail	172 mm
Largeur du patin	150 mm

Largeur du champignon	72 mm
Moment d'inertie (axe x-x)	3038.3 cm ⁴
Moment d'inertie (axe y-y)	512.3 cm ⁴
Allongement	$R \geq 10\%$
Résistance à la traction	$R \geq 880 \text{ N/mm}^2$
Dureté au milieu de la table de roulement	260-300 HBW
Épaisseur âme	16.5 mm
Dimension indicative B	52.053 mm
Dressage	Classe A
Nuance	260 (carbone-manganèse)

II.2.1.2. Assemblage des rails

L'infrastructure ferroviaire repose sur des éléments fondamentaux tels que les rails, qui sont produits dans une gamme de longueurs variant de 18 à 36 mètres. Pour garantir la cohésion et la continuité des barres formant la voie, il est indispensable de les relier solidement à leurs extrémités. Cette liaison est réalisée au moyen d'éclisses et de soudures, assurant ainsi la stabilité et la fiabilité du réseau ferroviaire.

- Eclisse : Une éclisse, élément de la voie ferrée, est une pièce métallique fixée par des boulons sur les rails afin d'assurer la liaison entre deux rails adjacents. Elles sont fréquemment employées près des aiguillages.
- Soudures: Il existe deux types de soudures :

La soudure électrique, utilisée soit en atelier soit sur le site, permettant de souder de longues barres.

La soudure aluminothermique, effectuée sur la voie, par une réaction chimique très exothermique, sur une charge de métal d'apport.

► Le type des soudures utiliser dans notre projet :

Les rails de notre projet seront fournis en barres de 18 mètres, qui seront soumises à une soudure électrique en atelier afin de former une barre continue d'une longueur totale de 288 mètres, appelée "LRS". Ces barres de 288 mètres seront ensuite transportées sur le site et assemblées par des soudures aluminothermiques réalisées directement sur la voie.

II.2.2. Les traverses

Une traverse constitue un élément essentiel de la voie ferrée. Elle est positionnée perpendiculairement sous les rails pour maintenir leur espacement et leur inclinaison, tout en transférant les charges des véhicules circulant sur les rails vers le ballast. Trois types de traverses sont utilisés :

II.2.2.1. Traverses en bois

Les traverses en bois les plus anciennes avaient une durée de vie très courte, mais grâce à un traitement spécialisé, leur longévité a été prolongée. Cependant, leur utilisation est rare

aujourd'hui en raison de leur résistance insuffisante aux contraintes dynamiques générées par les trains à grande vitesse.



Figure II-5: Traverse en bois

II.2.2.2. Traverses métalliques

Plusieurs pays ont commencé à tester l'utilisation de traverses métalliques, mais ces essais ont été interrompus peu avant la Seconde Guerre mondiale. Les traverses métalliques ne sont pas utilisées dans les lignes à grande vitesse en raison du niveau de bruit qu'elles génèrent, jugé insupportable pour les voyageurs.



Figure II-6: Traverse en acier

II.2.2.3. Traverses en béton

L'expérimentation de traverses en béton a commencé il y a 60 ans, des recherches ont débuté en laboratoire et in situ, avec des traverses en béton, soit simplement armées ou précontraintes. Les deux types de traverse utilisés sont :

- Les traverses monobloc en béton précontraint.
- Les traverses bi-blocs en béton armé reliés par une entretoise métallique.



Figure II-7: Traverse en béton

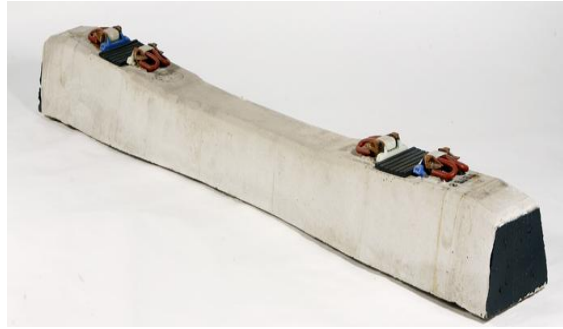


Figure II-8: Traverse monobloc



Figure II-9: Travers bi-bloc

II.2.2.4. Le rôle des travers

Les traverses, disposées perpendiculairement à l'axe des voies et supportant les rails, sont chargées de plusieurs fonctions essentielles, à savoir :

- Maintenir l'écartement standard des rails (1435 mm) et garantir sa stabilité.
- Distribuer et transmettre les charges sur la couche de ballast, comprenant les charges verticales des essieux, les forces centrifuges horizontales et les efforts longitudinaux.
- Autoriser une inclinaison de 1/20 des rails.
- Atténuer les vibrations des rails en agissant comme amortisseurs.

Le type des traverses utiliser dans notre projet :

Les types de traverses utiliser sont du type monobloc en béton précontraint pour la pleine voie et pour les voies de service, des traverses bi-bloc de type VAX U31.

II.2.3. Les attaches

Les attaches ferroviaires sont les pièces métalliques qui servent à fixer les rails sur les traverses, qu'elles soient en bois ou en béton, en permettant une certaine flexibilité dans les directions verticales et horizontales.

II.2.3.1. Le rôle des attaches

Le rôle des attaches est fondamental pour assurer la sécurité et la stabilité du rail sur les traverses, garantissant ainsi le bon déroulement des opérations ferroviaires. En absorbant et en répartissant efficacement la pression, elles préviennent les contraintes excessives sur le rail et la traverse, ce qui prolonge leur durée de vie et réduit les besoins en maintenance. En outre, ces attaches contribuent à réduire les niveaux de vibration et de bruit, améliorant le confort des

passagers et des riverains. De plus, elles fournissent une isolation électrique, évitant toute interférence du rail avec les systèmes de signalisation et de télécommunication.

Nous avons choisi le **système d'attache VOSSLOH** pour sa haute performance face aux charges lourdes. Il garantit un écartement stable de 1435 mm et assure une fixation élastique.



Figure II-10: Le système d'attache VOSSLOH

II.2.4. L'appareil de voie

L'exploitation des réseaux ferroviaires nécessite l'utilisation de dispositifs de connexion et d'intersection des itinéraires, regroupés sous le terme général d'appareils de voie. Ces appareils se composent de rails spéciaux, tels que les croisements de rails, et d'éléments mobiles comme les aiguilles, permettant le passage d'une voie à une ou plusieurs autres.

Les appareils de voie jouent un rôle crucial dans l'infrastructure ferroviaire, étant indispensables pour la création, la ramification et la jonction des voies. Leur nombre et leur configuration ont un impact significatif sur les performances et les vitesses de circulation des trains.

En règle générale, les appareils de voie sont fabriqués et pré-assemblés en atelier avant d'être installés à leur emplacement final. Il existe trois catégories d'aiguillages :

- Le branchement simple.
- Le croisement ou traversée simple.
- La traversée jonction (simple ou double), qui est une combinaison des deux derniers.
- Les appareils de voie utilisés dans notre projet :
- UIC-60 500- 1 :12 avec une vitesse de 60 km/h.

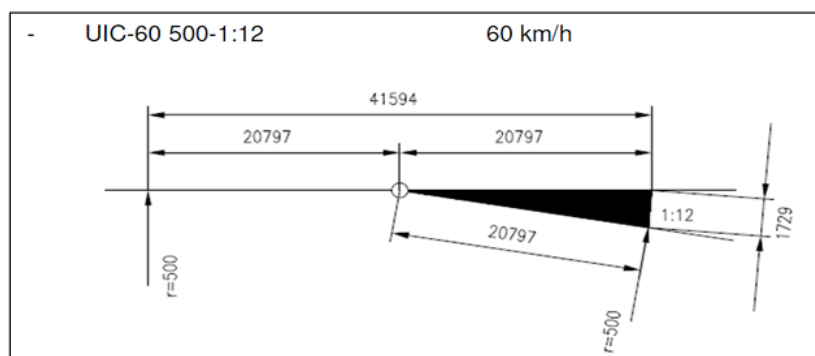


Figure II-11: Appareil de voie (UIC-60 500- 1 :12)

- UIC-60 300- 1 :9 avec une vitesse de 50 km/h.

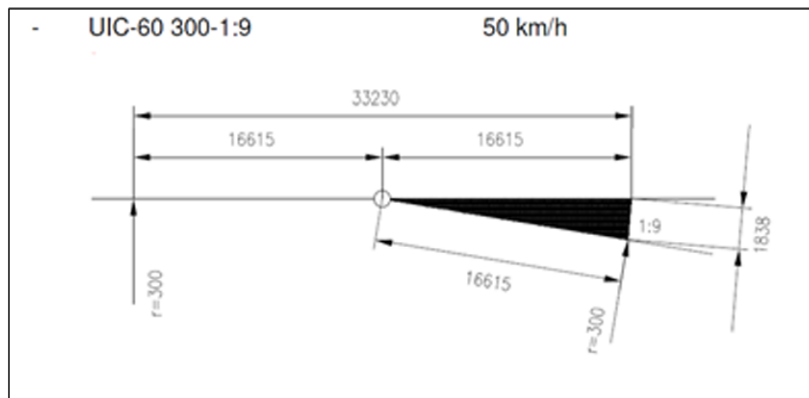


Figure II-12: Appareil de voie (UIC-60 300- 1 :9)

II.3. Conclusion

Ce chapitre a présenté les améliorations de la superstructure de la voie notamment le remplacement des attaches, l'allongement des traverses monoblocs. Ces modifications renforcent la stabilité, la durabilité et la performance de la voie, indispensables pour supporter le tonnage important des trains circulant sur cette ligne. Ces choix techniques garantissent une infrastructure fiable et adaptée aux contraintes du climat saharien et aux charges lourdes du trafic ferroviaire

CHAPITRE III
LA GEOMETRIE DE LA VOIE

Chapitre III : LA GÉOMÉTRIE DE LA VOIE

III.1. Tracé en plan

III.1.1. Introduction

L'analyse géométrique d'un tracé ferroviaire est une étape essentielle pour assurer un comportement dynamique stable et performant du train roulant. Cette configuration idéale nécessite des paramètres géométriques fondamentaux telles que des lignes droites, des courbes douces et dévers, le tout en respectant des normes techniques précises, notamment le référentiel technique de la société National des transports ferroviaires (SNTF).

L'objectif est de choisir un tracé plus économique, réduisant au minimum les forces centrifuges et garantissant un roulement parfait et sécurisé des trains.

III.1.2. Conditions et règles à respecter dans le tracé en plan

Pour faire un bon tracé, économique et technique dans les normes, on doit respecter certaines recommandations dont les plus pertinentes sont :

- S'adapter aux territoires traversés en ajustant le tracé au relief existant (topographie).
- Éviter autant que possible le franchissement des oueds et des routes pour minimiser la nécessité de construire des ouvrages d'art.
- Éviter de traverser les terrains agricoles, les zones forestières et les propriétés privées.
- Adapter le tracé en plan au terrain naturel en suivant les courbes de niveau pour réduire les volumes de terrassement.
- Utiliser le plus possible des alignements droits et respecter la longueur minimale requise.
- Éviter les zones de grande importance, telles que les centrales à gaz et les transformateurs électriques.
- Éviter les sites présentant des problèmes géologiques.
- Assurer la sécurité et le confort des usagers.
- Minimiser les problèmes liés aux talus :

Pour les talus en déblai, prendre en compte la présence de nappes, de roches fissurées ou de terrains plastiques.

Pour les talus en remblais, éviter les terrains instables et les sols compressibles.

III.1.3. Les éléments du tracé en plan

Un tracé en plan est constitué de trois éléments géométriques :

Une droite, un arc de cercle et une courbe de raccordement

- Alignement : $R=\infty$
- Arc de cercle : $R = \text{Constante}$
- Courbe de raccordement : $R = \text{variable}$



Figure III-1:les éléments du tracé en plan

a) L'alignement :

C'est l'élément le plus simple et le plus favorable à l'exploitation, correspondant à une courbe de rayon infini, ou la force centrifuge devient négligeable. Il offre le meilleur tracé sur le plan technique pour la voie ferrée, et garantit un confort optimal pour les voyageurs, sans secousses.

Selon le référentiel SNTF, les longueurs minimales des alignements sont :

Tableau III-1: Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes

Valeur normale[m]	V/2
Valeur exceptionnelle[m]	V/3

b) Arc de cercle :

Lorsque la topographie du site ne permet pas de réaliser des alignements droits, il devient nécessaire d'utiliser des arcs de cercle : sections où le rayon reste constant et doit être aussi grand que possible de sa valeur limite imposée par la vitesse de base.

c) La courbe de raccordement :

C'est un élément géométrique qui permet d'assurer une transition progressive entre l'alignement droit et l'arc de cercle. Sa courbure évolue graduellement, en passant d'un rayon infini à la fin de l'alignement droit à un rayon constant au début de la courbe circulaire. La courbe de raccordement la plus utilisée est la clothoïde. Ce type de raccordement est utilisé afin de :

- Introduire progressivement le dévers.
- Obtenir un tracé harmonieux et esthétique.
- Garantir les conditions de confort et de sécurité pour les usagers.

III.1.4. Définitions des éléments de tracé

Tableau III-2:Définition des éléments du tracé

Elément de tracé	Définition	Application
Dévers théorique (Dth)	Lorsqu'un véhicule circule dans une courbe à une certaine vitesse, la combinaison du poids du véhicule et de la force centrifuge peut devenir perpendiculaire au plan de roulement. Dans ce cas, l'effet de l'accélération transversale est totalement compensé. Pour atteindre cet équilibre, il est nécessaire de surélever le rail extérieur (de plus grand rayon) par rapport au rail intérieur d'une valeur déterminée. Cette valeur est appelée dévers théorique ou dévers d'équilibre .	$d_{th} = \frac{11,8 V_{max}^2}{3000}$ dth: dévers théorique en (mm) VMax: la vitesse maximale de la ligne (km/ h) R : Rayon de la courbe (m)
Dévers prescrit (pratique)	En pratique, le dévers réel est généralement inférieur au dévers théorique. Cela entraîne une insuffisance de dévers pour les trains circulant à grande vitesse et un excès de dévers pour les trains plus lents. Pour cette raison, on adopte un dévers moyen, appelé dévers normal, qui prend en considération à la fois les vitesses élevées et les vitesses réduites. Sa valeur se situe entre celle correspondant aux trains rapides et celle des trains lents.	$d_p = \frac{1000 C}{R}$ C : coefficient de dévers
Coefficient de dévers (C)	lors de la conception d'une ligne, l'utilisation d'un même coefficient de dévers pour toutes les courbes permet de maintenir un rapport constant entre la courbure et l'insuffisance de dévers. Le respect de cette règle contribue à améliorer le confort des voyageurs.	$C=0,006 \times V^2$
Insuffisance de dévers (I)	Quand les trains rapides circulent dans une courbe à une vitesse plus élevée que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers pratique, ces trains sont soumis à une force centrifuge non composée. Cela signifie que le dévers de la voie n'est pas suffisant et que la résultante des forces se déplace vers l'extérieur de courbe. On appelle ça l'insuffisance de dévers est la différence entre le dévers théorique requis pour les trains rapides et le dévers pratique	$I = d_{th} - d_p$ (mm)
Excès de dévers (E)	Quand les trains marchandises (les minéraliers dans notre projet) circulent dans une courbe à une vitesse plus lente que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers pratique, ces trains sont soumis à une force centripète non composée. Cela signifie que le dévers de la voie est excessif et que la résultante des forces se déplace vers l'intérieur la de courbe. On appelle ça l'excès de dévers, c'est la différence entre le dévers pratique et le dévers théorique requis pour les trains rapides. Exprimé en mm.	$E = d_p - d_{th}$ (mm)

La clothoïde	La clothoïde est une courbe employée pour créer une transition progressive entre un alignement droit et un arc de cercle. Sa courbure augmente de manière linéaire le long de la courbe, ce qui permet de réduire les forces centrifuges et d'assurer un meilleur confort et une plus grande sécurité pour les véhicules et les trains.	$L_{rp} = \frac{d_p}{\frac{dd}{dl}}$ <i>Lrp</i>: La longueur de clothoïde
--------------	---	--

III.1.5. Caractéristiques géométriques

Pour une vitesse V du train, les paramètres géométriques sont établis selon les recommandations de la SNTF, garantissant ainsi la stabilité des trains et le confort des voyageurs.

Tableau III-3:Vitesse des trains maximale

Vitesse normal V_v	220 km/h
Vitesse marchandises V_m	100 km/h

Tableau III-4:Paramètres géométriques de tracé en plan (SNTF)

		D_{max} (mm)	L_{min} (m)	I_{max} (mm)	E_{max} (mm)	R_{min} (m)	$\frac{dd}{dl}$ (mm/m)	$(\frac{dl}{dt})$ (mm/s)
Formule	Normal	-	$\frac{V_{max}}{2}$	-	-	$\frac{11,8 \times V_{max}^2}{D_{max} + I_{max}}$	$\frac{180}{V_{max}}$	-
	Exceptionnel	-	$\frac{V_{max}}{3}$	-	-	$\frac{11,8 \times V_{max}^2}{D_{max} + I_{max}}$	$\frac{216}{V_{max}}$	-
Application	Normal	160	110	150	110	1842	0.82	75
	Exceptionnel	180	73	160	130	1680	0.98	90

Avec :

- D_{max} : Le dévers pratique maximal.
- L_{min} : La longueur minimale des éléments de tracé (alignement, pleines courbes).
- I_{max} : L'insuffisance de dévers admissibles.
- E_{max} : L'excès de devers admissible.
- R_{min} : Le rayon minimum.
- $(\frac{dd}{dl})$: La limite de la variation de dévers par rapport à la longueur.
- $(\frac{dl}{dt})$: La limite de la variation d'insuffisance de divers par rapport au temps.

III.1.5.1. Application sur le projet

Notre projet reliant Ghardaïa à Menea s'étend du PK 86+106 au PK 97+000, couvrant une distance de 13 km. Le tracé commence par une section rectiligne et se termine par une courbe de rayon de 2 700 m. le tracé comporte quatre courbes horizontales, dont les rayons varient entre 2 700 m et 5 000 m.

Selon la SNTF, pour une vitesse de 220 km/h, le rayon minimum est de 1 842 m. Par conséquent, tous les rayons de notre tracé doivent être supérieurs à **Rmin = 1 842 m**.

Pour illustrer les différentes étapes de calcul permettant de déterminer le dévers et les paramètres associés, nous prenons l'exemple d'un rayon de 3 000 m.

Tableau III-5:Paramètres de la voie

Vmax (km/h)	V min (km/h)	E _{max} (mm)	I _{max} (mm)	dp _{max} (mm)	R (m)
220	100	110	150	160	3 000

- Dévers théorique $d_{th} = \frac{11,8 V_{max}^2}{3000} = \frac{11,8 \times 220^2}{3000} = 190.37 \text{ mm}$
- Le coefficient de dévers : $C = 0,006 V_{max}^2 = 0,006 \times 220^2 = 290.4$

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

Alors on prend C=300

$$0,5 < \frac{C}{0,0118 \times V_{max}^2} < 0,7 \dots (*) \Rightarrow 0,5 < \frac{C}{0,0118 \times 220^2} < 0,7 \Rightarrow 0,5 < 0,53 < 0,7 \text{ vérifiée}$$

- Dévers pratique : $d_p = \frac{1000 C}{R} = \frac{1000 \times 300}{3000} = 100 \text{ mm}$

On prend $d_p = 110 \text{ mm}$

- Insuffisance de dévers : $I = d_{th} - d_p = 190.37 - 110 = 80.37 \text{ mm}$
- Excès de dévers : $E = d_p - \frac{11,8 V_{min}^2}{R} = 110 - 39,33 = 70,76 \text{ mm}$
- La longueur de clothoïde : $L_{rp} = \frac{d_p}{\frac{dd}{dl}} = \frac{d_p}{\frac{180}{V_{max}}} = \frac{110}{\frac{180}{220}} = 134.44 \text{ m}$

On prend $L_{rp} = 140 \text{ m}$

- Limite de la variation de dévers par rapport à longueur :

$$\frac{dd}{dl} = \frac{d_p}{L_{rp}} = \frac{110}{140} = 0.78 \text{ mm/m}$$

- La variation d'insuffisance de dévers :

$$\frac{dl}{dt} = \frac{d_p}{L_{rp}} \times \frac{V_{max}}{3,6} = \frac{110}{140} \times \frac{220}{3,6} = 35,80 \text{ mm/s}$$

Calcul récapitulatif des éléments géométriques :

Tableau III-6: Calcul récapitulatif des éléments géométriques

Rayon (m)	C	Vitesse (km/h)		Dth (mm)	Dp adopté	I (mm)	E (mm)	Lrp (m)	Lrp adoptée (m)	$\frac{dd}{dl}$ (mm/m)	$\frac{dl}{dt}$ (mm/s)
		V_{max}	V_{min}								
3000	300	220	100	190,37	110	80,37	70,67	134,44	140	0,79	35,08
4000				142,78	85	57,78	55,50	103,89	110	0,77	32,10
2700				211,53	120	91,53	76,30	146,67	150	0,80	37,29
5000				114,22	70	44,22	46,40	85,56	90	0,78	30,03

III.1.5.2. Les contraintes le long du tracé :

OBSACTLES	PK	MESURES PRÉVUES
Croisement Parcelle Agricole	86+375-86+875 87+775-88+425 88+975-89+175 89+200-89+700 90+000-90+200	À aménager ou à supprimer
Ligne électrifiée moyenne tension	95+600	Prendre en compte les mesures de sécurité lors du tracé. Permettre de : ▪ Assurer un croisement sécurisé avec la ligne MT ▪ Respecter les normes de distance ▪ Anticiper les risques potentiels
Oued	93+275	Ouvrage hydraulique
Zone inondable d'oued Tghir	PK 96+475 au PK 96+875	Ouvrage d'art PK 96+475 au PK 96+875 sur 400 ml ou protection par des matériaux de zone inondable

III.2. PROFIL EN LONG

III.2.1. Introduction

Le profil en long est un élément important dans les projets ferroviaires. Il fournit une vue détaillée du terrain le long du tracé, en représentant la projection horizontale de la cote de fil basse des rails sur un plan vertical passant par l'axe du tracé.

Le profil en long permet de déterminer le tracé optimal, réduisant les travaux de terrassement, les quantités des déblais et remblais ainsi que les ouvrages d'art. Cela facilite l'estimation des couts du projet et favorise une gestion plus efficace des ressources naturelles.

Il est composé d'une succession des lignes droites (rampes et pentes) reliée par des courbes circulaires. Pour chaque point du profil en long il est nécessaire de déterminer :

- L'altitude du terrain de projet
- L'altitude de projet
- La déclivité du projet

III.2.2. RÈGLES À RESPECTER DANS LE TRACE DU PROFIL EN LONG

Le tracé de la ligne rouge, correspond à la ligne projetée adoptée repose sur des critères précis et doit répondre à plusieurs exigences concernant le confort, la sécurité, la visibilité, l'évacuation des eaux pluviales et l'économie, c'est pourquoi il faut respecter certaines règles:

- Respecter les valeurs des paramètres géométriques ainsi que les rayons prescrits par la réglementation en vigueur.
- Adapter la ligne rouge au relief naturel afin de limiter les travaux de terrassement.
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.
- Éviter les hauteurs excessives de remblais.
- Minimiser les volumes de déblais et remblais.
- Aux changements de déclivité (rampe ou pente), raccorder les alignements droits par des courbes circulaires.
- Eviter une forte déclivité prolongée.
- Prévoir un raccordement optimal avec les réseaux ferroviaires existants.
- Éviter l'implantation des appareils de voie en courbe ou en pente.
- Éviter d'enchaîner immédiatement une courbe en profil en long après une courbe en plan.
- Réduire au maximum le recours aux ouvrages d'art.
- Garantir une évacuation efficace des eaux pluviales, notamment au niveau des points bas.

Dans les zones inondables, il est impératif de concevoir un profil en remblai dont la hauteur dépasse le niveau des plus hautes eaux (NPHE) de 0,5 mètre minimum.

III.2.3. ÉLÉMENTS GÉOMÉTRIQUES DU PROFIL EN LONG

III.2.3.1. Les déclivités droites

Les différentes sections du profil en long sont caractérisées par leur longueur et leur inclinaison, cette dernière étant définie en fonction de la direction de circulation.

- Pente : déclivité négative, correspondant à un tronçon de voie où l'altitude diminue dans le sens de la circulation.
- Rampe : déclivité positive, correspondant à une section où l'altitude augmente.
- Palier : déclivité nulle, correspondant à une section à hauteur constante, généralement au niveau des gares.

III.2.3.2. Raccordements de déclivités

Courbes verticales : Le raccordement entre les pentes et les rampes s'effectue au moyen de courbes verticales, généralement de forme circulaire ou parabolique, afin d'assurer une transition progressive et confortable du profil en long.

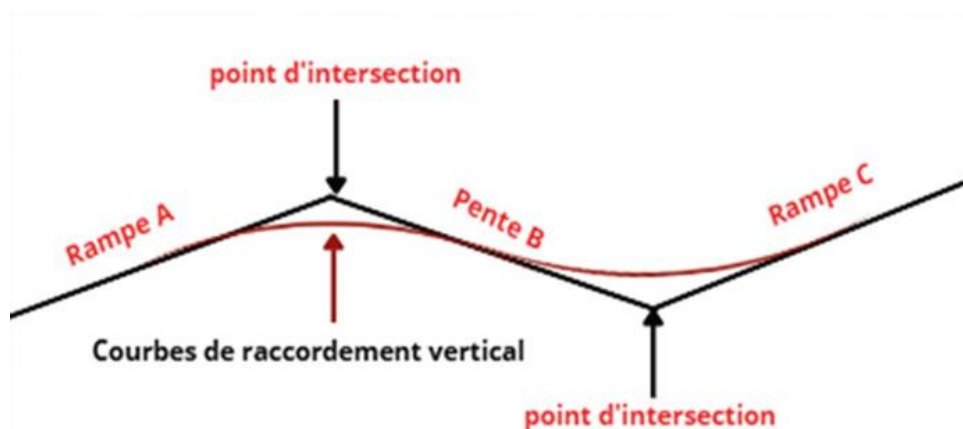


Figure III-2: les éléments de profil en long

III.2.3.3. Choix des alignements droits

Le profil en long de la voie ferrée se caractérise par des valeurs très faibles de déclivité afin d'assurer des vitesses de circulation adéquates. Cela garantit également la sécurité lors du freinage en pente et le confort au démarrage des véhicules en rampe. Par conséquent, la déclivité des sections droites ne peut pas dépasser un maximum fixé par la SNTF.

D'autre part, pour l'implantation de la gare avec un palier de longueur supérieure à 1200 m, nous adoptons généralement **les déclivités maximales** suivantes :

- La déclivité pour une longueur inférieure à 3000 m ne doit pas dépasser 16 ‰ et exceptionnellement, 18 ‰.
- La déclivité de longueur comprise entre 3 000 m et 15 000 m diminue graduellement pour passer de 16‰ à 13‰, et exceptionnellement de 18‰ à 15‰.

En ce qui concerne les déclivités de longueur supérieure à 15 000 m, celles-ci ne doivent pas dépasser 13‰, avec une exception possible à 15‰.

Tableau III-7: Les longueurs minimales des déclivités

Valeur normal	$V/2 = 110m$ Avec $V=220km/h$
Valeur exceptionnelle	$V/2.5 = 88m$

III.2.3.4. Choix des cercles

Lorsqu'un véhicule passe d'une déclivité à une autre, il subit une accélération verticale soudaine aux extrémités de la transition. Cela entraîne une oscillation de la suspension, perturbant ainsi le confort des passagers. L'accélération est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$A_v = \frac{V^2}{3.6^2 \times R_v}$$

Pour une vitesse inférieure à 220 km/h, la valeur maximale de cette accélération est de 0,22m/s² ($A_v \leq 0,05 g$), avec une exception possible à 0,31 m/s². Cette valeur est considérée comme un niveau de confort acceptable, obtenue en remplaçant les valeurs de A_v dans la formule.

$$R_v = \frac{V^2}{3.6^2 \times A_v}$$

Tableau III-8: Valeurs de Rayon vertical minimale (SNTF)

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

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

- Il ne doit pas y avoir d'interférence entre les courbes de transition en plan (clothoïdes) et les courbes de raccordement en profil en long.
- Les appareils de voie ne doivent pas être placés sur des courbes.

Pour garantir une coordination efficace entre le profil en long (altimétrie) et le tracé en plan (Planimétrie), certaines règles doivent impérativement être respectées :

-Éviter que les raccordements de profil en long (courbes verticales) se superposent aux clothoïdes (courbes de transition) du tracé en plan.

-Ne pas placer les appareils de voie (aiguillages, croisements) dans des zones en courbe ou sur des pentes (déclivités).

Objectifs visés :

- Sécurité des passagers et du matériel roulant.
- Confort optimal pour les voyageurs.

-Réduction des effets combinés des accélérations verticales et horizontales (meilleure tenue de voie, moins d'usure, meilleure dynamique du train).

III.2.4. PARAMÈTRES DE PROFIL EN LONG

Les paramètres de notre profil en long sont comme suit :

Tableau III-9: Paramètres du profil en long (SNTF)

		$D_{max}(\text{‰})$				R_{min} (m)	L_{min} (m)
		L <3000 m	3000 m < L <15000m	L >15000 m	Gares		
Application	Normal	16	16 à 13	13	0	16940	110
	Exceptionnelle	18	18 à 15	15	0	12100	88

III.3. CONCLUSION

L'étude géométrique ferroviaire combine mathématiques et ingénierie pour définir précisément les alignements horizontaux et verticaux, les courbes, pentes et dévers, assurant ainsi la sécurité et l'efficacité du réseau. Elle utilise des outils modernes comme le GPS et des logiciels de CAO (Covadis, Civil 3D) pour optimiser les tracés et réduire les coûts de maintenance. Cette étude s'applique non seulement à la conception initiale, mais aussi à la gestion et au suivi tout au long du cycle de vie des voies, garantissant la durabilité et la fiabilité du transport ferroviaire.

N.B 1 : Des tronçons de notre profil en long sont joints en plans format A3.

N.B 2 : le tracé est réalisé à l'aide de logiciel COVADIS 17.0 et les éléments du tracé en plan sont représentés dans l'annexe.

LÉGENDE:

Axe de voie principale

Axe de voie secondaire

Limite d'emprise de la gare

Fossé et caniveau

Limite de la plateforme et la couche de ballast

Talus en déblai

Talus en remblai

PROFIL EN LONG

TRACE EN PLAN

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'ETUDES

Etude de la nouvelle ligne ferroviaire
GHARDAIA-MENEA du Pk: 86+106 au Pk: 97+000
y compris la gare HASSI LAFHEL

Réalisé par

- BELHAOUCHAT
SEYFEDDINE
- CHERAD
MAROUA

Encadré par

- Mme.
SERIDJI WIDAD

Echelle

1:1000

N° Planche

Tracé en plan et Profil en
long-Tracé du
Pk:86+725au Pk:87+725

Année universitaire

2025 / 2026

CHAPITRE IV
ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET
HYDRAULIQUE

Chapitre IV : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

IV.1. Introduction

La construction d'une voie ferrée entraîne des altérations dans le terrain, notamment des déblais et des remblais, qui perturbent les flux naturels d'eau provenant des précipitations atmosphériques et des nappes phréatiques. Ce chapitre se concentre sur l'étude hydrologique et hydraulique visant à dimensionner les infrastructures hydrauliques (telles que les systèmes d'assainissement et de drainage) le long du tronçon où la voie ferrée est doublée, reliant Ghardaïa-EL Ménée (la gare de Hassi Elfehal), entre les bornes kilométriques PK.86+106 et PK.97+000. L'objectif est de garantir la continuité des flux d'eau et de protéger la plate-forme ferroviaire.

IV.2. ÉTUDE HYDROLOGIQUE

L'hydrologie est une discipline clé dans les projets ferroviaires. Elle permet de comprendre les propriétés de l'eau et son mouvement à la surface de la terre ainsi que dans les couches souterraines. Elle permet de délimiter les bassins versants afin de déterminer leurs caractéristiques et de calculer le débit de chacun.

IV.2.1. Caractéristiques climatiques de la zone d'étude

Les caractéristiques climatiques de la zone traversée par le projet de la nouvelle ligne ferroviaire Ghardaïa – El Ménée, basées sur l'analyse des paramètres climatiques, tels que la température, les précipitations, et le vent, recueillis au niveau des deux stations météorologiques, à savoir la station de Ghardaïa et la station d'El Ménée.

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

IV.2.1.1. Les Températures

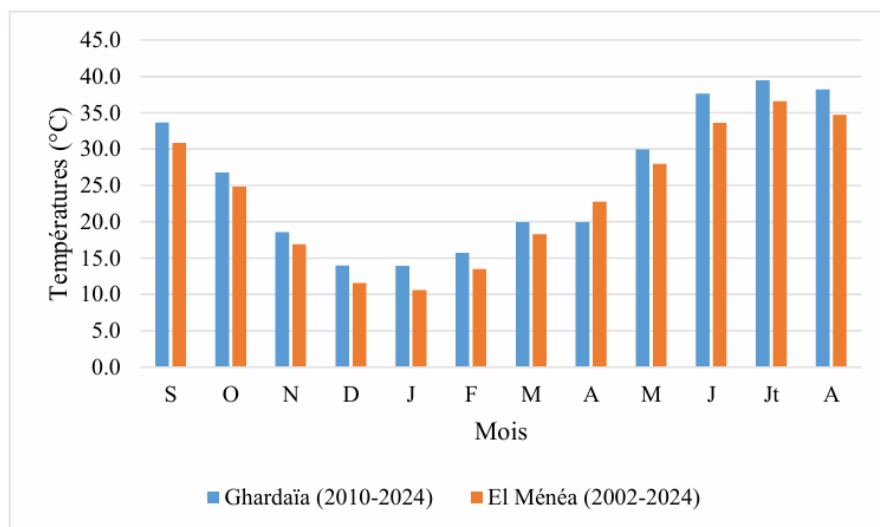
Au niveau de la station de Ghardaïa, on observe à partir du tableau 7 et la figure 8 que la température minimale est enregistrée en mois de janvier avec une valeur de 13.9°C, et la température maximale est observée en juillet avec une valeur de 39.5°C avec une moyenne mensuelle l'ordre de 25.6°C.

Au niveau de la station d'El Ménée, on observe à partir du tableau 7 et la figure 8 que la température minimale est enregistrée en mois de janvier avec une valeur de 10.6°C, et la température maximale est observée en juillet avec une valeur de 36.6°C avec une moyenne mensuelle l'ordre de 23.5°C.

Tableau IV-1: 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
Ghardaïa (2010-2024)	33.6	26.7	18.6	14.0	13.9	15.7	19.9	20.0	30.0	37.6	39.5	38.2
El Ménée (2002-2024)	30.8	24.8	16.9	11.6	10.6	13.5	18.3	22.8	28.0	33.6	36.6	34.7

Tableau IV-2: Graphe Variation des températures moyennes mensuelles au niveau de la station de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménée (2002-2024)



IV.2.1.2. Humidité

Au niveau des deux stations de Ghardaïa et d'El Ménée, L'humidité relative est inférieure à 50%. La moyenne de l'humidité relative maximale est enregistrée au mois de décembre estimée à 45.7 % et 46.3 % respectivement. La moyenne minimale est enregistrée au mois juillet avec une valeur de 15.9 % et 15.7% respectivement.

Tableau IV-3: Humidité moyenne mensuelles au niveau des stations de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménée (2008-2024)

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

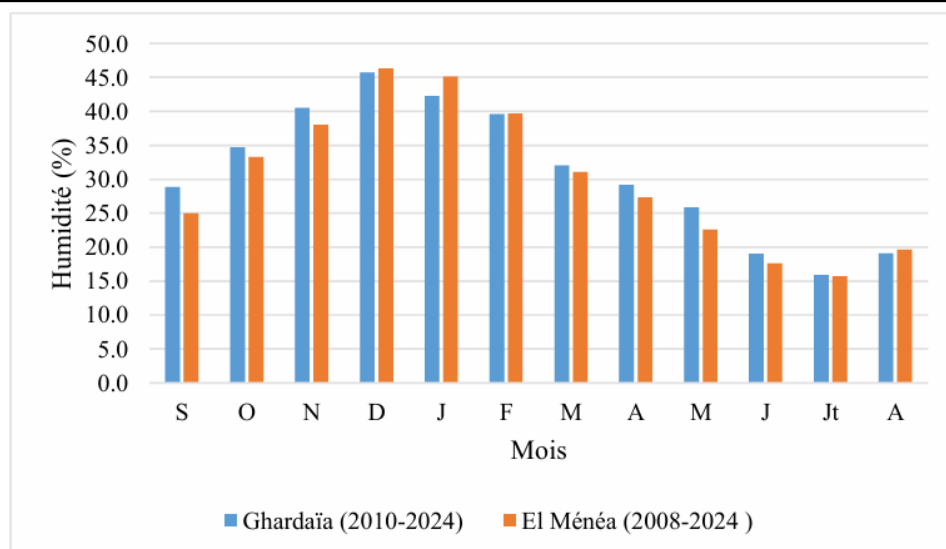


Figure IV-1: Graphe Variation des moyennes mensuelles de l'humidité à la station de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménée (2008-2024)

IV.2.1.3. Le vent

L'analyse de l'histogramme des moyennes mensuelles des vents dans la zone d'étude montre qu'au niveau de la station de Ghardaïa, la valeur maximale de la vitesse des vents est enregistrée

durant le mois de juillet (17.6 m/s) et la valeur minimale est enregistrée durant le mois janvier (12.4 m/s). Au niveau de la station d'El Ménée, la valeur maximale de la vitesse des vents est enregistrée durant le mois d'avril et mai (11.8 m/s) et la valeur minimale est enregistrée durant le mois novembre et décembre (9.4 m/s).

Tableau IV-4: 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

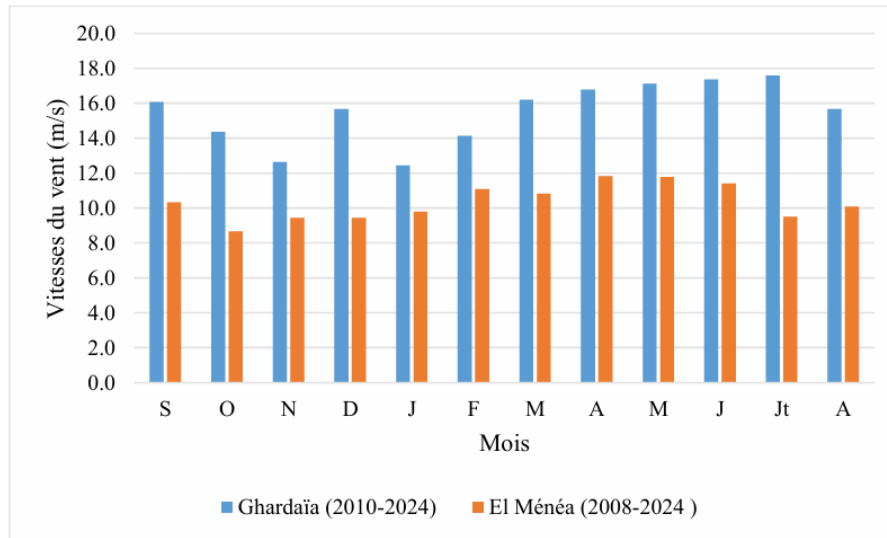


Figure IV-2: Graphe Variation des moyennes mensuelles des vitesses du vent à la station de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménée (2008-2024)

IV.2.2. Analyse des données pluviométriques

Afin de protéger les lignes ferroviaires contre les dommages liés aux écoulements d'eau, il est indispensable de procéder une analyse des données pluviométriques disponibles. Cette étude sera réalisée à partir de la station de Ghardaïa et El Ménée.

L'analyse pluviométrique a été effectuée sur la base d'une collecte de données et de documents provenant de deux sources principales, à savoir :

- L'office National de la Météorologie (ONM).
- L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH)

IV.2.2.1. Précipitations moyennes mensuelles

Selon le ta et la f, 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 IV-5: Précipitations moyenne mensuelles au niveau des stations de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménéa (2002-2024)

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

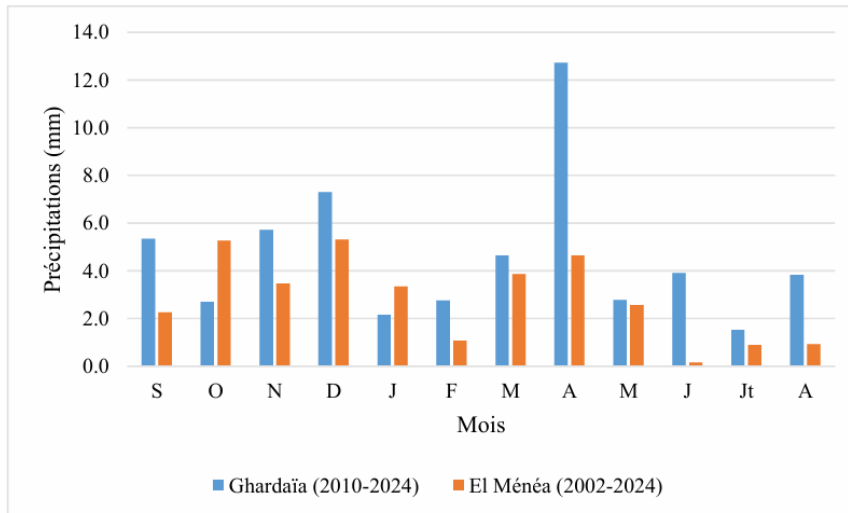


Figure IV-3: Graphe Variation des Précipitations moyenne mensuelles des stations de Ghardaïa (2010-2024) et d'El Ménéa (2002-2024)

IV.2.2.2. Pluies journalières

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

Tableau IV-6: valeurs d'ajustement des pluies journalières selon les fréquences choisies, au niveau de la station de Ghardaïa.

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

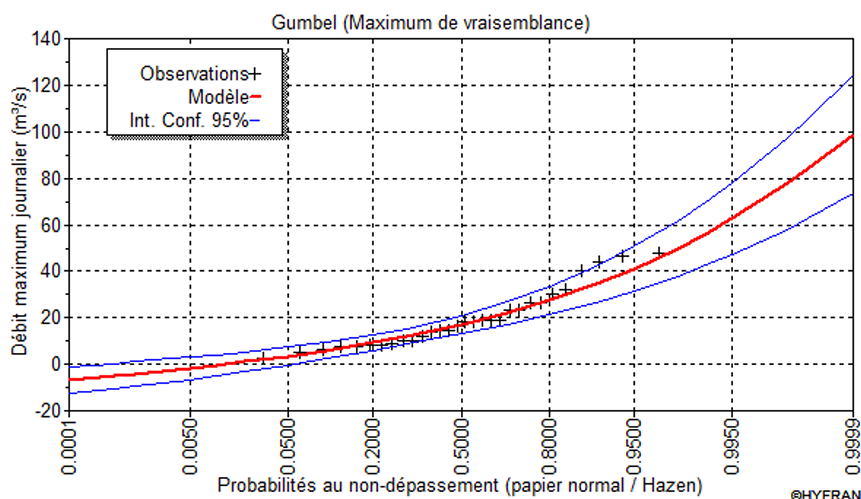


Figure IV-4: valeurs d'ajustement des pluies journalières selon les fréquences choisies, au niveau de la station de Ghardaïa.

IV.2.2.3. Pluies de courtes durées

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

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

$I(t, T)$: Intensité de pluie en mm/h ;

T : période de retour ;

t : temps en heures ;

a et b : paramètres de Montana. Avec : $b=0.82$

Tableau IV-7 : valeurs du paramètre « a » selon les fréquences au niveau de la station de Ghardaïa (Source ANRH).

T(ans)	5	10	20	50	100
a(T)	16.5	20.1	23.7	28.2	31.6

Tableau IV-8: Valeur des intensités pour les différentes périodes de retour

I(t,T)	5	10	20	50	100
1h	16.5	20.1	23.7	28.2	31.6
2h	9.35	11.38	13.42	15.97	17.9
3h	6.70	8.16	9.63	11.45	12.84
6h	3.8	4.62	5.45	6.49	7.27
12h	2.15	2.62	3.09	3.68	4.12
24h	1.22	1.48	1.75	2.08	2.33

IV.2.3. BASSIN VERSANT

Le bassin versant agit comme un collecteur en absorbant les précipitations. Il est défini comme la surface drainée par un cours d'eau et ses affluents en amont de la section considérée, appelée exutoire, située à l'intersection du tracé du bassin versant. Tout écoulement issu de cette surface doit traverser l'exutoire pour continuer son trajet vers l'aval.

IV.2.3.1. La délimitation des bassins versants

Les limites d'un bassin versant sont déterminées par les lignes de crête, qui suivent généralement les lignes de plus grande pente. À l'intérieur de chaque bassin, on considère le cours d'eau principal comme étant celui présentant la plus grande longueur ou s'écoulant selon la pente la plus faible.

Après avoir assemblé les différentes cartes topographiques à l'échelle 1/200 000 (cartes de l'état-major), le tracé de la future voie ferrée a été reporté sur ces documents. Cette étape est complétée par l'analyse d'images satellitaires, permettant de justifier et de préciser la délimitation des bassins versants traversés.

IV.2.3.2. Les caractéristiques morphologiques des bassins versants

Après la délimitation des bassins versants, l'étape suivante consiste à déterminer le débit généré par chacun d'eux. Pour cela, plusieurs paramètres essentiels doivent être pris en compte dans la modélisation hydrologique des bassins, notamment :

- S (km²) : Superficie du bassin versant.
- P (km) : Périmètre du bassin.
- L (km) : Longueur du talweg principal.
- Hmax (m) : Altitude maximale du bassin.
- Hmin (m) : Altitude minimale du bassin.
- Hmoy (m) : Altitude moyenne, calculée selon la formule : $H_{moy} = \frac{H_{max} + H_{min}}{2}$



Figure IV-5: Délimitation des BV sur la carte d'état-major

À partir de ces données de base, d'autres paramètres hydrologiques peuvent être dérivés :

- Indice de compacité de Gravelius (K_c) : $\frac{0.28 \times P}{\sqrt{A}}$.
- Pente moyenne (I) : $\Delta H / L$ (m/m), où $\Delta H = H_{\max} - H_{\min}$.
- Temps de concentration (T_c) : temps nécessaire pour que l'eau parcoure le bassin jusqu'à l'exutoire.
- Coefficient de ruissellement C_r : détermine la fraction des précipitations qui contribue à l'écoulement de surface.
- Vitesse moyenne de ruissellement (km/h) : estimation de la vitesse d'écoulement dans le bassin.
- L_r [m] longueur du rectangle équivalent :

$$L_r = \frac{K_c \times \sqrt{S}}{1.12} + \sqrt{\left(\frac{K_c}{1.12}\right)^2 - 1} \quad \text{Avec } K_c \geq 1.12$$

Si $K_c \leq 1.12$, le bassin a une forme circulaire et la transformation géométrique en rectangle équivalent n'est plus réalisable, le bassin sera assimilé à un carré (longueur = largeur).

Tableau IV-9: Les caractéristiques morphologiques de nos bassins versants

N° B V	PK	S (m ²)	P (m)	L (m)	Hmax (m)	Hmin (m)	Hmoy (m)	dh (m)	P(m/m)	Kc	Lr(m)
01	86+358.46	550462	3202	612	410	371	391	39	0.0637	1.21	1.2104
02	86+787.09	377689	2789	624	442	435	439	7	0.0112	1.27	1.23147
03	88+317.23	685254	3571	861	430	371	400	59	0.068	1.21	1.30319
04	89+279.15	4402379	10359	4327	444	367	406	77	0.0178	1.38	3.3051
05	90+284.40	4181662	10164	3584	415	371	393	44	0.0123	1.39	3.2729
06	92+565.56	6096235	9785	3839	383	372	378	11	0.0029	1.11	2.568
07	93+235.19	1585886	6260	1573	372	366	369	6	0.0038	1.39	2.2979
08	94+1000.00	1911485	5886	2497	380	359	370	21	0.0084	1.19	1.828010
09	96+687.96	144221529 1	208333	8841 9	700	357	529	343	0.0039	1.54	53.16

IV.2.3.3. Calcul des débits des bassins

L'estimation des débits de crue associés aux bassins versants naturels du projet dépend de plusieurs facteurs influençant plus ou moins fortement la genèse des crues, tels que la topographie, le climat, la morphologie des bassins, la nature géologique du sol, entre autres.

Calcul du temps de concentration **T_c** :

Le temps de concentration c'est le temps qu'il faut à une goutte d'eau, sans s'évaporer ni s'infiltrer, pour descendre du sommet du bassin versant jusqu'à l'exutoire. Le temps de concentration est calculé en utilisant les trois formules suivantes :

Formule de VENTURA ($A < 5 \text{ Km}^2$) :

$$T_c = 0.1272 \sqrt{\frac{A}{I}}$$

T_c : Temps de concentration en (heures) ;

A : Superficie du bassin-versant en (Km^2) ;

I : Pente moyenne du thalweg principal en (m/m) ;

Formule de PASSINI ($5\text{Km}^2 < A < 25\text{Km}^2$) :

$$T_c = \frac{0.108(A \times L)^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{I}}$$

T_c : Temps de concentration en (heures).

A : Superficie du bassin-versant en (Km^2).

L : Longueur du thalweg en (Km).

I : Pente moyenne du thalweg principal en (m/m).

Formule de GIANDOTTI ($A > 25\text{Km}^2$) :

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

T_c : Temps de concentration en (heures).

A : Superficie du bassin-versant en (Km^2).

L : Longueur du thalweg en (Km).

H_{moy} : Hauteur moyenne du bassin versant en (m).

H_{min} : Hauteur minimale du bassin versant en (m).

Tableau IV-10: Le Temps de concentration calculé avec les 3 méthodes

BV	S (Km ²)	L (Km)	Pente (m/m)	$T_c(h)$			$T_c(h)$
				Giandotti	Passini	Ventura	
01	0.550462	0.612	0.0637	/	/	0.37	0.37
02	0.377689	0.624	0.0112	/	/	0.74	0.74
03	0.685254	0.861	0.068	/	/	0.40	0.40
04	4.402379	4.327	0.0178	/	/	2.00	2.00
05	4.181662	3.584	0.0123	/	/	2.34	2.34
06	6.096235	3.839	0.0029	/	5.77	/	5.77
07	1.585886	1.573	0.0038	/	/	2.59	2.59
08	1.911485	2.497	0.0084	/	/	1.91	1.91
09	1442.21529	88.419	0.0039	27.16	/	/	27.16

IV.3. CALCUL HYDROLOGIQUE

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

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

Pour évaluer les débits max (**crue centennale**) des bassins versants aux sites des franchissements du tracé par les écoulements superficiels, on utilise des formules empiriques qui sont élaborées en fonction de la pluie et des caractéristiques physiques des bassins versants suivantes, il s'agit de :

a) Formule Rationnelle : (A < 10 KM²)

Le principe fondamental de la formule rationnelle repose sur le fait que la pluie génératrice de crue correspond à celle ayant une durée équivalente au temps de concentration. Cette formulation permet de calculer le débit maximal associé à une période de retour donnée par la relation suivante :

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3.6}$$

Avec :

Q : Débit de crue de fréquence déterminée en m³/s.

C : Coefficient de ruissellement.

I : Intensité de pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration en (mm/h).

A : Surface du bassin versant en (Km²).

- **Coefficient de ruissellement (Cr) :**

Le coefficient de ruissellement (Cr) représente la part de la pluie qui se transforme en écoulement de surface, lorsque le sol est saturé. Dans la méthode de Kenessy, le coefficient de ruissellement est obtenu en additionnant trois composantes :

$$C_r = C_1 + C_2 + C_3$$

C₁: Dépend de la pente du cours d'eau principal

Tableau IV-11: Valeurs de C₁

La pente	C ₁		
≤3.5%	0.01	0.03	0.05
Entre 3.5 et 11%	0.06	0.08	0.10
Entre 11 et 35%	0.12	0.16	0.20
>à 35%	0.22	0.26	0.30

Coefficient C₂ : dépendant de la nature du sol (perméabilité)

Tableau IV-12: valeurs de C₂

Nature du sol	C ₂		
Imperméable	0.22	0.26	0.30
Peu imperméable	0.10	0.15	0.20
Perméable	0.06	0.08	0.10
Très perméable	0.03	0.04	0.05

Coefficient C₃ : dépendant de la couverture végétale du bassin versant.

Tableau IV-13: valeurs de C₃

Couverture végétale	C ₃		
Rocheux	0.22	0.26	0.30
Prairie	0.17	0.21	0.25
Labours champs	0.07	0.11	0.15
Territoire sableux	0.03	0.04	0.05

Puis il faut utiliser **la formule de transition** pour calculer le coefficient de ruissellement correspondant à une période de retour supérieur à 10 ans :

$$C(T) = 0.8 \times \left(1 - \frac{P_0}{P_t}\right)$$

Si le coefficient de ruissèlement décennal est supérieur à 0.8 il demeure inchangé ;

Si $C_{10} < 0.8$, on obtient : $P_0 = (1 - (C_{10}/0.8)) \times P_{10}$

- P_0 est en mm,

- P_{10} = hauteur de pluie moyenne journalière de dix ans, en mm.

Si $C_{10} \geq 0.8$, on obtient : $P_0=0$ et $C_T=C_{10}$.

La connaissance et la détermination de ces paramètres sont indispensables pour la prédétermination des débits de projet nécessaires pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques.

b) Formule DE MALLET-GAUTHIER :

Pour les bassins versant de surface supérieure à 10Km² :

$$Q_{max} = \frac{2 \times K \times \log(1 + a \times P_0) \times S}{\sqrt{L}} \times \sqrt{1 + 4 \times \log(T) - \log(S)}$$

S : superficie du bassin versant (Km²).

L : longueur du talweg principal (Km).

K et A : coefficient qui dépend de la topographie du bassin versant, ils varient comme suit :

- $1 < K < 3$
- $20 < A < 30$

En prend $K = 3$ et $A = 25$.

- P_0 : Précipitation moyenne interannuelle en (m), ($P_{an}=0.066m$)
- T : période de retour en années.

Tableau IV-14: Résultats des valeurs des débits calculés pour la crue centennale pour la ligne ferroviaire Ghardaïa – El Ménée, entre le PK 86+106 et le PK 97+000

N° BV	PK	S (km ²)	t _c (h)	C1	C2	C3	C10	C100	I ₁₀₀ (mm/h)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	
										Rationnelle	Mallet-Gauthier
01	86+358.46	0.550462	0.37	0.08	0.20	0.22	0.5	0.620	71.41	5,46	-
02	86+787.09	0.377689	0.74	0.01	0.20	0.22	0.43	0.57	40.45	1,82	-
03	88+317.23	0.685254	0.40	0.05	0.20	0.22	0.47	0.60	66.99	5,99	-
04	89+279.15	4.402379	2.00	0.05	0.20	0.22	0.47	0.60	17.9	10,29	-
05	90+284.40	4.181662	2.34	0.01	0.20	0.22	0.43	0.57	15.74	7,86	-
06	92+565.56	6.096235	5.77	0.01	0.20	0.22	0.43	0.57	7.51	5,47	-
07	93+235.19	1.585886	2.59	0.01	0.20	0.22	0.43	0.57	14.48	2,74	-
08	94+1000.00	1.911485	1.91	0.01	0.20	0.22	0.43	0.57	18.58	4,24	-
09	96+687.96	1442.21529	27.16	0.01	0.20	0.22	0.43	0.57	2.11	-	941,33

IV.4. ETUDE HYDRAULIQUE

Dans l'étude hydraulique, un système opérationnel d'évacuation des eaux sera mis en place afin de garantir la stabilité de l'infrastructure ferroviaire. Ce dispositif vise à capter à la fois les eaux zénithales et celles provenant des nappes phréatiques. L'assainissement des plateformes comprend :

- Des ouvrages de collecte longitudinale ;
- Des ouvrages transversaux ;
- Des ouvrages de raccordement.

a) Les ouvrages transversaux :

- Les buses :

Les buses sont des ouvrages hydrauliques transversaux de section circulaire, Leur diamètre ne dépasse généralement pas $\varnothing = 1,50$ m et un nombre maximum de 4 buses. Leur mise en place nécessite une fondation en béton armée rigide afin de garantir leur stabilité structurelle.

- Les dalots :

Les dalots sont des ouvrages hydrauliques transversaux à section rectangulaire ou carrée, réalisés en béton armé. Leurs dimensions ont été déterminées en fonction du débit d'eau à évacuer, conformément aux résultats du dimensionnement hydraulique basé sur la formule de Manning Strickler.

- Les ponts et viaducs :

Ces ouvrages doivent être dimensionnés pour résister à des crues centennales, ce qui implique que leurs dimensions doivent satisfaire aux exigences hydrauliques correspondantes.

$$Q_{100} < Q_s$$

Q_{100} : Débit de crue centennal (débit d'apport) en m^3/s .

Q_s : Débit de saturation de l'ouvrage en m^3/s .

b) Critère de dimensionnement à respecter :

- L'ouvrage doit évacuer le débit de crue correspondant.
- Le régime de ruissèlement est gravitaire $H > h_{critique}$ tq $h_{critique} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \times B}}$ pour assurer un écoulement fluvial (régime fluvial).
- La hauteur d'eau correspondante à ce débit ne doit pas dépasser 80 % de la hauteur de l'ouvrage. (Selon la norme SNTF hydraulique drainage).
- La pente des ouvrages doit être limitée (Pente minimale $I = 1 \%$) pour éviter des vitesses trop élevées.

IV.4.1. Le débit de saturation

Le débit de saturation est déterminé en vérifiant que le débit de crue centennale à évacuer reste inférieur à la capacité maximale de l'ouvrage. La méthode de **Manning-Strickler** permet d'estimer cette capacité hydraulique lorsque l'ouvrage fonctionne à pleine section (en saturation).

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

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

Où :

I : Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).

R_h : Rayon hydraulique.

S_m : Section mouillée de l'ouvrage ($b \times H_u$) (m^2).

b : Largeur de l'ouvrage (m).

H_u : Hauteur utile (m).

P_m : Périmètre mouillé en (m).

H : Hauteur totale (m).

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

c) Vérification des conditions d'auto-curage :

1. Condition 1 : La vitesse d'écoulement $V > 1.00$ m/s et ne dépasse pas 4.00 m/s.

2. Condition 2 : Soit la vitesse d'écoulement calculée comme précédemment, à partir de $Q = 0.1Q_{ps} \rightarrow V > 0.6 \text{ m/s}$.
3. Condition 3 : Soit la vitesse d'écoulement calculée comme précédemment, à partir de $Q = 0.01Q_{ps} \rightarrow V > 0.3 \text{ m/s}$.

d) Remplissage :

Dalot: $H_r = 0.80H$ si $H \leq 2.5 \text{ m}$.

$H_r = H - 0.5$ si $H > 2.5 \text{ m}$.

Buse : $H_r = 0.75 \varnothing$ si $\varnothing \leq 1 \text{ m}$.

$H_r = \varnothing - 0.5$ si $\varnothing > 1 \text{ m}$.

IV.4.2. Dimensionnement des buses

Le dimensionnement des buses s'effectue en recourant à la formule de Manning-Strickler, où l'on établit l'équilibre entre le débit d'apport et la saturation :

Prédimensionnement : $Q_s = Q_{\max}$

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

Donc : $D = 4^{\frac{5}{8}} \left(\frac{Q_{\max(100)}}{K_s \times \pi \times \sqrt{I}} \right)^{\frac{3}{8}}$

IV.4.2.1. Application numérique

Pour le bassin versant N°08 : On prend $K_S=70$ et $I=0,005(\text{m/m})$

On a : $Q_s = Q_{\max} = 4.24 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow D = 4^{\frac{5}{8}} \left(\frac{Q_{\max(100)}}{K_s \times \pi \times \sqrt{I}} \right)^{\frac{3}{8}} = 1.461 \text{ m}$

Alors : on choisit un diamètre commercial de 1,50m

Débit à section pleine : $Q_{Ps} = K_S \times S_M \times R_H^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} = 4.55 \text{ m}^3/\text{s}$

Vitesse à pleine section : $V_{Ps} = \frac{Q_{Ps}}{S_M} = 2.57 \text{ m}^3/\text{s}$

Rapport de des débits : $R_q = \frac{Q_{\max}}{Q_{ps}} = 0.932$

D'après tableau en annexe C : Rapport des vitesses et des hauteurs ont été retenus :

Rapport des vitesses : $R_v = 1.136 \rightarrow$ la vitesse d'écoulement: $V = 2.92 \text{ m/s}$

Rapport des hauteurs: $R_h = 0.765 \rightarrow$ hateur de remplissage : $H = R_h \times D$

$$H = 0.871 \text{ m} < 0.8D = 1.2 \text{ m}$$

Tableau IV-15: la vérification des conditions d'auto-curage pour l'ouvrage busé bassin versant N°8

Les conditions	Les vérifications	R_q	R_v	V
1	$V > 1.00 \text{ m/s}$ et ne dépasse pas 4.00 m/s .	0.932	1.136	2.92
2	$Q = 0.1 Q_{ps} \rightarrow V > 0.6 \text{ m/s}$.	0.1	0.638	2.32
3	$Q = 0.01 Q_{ps} \rightarrow V > 0.3 \text{ m/s}$.	0.01	0.32	1.16

Les conditions d'auto-curage du BV N°8 sont vérifiées.

Tableau IV-16: Calculs récapitulatifs des ouvrages busés de notre projet Vérifications des conditions d'auto-curage

N° BV	PK	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	I (%)	K _s	D _{theo} (mm)	Dimensionnement de louvrage			Q _{PS} (m ³ /s)	V _{ps} (m/s)	R _q	R _v	V (m/s)	R _h	H _{remp} (m)	Condition d'auto-curage		
						Type	N o m b r e	Ø (mm)								1m/s< V<4m/s	V>0.6 m/s	V>0.3 m/s
01	91+375	5,46	0.005	70	1606	Buse	2	1500	9.1	2.57	0.600	1.044	2.68	0.559	1.08	2.68	2.32	1.16
02	91+525	1,82	0.005	70	1064	Buse	1	1500	4.55	2.57	0.400	0.940	2.42	0.440	0.66	2.42	2.32	1.16
03	92+200	5,99	0.005	70	1663	Buse	2	1500	9.1	2.57	0.658	1.066	2.74	0.592	0.89	2.74	2.32	1.16
06	92+707	5,47	0.005	70	1607	Buse	2	1500	9.1	2.57	0.601	1.044	2.68	0.559	0.84	2.68	2.32	1.16
07	92+800	2,74	0.005	70	1240	Buse	1	1500	4.55	2.57	0.602	1.045	2.69	0.560	1.15	2.69	2.32	1.16
08	95+575	4,24	0.005	70	1461	Buse	1	1500	4.55	2.57	0.932	1.136	2.92	0.765	1.07	2.92	2.32	1.16

N.B :

- Lorsque les débits à évacuer sont faibles, il est recommandé de **remplacer les buses Ø1500 mm par des dalots de section 1,50 m × 1,50 m**, mieux adaptés aux conditions d'exploitation en milieu saharien.
- Afin de limiter les risques de colmatage par le sable et les débris solides transportés lors des crues, l'utilisation des buses de faible diamètre (Ø1000 mm et Ø1200 mm) est à éviter dans les zones sahariennes.
- Lorsque la hauteur de remblai au-dessus de la buse ne respecte pas les conditions minimales et maximales requises (0,50 m < R < 3,75 m), il est nécessaire de réaliser un chemisage de protection. Toutefois, cette solution engendre un surcoût important et demeure peu économique.
- Pour ces raisons, le recours aux dalots est généralement privilégié, car ils offrent une meilleure résistance à l'ensablement, facilitent l'entretien et réduisent les risques d'obstruction.

IV.4.3. Dimensionnement des dalots

Les dimensions des dalots sont obtenues en écrivant égalité de débit des crues et le débit de saturation ;

$$Q_s = Q_{max}$$

- Les calculs hydrauliques doivent être effectués pour un taux de remplissage de 75 %, soit une hauteur d'eau $h = 0,75H$.
- Dans le cadre de notre projet, les dalots sont réalisés en béton, avec une rugosité hydraulique $K_s = 70$.

Les dalots présentent les caractéristiques suivantes :

- B : largeur intérieure nette du cadre (m).
- H : hauteur intérieure nette (m).
- $0,8H$: hauteur de remplissage considérée (m).
- R_h : rayon hydraulique (m).

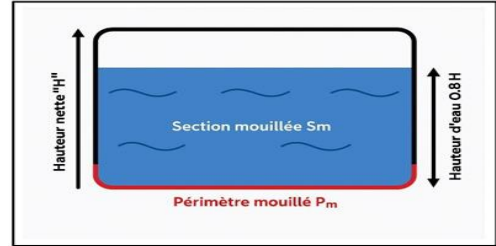


Figure IV-6: Ouvrage hydraulique

⇒ En utilisant la formule de MANNING STRICKLER : $Q_s = K_s \times S_m \times R_h^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$

Avec : $S_m = 0,8 \times H \times B$ et $R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{0,8 \times H \times B}{1,6H + B}$

On parvient au calcul itératif suivant : $H = H_0 \times \left(\frac{1 + 1,6H_i}{0,8 \times B} \right)^{\frac{2}{5}}$ avec $H_0 = \left(\frac{Q_{max}}{K_s \times I^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{5}{2}}$

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

⇒ Vérification du régime d'écoulement : $H_u = 0,8H_t > h_c = \left(\frac{Q_{max}}{g \times b^2} \right)^{\frac{1}{3}}$ et $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Tableau IV-17: : Dimensions des ouvrages de drainage pour la Ligne Ghardaïa – El Ménéa de PK86 +106 AU PK97+000

N° BV	PK	Q_{100}	I	K_s	Dimensionnement de l'ouvrage		$Q_{PS} > Q_{100}$	V_{ps}	V_{sat}	H_c	Condition d'auto curage		
					Type	$B \times H$ (m×m)					1m/s < V < 4m/s	V > 0.6 m/s	V > 0.3 m/s
04	89+279	10,29	0.005	70	Dalot1	3×2	18.387	4.09	2.29	0.777	2.29	2.615	1.307
05	94+965	7,86	0.005	70	Dalot1	3×2	18.387	4.09	1.75	0.777	1.75	2.073	1.073

IV.4.4. Zones Marécageuses

Pour notre tronçon, nous avons fait la remarque suivante : dans la majorité des cas le terrain était plat (du moins dans la partie du tracé de la voie) et par conséquent marécageux (zone inondable), ce qui nous poussés à prendre les mesures suivantes :

- On est obligés de passer avec un profil en remblais.
- Ajouter des buses d'équilibre.

- La mise en œuvre du matériau drainant.

Ces solutions permettent d'améliorer les caractéristiques de drainage, et augmenter la capacité de support des terrains de fondation des remblais.

- **Buses d'équilibre** : Les buses d'équilibre ont pour rôle principal d'équilibrer les quantités d'eaux de chaque côté de la ligne ferroviaire.
- **Tapis drainant** :

Définition : est une couche de matériaux à forte perméabilité mis en place pour drainer un pied de talus ou un barrage en terre. La mise en œuvre du matériau drainant est la suivante :

- On considère pouvoir utiliser un matériau granulaire concassé
- Devra être précédé de l'application d'un géotextile avec des fonctions de renforcement dans la fondation.
- Dans le contact du matériau drainant avec les matériaux de remblai on devra mettre un géotextile de séparation.

Les caractéristiques de la Géotextile d séparation :

- Masse surfacique $> 300 \text{ g/m}^2$.
- Résistance au poinçonnement statique CBR $> 3.5 \text{ kN}$.
- Résistance à la traction $> 20 \text{ kN/m}$.
- Déformation à l'effort de traction maximale $> 80\%$.

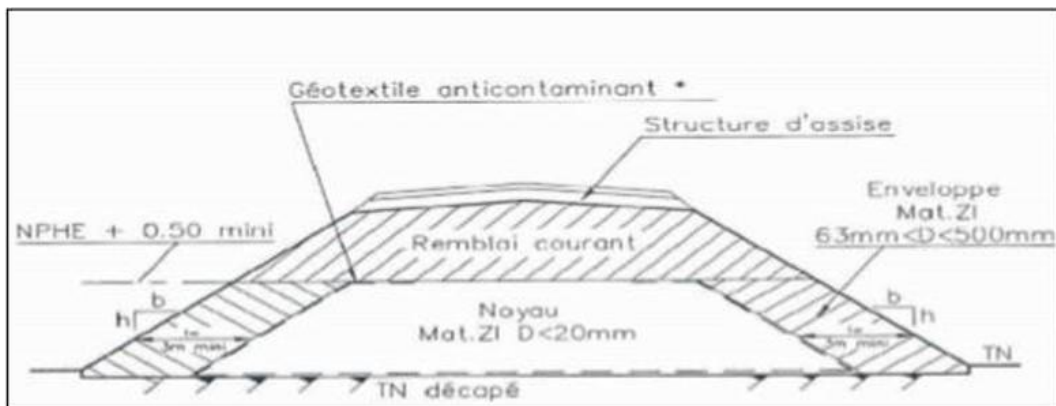


Figure IV-7: profile type de la zone inondable

IV.4.5. Dimensionnement des ouvrages longitudinaux

Les eaux de ruissellement en provenance des talus et terrains adjacents sont collectées et dirigées vers la plateforme ferroviaire par un dispositif de drainage longitudinal, assuré par des fossés implantés à des niveaux appropriés.

Ces derniers orientent les écoulements vers les ouvrages hydrauliques prévus ou les lignes d'eau existantes.

L'analyse des surfaces à drainer a été menée à partir des profils en travers et des caractéristiques topographiques du terrain naturel concerné par le projet. Le dimensionnement des fossés repose sur les hypothèses suivantes :

- En zones de déblai, la pente des fossés suit celle du profil en long, avec un tracé trapézoïdal et une inclinaison des talus de H/V (1:1).

Le débit à évacuer, noté Q_a , résulte de la somme des apports de la plateforme (Q_{pf}) et des talus (Q_t) : $Q_a = Q_{pf} + Q_t$

Les cas les plus défavorables sont pris en compte, notamment ceux impliquant des remblais ou déblais de grande longueur et de hauteur importante.

Chaque débit est déterminé en utilisant la **méthode rationnelle** :

La formule	Paramètres
$Q = 0.278 \times Cr \times I \times A$	Q : débits de crue correspondant au bassin versant, avec une période de retour T(m3/s). C : le coefficient de ruissèlement. I : l'intensité de pluie (mm/h). A : la surface du BV considéré : la plateforme/le talus (Km².)

Les fossés :

On peut déterminer le calcul hydraulique des fossés par la formule de **Manning Strickler** :

La formule	Les paramètres
$Q_s = K_s \times S_m \times R h^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{I}$	K_s: coefficient de rugosité, le béton= 70 $R_h = s_m/p_m$ $S_m = (b + z \cdot h) \cdot h$ $P_m = b + 2h(1 + z^2)^{\frac{1}{2}}$ Avec : z est la pente des berges.

IV.4.5.1. Application sur notre projet

Le dimensionnement des systèmes de drainages longitudinaux est calculé pour une période de retour de 10 ans. ($a= 25$ et $b=0.82$).

Tableau IV-18: Les caractéristiques du remblai et déblai

Cas	Cas remblai	Cas déblai
Longueur (m)	2282.31	794.44
Hauteur du talus (m)	5.653	17.4

Tableau IV-19: Calcul du débit

Plateforme						
Cas	Cr	Pente(m/m)	A(Km ²)	Tc(h)	I(mm/h)	Qpf (m ³ /s)
Remblai	0.9	0.04	0.018258	0.08580	150.57	0.688
Déblai	0.9	0.04	0.006355	0.05062	232.09	0.369
Talus						
Remblai	0.7	2/3	0.012902	0.0176237	551.31	1.38
Déblai	0.7	2/3	0.013823	0.0182418	535.95	1.44
Qtot(m ³ /s)	Remblai : 2.068m ³ /s Déblai : 1.809m ³ /s					

Dimensionnement du fossé :

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

Tableau IV-20: Dimensionnement du fossé proposé

b (m)	B (m)	h(m)	z(m/m)	Sm(m ²)	Pm(m)	Rh(m)	Ks	I(m/m)	Qs (m ³ /s)
0.7	2.8	0.7	3/2	1.225	3.224	0.37996	70	0.005	3.181

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

$$Q_a < Q_s : 2.068 \text{ m}^3/\text{s} < 3.181 \text{ m}^3/\text{s} \quad \checkmark \text{Ok}$$

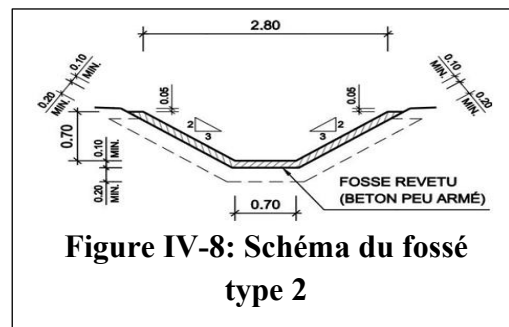


Figure IV-8: Schéma du fossé type 2

En conclusion, le type des fossés adoptés pour notre projet de forme trapézoïdal type 2 avec (b = 0.7m, h = 0.7 m, z = 3/2).

IV.5. Conclusion

Ce chapitre a porté sur l'analyse hydrologique et hydraulique, élément fondamental pour garantir la stabilité et la sécurité du projet. Il a permis d'évaluer les caractéristiques des bassins versants, d'estimer les débits d'écoulement, et de dimensionner les ouvrages hydrauliques transversaux et longitudinaux. À travers cette étude, les notions acquises au cours de notre formation, notamment en hydraulique appliquée, ont été mises en pratique. Elle a également mis en évidence l'importance d'une approche méthodique dans le dimensionnement des ouvrages, afin de limiter les risques d'inondation et d'assurer la fiabilité et la durabilité de l'infrastructure ferroviaire, conformément aux normes en vigueur.

CHAPITRE V
ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET
GÉOTECHNIQUE

Chapitre V : ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

V.1. Introduction

L'étude géotechnique et géologique a pour but d'évaluer les propriétés physiques, mécaniques et hydrogéologiques du sol, de la roche et des formations géologiques susceptibles d'être rencontrées durant les phases de construction et d'exploitation. Elle repose sur des investigations de terrain, des essais en laboratoire et une analyse détaillée des données recueillies, afin de caractériser les matériaux en place. Les informations obtenues permettent d'estimer la capacité portante du sol, sa perméabilité, sa sensibilité à l'érosion, ainsi que d'autres paramètres essentiels pour la conception des fondations, remblais, talus et autres structures liées au projet ferroviaire. Une connaissance approfondie de ces aspects est indispensable pour garantir la stabilité, la durabilité et la sécurité des infrastructures projetées.

V.2. ÉTUDE GÉOLOGIQUE

V.2.1. Situation géographique

Le présent tracé traverse deux wilayas : celle de Ghardaïa et celle d'el Ménée. Les communes desservies sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Tableau V-1: Wilayas et communes desservies

Wilayas	Communes desservies
Ghardaïa	Metlili – Seb Seb – Mansoura
El Ménée	Hassi El F'hal – El Ménée – Hassi El Gara

Le tracé est délimité au nord par la wilaya de Laghouat, à l'Est par la wilaya de Ouargla, à l'Ouest par la wilaya d'el bayadh et Timimoune et au Sud par la wilaya de Ain Salah.

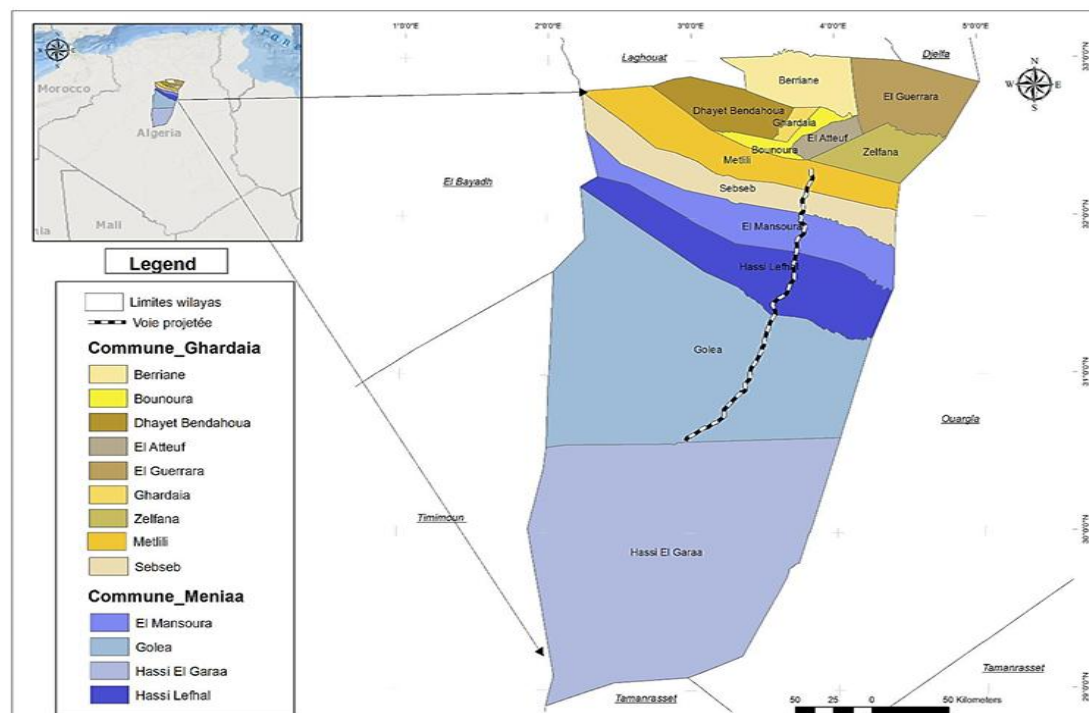


Figure V-1: Localisation géographique du tracé Ghardaïa – el Ménée

V.2.2. Géologie

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.

NB : voir le plan géologique.



Figure V-2: Les formations géologiques traversées par le tracé

V.2.3. Géomorphologie

Le tracé étudié s'étend de Metlili à El Goléa en traversant la Chebka du M'Zab sur environ 203 km, où il franchit plusieurs oueds. Cette région correspond à un plateau rocheux crétacé fortement découpé par des vallées irrégulières orientées vers l'est. Il est principalement

constitué de calcaires durs du Turonien, avec des formations du Sénonien composées de calcaires marneux et d'argiles contenant du gypse et de l'anhydrite.

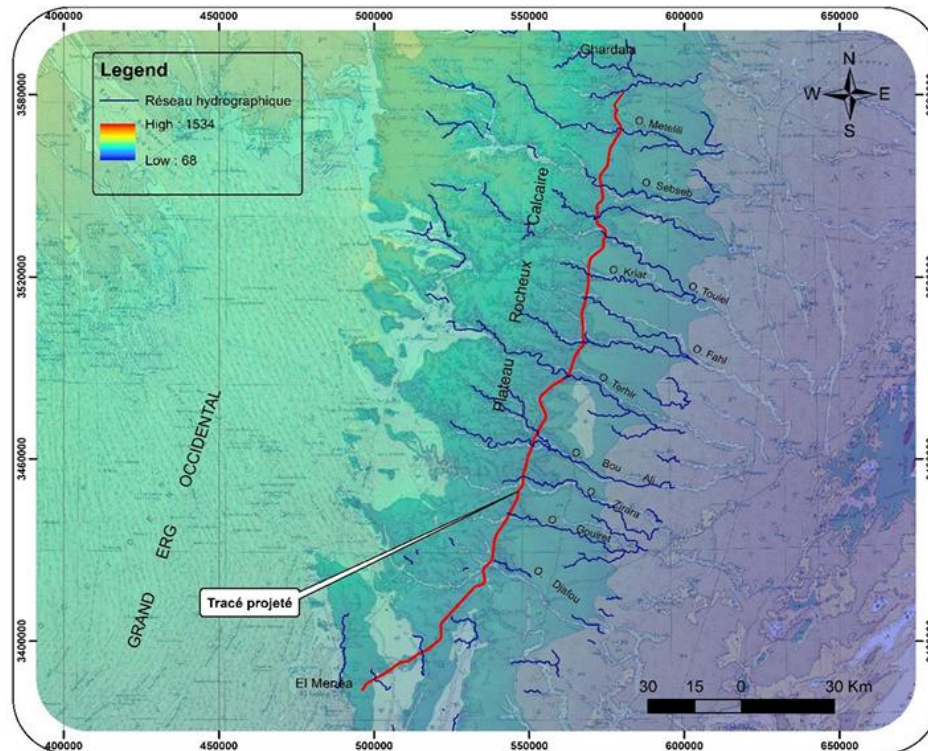


Figure V-3: Différents ensembles morphologiques de la zone d'étude superposés sur la carte géologique d'Algérie 1/500 000

V.2.4. Géologie locale

V.2.4.1. Sectorisation selon les cartes géologiques :

- Du PK 85+700 au PK 87+725 (Cs) : Le Sénonien (Crétacé supérieur) est formé soit par des calcaires marneux à argile (Sénonien supérieur), soit par des argiles marneuses jaunâtres et rouges, à intercalations de bancs importants de gypses et d'anhydrites (Sénonien inférieur).
- Du Du PK 87+725 au PK 94+200 (Ct) : Le Turonien est composé de calcaires massifs durs : blancs grisâtres au centre.
- Du PK 94+200 au PK 95+000 (qt) : le Quaternaire est formé d'alluvions et de sables plus au moins grossiers, argileux, remplissant les bas-fonds des vallées des oueds.
- Du PK 95+000 au PK 99+300 (Ct) : Le Turonien est composé de calcaires massifs durs : blancs grisâtres au centre.

V.2.4.2. Sectorisation géologique selon la campagne géotechnique :

- Du sondage F-21 (PK 83+446) au sondage F-22 (PK 94+920) : Conglomérat à matrice sablo-argileuse légèrement gypseuse renfermant des morceaux de grès et calcaire. Cette formation peut être attribuée au Crétacé supérieur (Sénonien).
- Du sondage F-24 (PK 96+500) au sondage F-27 (PK 129+200) : Une formation d'encroûtement calcaire d'environ 6 mètres qui surmonte des calcaires gréseux vacuolaires. Cette formation peut être attribuée au Crétacé supérieur (Turonien).

V.2.5. Principales contraintes géologiques qui peuvent être rencontrées le long du tracé

V.2.5.1. Risque d'inondation

La morphologie, le réseau hydrographique dense ainsi que le climat aride qui caractérise la zone d'étude, font que cette dernière présente une vulnérabilité face au risque d'inondation.

Tableau V-2: Zones à risque d'inondation

PK	Type d'inondation	Risque	Protection	Dimension
82+100 au 85+575	Traversée d'Oued Lefhal.	Ecoulement important.	Protection en gabionnage sur la partie amont et Protection de la plateforme avec matériau zone inondable (sur une hauteur NPHE +0.5 m).	Protection de la plateforme avec matériaux zone inondable sur une longueur =3 167 m.
88+100 88+425	Traversée d'une zone basse (dépression topographique vérifiée par la forme des courbes topographiques).	Stagnation des eaux (eau permanente).	Protection de la plateforme avec matériaux zone inondable.	Purge et substitution des terrains remaniés. Traitement des bases des remblais par matériaux en zone humide. (325 m).
95+550 97+750	Traversée d'une plaine d'inondation d'Oued Tghir.	Ecoulement important.	Protection en gabionnage sur la partie amont et Protection de la plateforme avec matériaux zone inondable (sur une hauteur NPHE +0.5 m).	Protection de la plateforme avec matériaux zone inondable (sur une hauteur NPHE +0.5 m) =2062 m.

V.2.5.2. Risque d'ensablement

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

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

- Piégé dans le couvert végétal ;

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

V.3. ETUDE GEOTECHNIQUE

V.3.1. Introduction

Les données géologiques recueillies doivent être complétées par des études géotechniques précises afin de mieux comprendre le comportement du sol face aux sollicitations extérieures.

À ce stade de l'étude, l'objectif est de déterminer les caractéristiques fondamentales des sols, telles que :

- La granulométrie,
- La sédimentométrie,
- Les limites d'Atterberg,
- Les essais chimiques,
- La teneur en eau naturelle.

Ces informations permettent de classer les sols et de déterminer la classe de la plateforme, nécessaire pour le dimensionnement de la structure de chaussée.

En plus des essais d'identification, d'autres essais mécaniques sont réalisés, notamment :

- Les essais de compression simple,
- Les essais de cisaillement,
- Les essais triaxiaux,
- Les essais œdométriques.

Ces essais permettent de :

- Vérifier la stabilité des ouvrages en terre,
- Estimer les tassements sous les remblais,
- Définir les pentes appropriées pour les talus de déblais et de remblais.

Enfin, des essais in situ sont effectués afin de déterminer la portance des sols.

V.3.2. Programme d'investigation géotechnique

Le programme d'investigation géotechnique proposé pour le présent projet se concentre sur l'analyse du tracé projeté de la ligne ferroviaire reliant Ghardaïa à El Ménéa. Ce programme est divisé en deux lots : le tracé et l'ouvrage.

V.3.2.1. Lot tracé

Interprétation des résultats des essais in-situ :

Tableau V-3: Interprétation des résultats des essais in-situ

Forage	Profondeur (m)	Description du sol / roche	État
F-21 GH-M 	0.00 – 12.00	Conglomérat à matrice sablo-argileuse, légèrement gypseuse, vacuolaire, contenant des fragments calcaro-gréseux, généralement récupéré sous forme broyée	Altéré
F-22 GH-M 	0.00 – 10.00	Conglomérat à matrice sablo-argileuse, légèrement gypseuse, vacuolaire, avec des éléments de grès et de calcaire, souvent broyé	Altéré
F-24 GH-M 	0.00 – 4.50	Encroûtement calcaire tufacé, légèrement gypseux, induré, de couleur beige-grise, sec, avec fragments de grès et calcaire	Compact
	4.50 – 6.00	Calcaire gréseux vacuolaire, beige, sain et dur	Sain
	6.00 – 12.00	Calcaire gréseux vacuolaire, altéré avec passages plus sains	Hétérogène
F-25 GH-M 	0.00 – 6.00	Encroûtement calcaire tufacé, légèrement gypseux, induré, beige-gris, sec, avec fragments de grès et calcaire	Compact
	6.00 – 7.00	Calcaire gréseux peu vacuolaire, sain et dur	Sain
	7.00 – 12.00	Calcaire gréseux altéré avec passages plus résistants	Hétérogène
F-27 GH-M 	0.00 – 6.00	Dépôts alluvionnaires : sables argileux, graveleux et caillouteux	Meuble
	6.00 – 7.00	Calcaire gréseux vacuolaire, beige, sain et dur	Sain
	7.00 – 12.00	Calcaire gréseux vacuolaire, altéré avec niveaux plus résistants	Hétérogène

⇒ Les reconnaissances géotechniques ont mis en évidence un terrain majoritairement constitué de calcaires gréseux et d'encroûtements calcaires indurés, accompagnés localement de conglomérats sablo-argileux et de dépôts alluvionnaires. Le substratum présente un caractère globalement moyennement rocheux avec des niveaux localement altérés.

V.3.2.2. Description lithologique à partir des puits de reconnaissance

Tableau V-4: Interprétation géotechnique

Puits	PK	Profondeur (m)	Description du sol / roche
PU 14 GH-M 	84+572	0.00 – 0.20	Tout-venant de remblai (REG), composé de sables graveleux argileux, de couleur rouge brunâtre, avec fragments de grès et calcaire
		0.20 – 0.35	Dalle calcaire crayeuse, beige blanchâtre, peu vacuolaire, moyennement dense et sèche
PU 15 GH-M 	90+598	0.00 – 0.25	Tout-venant de remblai (REG), sable graveleux argileux avec fragments de grès et calcaire
		0.25 – 0.50	Dalle calcaire crayeuse, peu vacuolaire, moyennement dense et sèche
PU 16 GH-M 	95+024	0.00 – 0.10	Tout-venant de remblai (REG), sable graveleux argileux avec fragments de grès et calcaire
		0.10 – 0.15	Dalle calcaire crayeuse, beige blanchâtre, peu vacuolaire, moyennement dense et sèche
PU 17 GH-M 	97+750	0.00 – 0.10	Tout-venant de remblai (REG), sable graveleux argileux avec fragments de grès et calcaire
		0.10 – 0.50	Dalle calcaire crayeuse, peu vacuolaire, moyennement dense et sèche

Les différents puits montrent une structure similaire :

- ✓ Une couche superficielle de remblai (REG) : matériau meuble, hétérogène, faible portance, sensible aux tassements.
- ✓ Reposant sur une dalle calcaire crayeuse : plus compacte et stable, portance moyenne à bonne

V.3.2.1. Rock Quality Designation (RQD)

Le RQD (Rock Quality Designation) est un indice introduit par Deere et ses collaborateurs en 1967. Il permet d'évaluer de manière quantitative le degré de fracturation d'une masse rocheuse, à partir de l'analyse des carottes issues de forages.

Cet indice correspond au pourcentage de fragments de roche intacts ayant une longueur supérieure à 10 cm, rapporté à la longueur totale du forage.

Tableau V-5: récapitulatif des résultats RQD

Sondage	Passe (m)	% RQD	Observation
F-24 GH-M	4.50 – 8.00	75	Qualité moyenne
F-24 GH-M	8.00 – 12.00	80	Bonne qualité
F-25 GH-M	6.00 – 10.00	64	Qualité moyenne
F-27 GH-M	6.00 – 9.00	63	Qualité moyenne
	9.00 – 12.00	82	Bonne qualité

Globalement, les valeurs de RQD (Rock Quality Designation) varient entre 63 % et 82 %, ce qui correspond à une qualité de massif rocheux allant de **moyenne à bonne**.

- Les zones avec $RQD \geq 80 \%$ (F-24 et F-27 en profondeur) indiquent une roche peu fracturée et plus compétente.
- Les valeurs comprises entre 60 % et 75 % traduisent une fracturation modérée, donc une qualité moyenne.
- On observe une amélioration de la qualité avec la profondeur pour certains sondages (notamment F-24 et F-27).

En synthèse : **le massif présente une hétérogénéité modérée**, avec une tendance à de meilleures conditions géomécaniques en profondeur.

V.3.2.2. Interprétation des résultats des essais de pénétromètre dynamique

Les essais de pénétration dynamique type A ont été implanté le long du tracé, les résultats des essais sont présentés sur un référentiel, résistance dynamique R_d en fonction de la 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 V-6: Les valeurs de pénétration dynamique

N° PDL	Profondeur (m)	Variation de R_p (bars)	Observation
PDL-14	0.00 – 0.80	$114 < R_p < 1830$	Refus à 0.8 m ($R_p = 1824$ bars)
PDL-15	0.00 – 0.40	$720 < R_p < 1830$	Refus à 0.4 m ($R_p = 1824$ bars)
PDL-16	0.00 – 0.40	$266 < R_p < 1830$	Refus à 0.4 m ($R_p = 1824$ bars)

Les essais PDL réalisés (PDL-14, PDL-15 et PDL-16) se caractérisent par un refus très rapide, atteint entre 0,40 m et 0,80 m de profondeur, avec des valeurs de résistance de pointe R_p très élevées (≈ 1824 bars) ;

- Ces résultats traduisent la présence d'un horizon très résistant dès la surface, compatible avec une roche compacte à très compacte ou très peu altérée.
- La montée rapide de R_p jusqu'au refus indique une faible déformabilité du milieu.

V.3.2.3. Interprétation des résultats des essais pressiométrique

Tableau V-7: Les caractéristiques mécaniques mesurée dans les forages

SP	E (MPa)	PL (MPa)	E/PL	Etat de consolidation	Catégorie selon RPA
SP-06	150 – 344	4.85 – 4.87	30.93 – 70.64	Très serré	S2

Le site SP-06 présente un terrain de très bonne qualité géotechnique, caractérisé par :

- une forte capacité portante.
- une faible déformabilité.
- un comportement proche d'un substratum rocheux dès faible profondeur.

V.3.3. Essais Au Laboratoire

- ✓ Les résultats géotechniques obtenus montrent des caractéristiques globalement favorables du terrain, avec une compacité et une résistance satisfaisante pour le support de la plateforme ferroviaire.
- ✓ Les paramètres chimiques caractérisent des sols de classe d'exposition XA2 correspond à des environnements d'agressivité chimique modérée vis à-vis du béton.

Les précautions nécessaires à prendre pour la confection du béton au contact de ces sols sont :

- -Ciment résistant aux sulfates.
- -La teneur minimale en ciment : 320 kg/m³.
- -Le rapport (E/C) maximal : 0,50.
- -La classe de résistance minimale : C30/37

Tableau V-8 : Récapitulatif des paramètres géotechniques à partir des puits de reconnaissance

Puit N°	Pr (m)	Masse volum	%< 80 mm	%< 50 mm	%< 5 mm	%<2 mm	%< 0.2 mm	%< 0.0 8m m	% Wl	% Wp	Ip	γd max (t/m3)	Wopt (%)	γd max (t/m3)	Wop t (%)	Indice CBR % Immédi at	VBS g/100 g
												Proctor modifié		Proctor normal			
Puit -14	0.00-0.20	-	100	100	64,66	59,64	55,83	11, 04	NM	NM	NM	-	-	1,86	10,8	63,99	0,28
	0.20-0.35 (roche)	2,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Puit -15	0.00-0.25	-	100	100	69,65	67,01	55,87	9,2 8	NM	NM	NM	1,92	6,4	-	-	61,73	0,18
	0.25-0.35 (roche)	2,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Puit -16	0.00-0.10	-	100	92	64	60	46	16	27	21	6	1,86	8,8	-	-	62	-
Puit -17	0.00-0.10	-	100	82	57	51	37	13	26	NM	NM	1,88	10,3	-	-	134	-

NM=Non Mesurable.

Tableau V-: Classification géotechnique des matériaux selon le GTR et l'UIC

PUITS	14	15	16	17
GTR	B4 ; Graves argileuses	B3 ; Graves silteuses / R ; roche	B5 ; sables et graves très silteux	B5
UIC719R	QS2	QS2	QS1	QS2

Tableau V-5: Récapitulatif des paramètres géotechniques à partir des sondages

Sondage N°	Pr (m)	PK	<2 m m	< 0.06 3 mm	Sedim % <0.00 1 mm	% Sr	γ_h (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	% Wn	% Wl	% Wp	Ip	Φ' (°)	C' Bar)	Rc Mpa	Masse volumique (t/m ³)	Pc (bar)	Cc (%))	Cg (%))	Sulfate SO4	CaCO3	Chlorure NaCl	MO
F-21 GH-M	4.00-4.10	83+446						2.43							Long - insuf					0.4	0.58	64.6	28.4
	11.80-12.0							2.39							40.1	2.58							
F-22 GH-M	4.90-5.00	94+920						2.37												0.7	0.53	51.7	22.7
F-23 GH-M	2.00-3.00	87+250																		0.3	0.41	12.93	5.7
F-24 GH-M	5.25-5.50	96+500	/	/		/	/	/		/	/	/	/	/	47.8	2.19	/	/	/	/	/	/	/
	8.00-8.20		/	/		/	/	/		/	/	/	/	/	47.6	1.92	/	/	/	/	/	/	/
	9.00-9.50							2.02															

NB : Les données manquantes correspondent à des essais de laboratoire non encore réceptionnés.

RESULTATS DE L'ETUDE GEOTECHNIQUE IN SITU DE LA GARE :

Sondages carotte :

Ouvrage	Ref de sondage	PK	Coordonnées UTM WGS 84 31S		Pr (m)
			X (m)	Y(m)	
Gare Hassi Lafhal	FG 04 GH-M	86+106	566580	3496577	15

Foreuse : TEREDO, Carottier : 101 mm.



Photo prise sur site de F G-04 GH-M.

Lithologie de sondage carotté F G-04 GH-M:

Le sondage réalisé a mis en évidence la succession lithologique suivante (voir tableau ci-dessous) :

Tableau V-6: Description lithologique du sondage F G-04 GH-M

Profondeur (m)	Unité géotechnique	Description lithologique
00.00-04.20 ^m	Calcaire sain	Calcaire gréseux à conglomératique, beige à gris, sain, dur, vacuolaire.
04.20-06.00 ^m	Calcaire fragmenté	Encrouement calcaro-sablo-graveleux, blanchâtre, récupéré sous forme fragmenté.
06.00-10.00 ^m	Calcaire sain	Calcaire gréseux à conglomératique, beige à gris, sain, dur, vacuolaire.
10.00-11.40 ^m	Calcaire fracturé	Calcaire fragmenté, récupéré sous forme fragmenté.
11.40-15.00 ^m	Argile marneuse	Argile marneuse, légèrement limoneuse, rouge brique, calcareuse entre (11.40-13.00m), indurée.

Tableau V-7: Tableau récapitulatif représentant les valeurs brutes des essais S.P.T

N° Sondage	Profondeurs (m)	Nombres des coups			N ₂ +N ₃	Classification du sol selon la norme NF P94-261
		N ₁	N ₂	N ₃		
F-G 04 GH-M	01.93-02.00	Refus			Refus >50	Sol très dense (roche)
	07.90-08.00	Refus			Refus >50	Sol très dense (roche)
	12.85-13.00	Refus			Refus >50	Sol très dense (roche)



Photos des caisses de sondages de F G-04 GH-M. (0.00-15.00m)

En plus, Les essais pressiométriques Menard effectués dans le sondage SP03 montrent des valeurs du module pressiométrique **EM** comprises entre environ **106 MPa et 235 MPa**, avec des pressions limites **pLM** proches de **5 MPa**, indiquant globalement un sol de bonne à très bonne portance favorable à l'implantation des ouvrages de la gare.

Tableau V-8: Zone à risque géotechnique

Zone à risque	Description / Causes	Traitement géotechnique préconisé
Zones inondables	Zones exposées aux crues et aux débordements des oueds, provoquant un risque d'instabilité des remblais	- Dimensionnement des remblais pour assurer stabilité et durabilité - Protection par enrochements ou perrés - Mise en place d'un géotextile anti-contaminant - Utilisation de matériaux ZI jusqu'à NPHE + 0,50 m

Zones humides / stagnation des eaux	Terrain vallonné, réseau hydrographique dense et formations alluvionnaires et argileuses favorisant la stagnation des eaux	- Géotextile de séparation - Couche filtrante en matériaux granulaires (30 à 50 cm) - Réduction de la capillarité - Maintien de la portance du remblai
Risque de dissolution des gypses	Présence de sols gypseux avec teneurs en sulfates (SO_4^{2-}) > 0,5 %, pouvant entraîner une agressivité chimique et une instabilité des terrains	- Mise en place d'une géomembrane pour protéger la plateforme - Utilisation de ciments résistants aux sulfates (type SR) - Enrobage majoré des aciers - Bétons à faible perméabilité (E/C réduit) - Drainage périphérique pour limiter l'humidification du gypse
Risque d'ensablement	Phénomène généralisé sur le tracé provoquant accumulation de sable, dégradation de la voie et perturbation des ouvrages	- Étude environnementale spécifique (phase ultérieure) - Mesures de protection et de gestion du sable à définir - Surveillance et entretien régulier des infrastructures

Tableau V-9: Exigences constructives et optimisation des matériaux de remblais

Élément	Exigences / Restrictions	Optimisation / Recommandations
Exécution des remblais	Réalisation en couches élémentaires superposées Taille max des blocs $\leq 2/3$ de l'épaisseur de la couche Blocs incompatibles à fractionner ou éliminer	Assurer une mise en œuvre homogène pour garantir la stabilité et limiter les vides
Nature des matériaux	Autorisés : sols argileux, limoneux sableux. Interdits : argiles très plastiques (A4), roches évolutives (gypses, argilites, schistes)	Favoriser des matériaux propres et stables pour la base des remblais et la PST
Réutilisation des déblais	Possible selon GTR sous conditions. Respect strict de l'état hydrique des sols	Optimiser les ressources locales tout en respectant les normes de réemploi
Compactage et portance	$\gamma_d \geq 95$ % OPM $\text{EV2} \geq 45$ MN/m ² (sols fins) $\text{EV2} \geq 60$ MN/m ² (sableux et graveleux)	Contrôle qualité strict du compactage pour garantir la performance mécanique
Zones inondables	Matériaux granulaires peu sensibles à l'eau $\text{VBS} \leq 0,1$ Passant à $80 \mu\text{m} \leq 5$ % Conformité ST590 fiche n°7	Assurer une bonne résistance à l'eau et limiter la dégradation hydraulique
Couche de forme	Sols de bonne qualité (classes B3, CiBi, D2, D3, R21, R41 selon GTR) Passant à $80 \mu\text{m} \leq 12$ % Conformité ST590 fiche n°4	Optimiser la portance et la durabilité de la structure routière

Matériaux globaux utilisables	Classes GTR : CiB3, D3, R21, R22, R41, R42, R61, R62 Conformité ST590 fiche n°7	Sélection stricte des matériaux pour assurer performance et durabilité
--------------------------------------	--	--

V.3.4. Réutilisation des matériaux de déblais

Les matériaux rencontrés le long du tracé sont constitués principalement de calcaires marneux à argiles, avec des intercalations de gypse et d'anhydrite. Ces terrains sont classés comme semi-rocheux à rocheux.

Selon le Guide Technique pour la Réalisation des Remblais et des Couches de Forme (GTR), ces matériaux peuvent être assimilés à la **classe R2** (matériaux rocheux calcaires), notamment les calcaires marneux et les niveaux calcaires rencontrés.

Cependant, la présence de marnes, de gypse et d'anhydrite confère à ces matériaux une sensibilité à l'eau et un risque de dissolution, ce qui peut altérer leurs caractéristiques mécaniques.

Par conséquent, la réutilisation de ces matériaux en remblais est possible, mais doit respecter les recommandations du GTR, notamment :

- un tri des matériaux lors de l'extraction,
- l'élimination ou limitation des niveaux gypseux,
- la mise en œuvre d'un drainage efficace,
- et un contrôle rigoureux du compactage.

V.4. Conclusion

L'étude géotechnique a permis d'identifier les caractéristiques des sols rencontrés, composés principalement de calcaires marneux, d'argiles et de niveaux gypseux. Ces terrains présentent une hétérogénéité et une sensibilité à l'eau, pouvant influencer leur comportement.

Des mesures adaptées, telles que le contrôle de la réutilisation des matériaux et l'amélioration du drainage, sont nécessaires pour assurer la stabilité des ouvrages.

Un suivi géotechnique reste indispensable durant la réalisation du projet afin de garantir sa sécurité et sa durabilité.

CHAPITRE VI
ASSISE FERROVIARE

Chapitre VI : ASSISE FERROVIARE

VI.1. Introduction

L'assise ferroviaire représente l'ensemble des couches situées sous la voie et destinées à assurer la stabilité de l'infrastructure ferroviaire. Elle joue un rôle fondamental dans la répartition des charges, la limitation des déformations et la pérennité de la voie.

La conception de cette structure s'appuie sur les résultats des études géotechniques, qui permettent de caractériser les sols en place et de déterminer les solutions adaptées aux conditions du terrain. Ce chapitre est consacré à la présentation des principaux composants de l'assise ferroviaire, notamment le ballast, la sous-couche et la plateforme ferroviaire.

VI.2. Le ballast

VI.2.1. Définition

Le ballast représente les cailloux placés entre les traverses servent à stabiliser la voie ferrée ils forment une couche épaisse qui répond aux exigences suivantes :

- Facilite le drainage et empêche la voie d'être inondés.
- Transmettre des efforts engendrés par le passage des trains au sol, sans que celui-ci ne se déforme par tassement.
- Absorbe les vibrations.
- Maintient la dilatation thermique à un niveau minimum.
- Empêche les plantes de pousser par-dessous.

VI.2.2. Caractéristiques de ballast

- Pierre rocheuse dure concassée, résistance à la compression : $\geq 12\text{Kn}$
- Résistance à la compression : $\geq 12\text{Kn} / \text{cm}^2$ Maille : 22,4/63 mm
- Limite de maille entre 31,5-50 mm : 50%
- Résistance à l'érosion avec le coefficient Los Angeles : $\leq 15\%$
- Résistance à l'usure Micro deval : $\leq 6\%$.
- La granularité du ballast se situe approximativement dans la classe 25 à 50 mm (pierre cassée)

VI.3. Sous couche

La sous-couche permet la transition entre la couche de ballast et la plateforme, la sous couche peut être mono ou multicouche.

Elle comprend du haut vers le bas ;

Une **couche sous ballast** en grave propre bien gradué (0/31.5) avec une valeur de propreté $V_{bg} \leq 1$ et un coefficient de forme $A \leq 25$.

Puis une **couche de fondation** 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.

Dans le cas de mauvais sol et enfin, s'il y a lieu une couche anti contaminatrice (Cette couche est constituée de sable propre d'une épaisseur minimale de 15 cm. Elle sert à empêcher les remontées d'éléments fins depuis la plate-forme vers les couches d'assises supérieures) complété par des feuilles de géotextile ;

VI.3.1. Rôle de la sous couche

La sous couche assure plusieurs fonctions comme :

- Évacuation des eaux de pluie.
- Protection contre l'érosion et le gel.
- Assure un rôle de séparateur contre la contamination du ballast par les matériaux de la plateforme.
- La sous-couche ayant une pente transversalement en toit (4% de chaque côté), vers des dispositifs d'assainissement longitudinaux.

VI.4. La plate-forme

VI.4.1. Définition

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

Pour évaluer la qualité de la plateforme, il convient :

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

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 $V_{bg} \leq 2$. Le taux de compactage et le module de déformation minimale sont : $\gamma_d \geq 100\%$ de l'OPM, $EV2 \geq 80$ MN/m².

VI.4.2. Classification des sols pour la plateforme

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

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

Les eaux de pluie sont évacuées correctement de la plateforme et les dispositifs longitudinaux de drainage sont en bon état de fonctionnement. Si l'une au moins de ces trois conditions n'est pas remplie, les conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont réputées mauvaises. On distingue, selon que les conditions ci-dessus soient bonnes ou mauvaises et selon les modalités de tableau, les quatre classes de qualité QSi de sols ci-après :

- ▶ QS0 : Sols "impropres" à la réalisation d'une plateforme correcte et nécessitant certaines mesures confortatives, (remplacement du matériau sur une certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation de géotextiles, renforcement par pieux, etc.)
- ▶ QS1 : Sols médiocres acceptables tels quels, dont on doit toujours se préoccuper du bon drainage. Ces sols peuvent, éventuellement, être transformés en sols de meilleure qualité par un traitement approprié, (traitement aux liants).
- ▶ QS2 : Sols moyens.
- ▶ QS3 : Bons sols.

VI.4.3. Les classes de la portance de la plateforme

La portance d'une plate-forme dépend :

- ▶ De la qualité du sol constituant le corps de remblais ou du sol en place du fond du déblai.
- ▶ De la qualité et de l'épaisseur de la couche de forme (lorsque cette dernière existe).

On peut distinguer, en fonction des paramètres ci-dessus les trois classes de portance de plate- forme suivante :

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

Tableau VI-1: la classe la portance de la plate-forme (normes UIC 719R p.34)

Classe de qualité du sol	Classe de portance de la plateforme	Couche de forme	
		Qualité	Epaisseurs min e_r (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	-

▶ Plate- forme proposée :

Compte tenu de ce qui précède, notamment de la classe des qualités du sol support le plus souvent rencontré le long du tracé est QS2, ainsi que les prescriptions données par les UIC nous

conseillons d'opter pour une plateforme de type P3 (plateforme bonne) dimensionnée préalablement pour un tel type de sol (QS2).

– **Couche de forme :**

En ce qui concerne la nécessité d'obtenir une plate-forme offrant une qualité de support de type P3, pour les matériaux classés QS2, une couche de forme a été choisie avec une qualité de sol QS3, d'une épaisseur de 35 cm.

– **Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise :**

Ces épaisseurs minimales calculées sont valables pour un espacement de traverses de 0.6 m et de la charge maximale d'essieu de 22,5 t (UIC 719R p57) :

L'épaisseur de la couche d'assise (e = épaisseur du ballast + épaisseur du sous couche) est donnée par la formule suivante :

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

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

Tableau VI-2: Le tableau détaillé, conforme à la norme UIC 719R

Paramètre	Valeur
E	➤ E = 0,70 m pour les plateformes de classe de portance P1. ➤ E = 0,55 m pour les plateformes de classe de portance P2. ➤ E = 0,45 m pour les plateformes de classe de portance P3.
a	➤ a = 0 m pour les groupes UIC 1 et 2 (ou ligne V > 160 km/h quel que soit le groupe UIC). ➤ a = - 0,05 m pour les groupes UIC 3 et 4. ➤ a = - 0,10 m pour les groupes UIC 5, 6. ➤ a = - 0,15 m pour les groupes UIC 7, 8, 9 sans voyageur.
b	➤ b = 0 m pour les traverses bois de longueur 2,60 m. ➤ b = (2,5 – 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	➤ $c = 0$ m pour un dimensionnement normal. ➤ $c = -0,10$ m à titre exceptionnel si les conditions de travail sont difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autres que « 7, 8, 9 » sans voyageur. ➤ $c = -0,05$ m à titre exceptionnel pour des opérations sur le groupe UIC « 7,9 » sans voyageurs.
d	➤ $d = 0$ m lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 KN (≤ 20 t). ➤ $d = +0,05$ m lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN ($\leq 22,5$ t). ➤ $d = +0,12$ m lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 KN (≤ 25 t).
f	➤ $f = 0$ pour toutes les lignes parcourues à $V \leq 160$ km/h et pour les plates-formes de portance P3 des lignes parcourues à grande vitesse. ➤ $f = +0,05$ m pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse. ➤ $f = +0,10$ m pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse.
g	➤ $g = +$ géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2. ➤ $g = 0$ (pas de géotextile) lorsque la couche de forme est en sol QS3.

VI.5. Application au projet

Tableau VI-3: Dimensionnement de la couche d'assise

Paramètre	Valeurs(m)	Critères du choix
E	0.45	Pour une plate-forme de classe de portance P3
a	0	Pour les lignes de vitesse $V > 160$ Km/h.
b	0.13	Pour les traverses en béton de longueur $L = 2,24$ m
c	0	Pour un dimensionnement normal.
d	0.05	Pour la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN (≤ 22.5 t).
f	0	Pour une plate-forme de classe de portance P3, et ligne à grande vitesse
g	0	Pas de géotextile (la couche de forme est en sol QS3).
Epaisseur(m)	0.63	
Epaisseur adopté(m)	0.65	

Tableau VI-4: Épaisseurs des composants de la structure d'assise

Couches	Épaisseurs(cm)
Ballast	30
Sous-ballast	20
Couche de fondation	15
Couche de forme type3	35

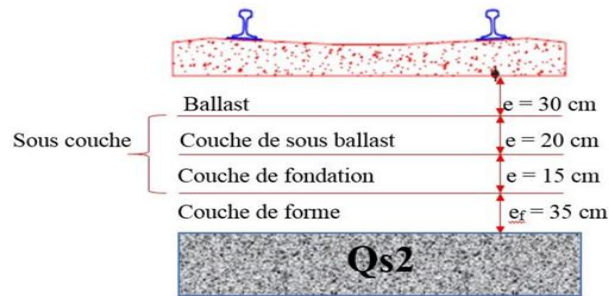


Figure VI-1: Les composants de la structure d'assise

VI.6. Conclusion

L'application des principes de dimensionnement selon la norme UIC 719R a permis de définir une structure de plateforme adaptée aux contraintes du projet. Les épaisseurs déterminées pour chaque couche garantissent une répartition efficace des charges et une performance optimale de la voie ferrée. Cette approche assure la pérennité de l'infrastructure tout en répondant aux exigences techniques et réglementaires.

CHAPITRE VII

PROFIL EN TRAVERS

Chapitre VII : PROFIL EN TRAVERS

VII.1. Introduction

Le profil en travers est la coupe transversale d'une voie ferrée, menée selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la voie projetée. L'échelle la plus fréquemment utilisée est celle de 1/100.

On aperçoit deux types de profil en travers :

- Profil en travers type :

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

- Profil en travers courant :

Contenant toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs des voies, les éléments de la superstructure, pentes des surfaces et talus, dimensions des couches, système d'évacuation des eaux...etc.).

VII.2. Éléments constitutifs du profil en travers type

Le profil en travers type doit contenir tous les éléments suivants :

VII.2.1. Éléments d'infrastructure

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

VII.2.2. Éléments de superstructure

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

VII.2.3. Éléments du talus (remblai ou déblai)

- La pente de chaque talus.
- Les ouvrages de consolidations éventuelles telles que les murs de soutènement.

VII.2.4. Éléments d'assainissement

- Type et dimensions des fossés (assainissement longitudinale).

VII.2.5. Eléments de protection de la voie

- Géotextile de séparation et filtration.
- Protection provisoire (déblai) : plaque métallique.
- Matériaux de zones inondables et humides.

VII.3. Le profil en travers du projet d'étude

- Type de ligne : unique voies mixte électrifiée.
- Écartement de la voie : 1.435 m (standard).
- Largeurs de la plate-forme : 8 m.
- Pente latérale de la plate-forme : 4%.
- Épaisseur du ballast : 30 cm.
- Épaisseur du sous-ballast : 20 cm.
- Épaisseur de la couche de fondation : 15 cm.
- Pente talus (déblai : 1 /1 et remblai : 3 /1)
- Une bande 1,91m sera prévue pour l'implantation des équipements de signalisation, télécommunications et électrification côté gauche afin de préserver ces installations lors des travaux de doublement ; l'axe des poteaux caténares devra se situer à un minimum de 2,95m de l'axe de la voie ; Un cheminement de 0,8m sera aussi implanté pour la circulation piétonnière du personnel de maintenance de la voie dans le cas des voies à l'air libre uniquement.

VII.4. Calcul des cubatures

Les travaux de terrassement, appelés aussi mouvements des terres, ont pour objectif de modifier le relief naturel du terrain afin de le rendre apte à accueillir des ouvrages. Ils consistent principalement en deux opérations : le déblai (retrait de terre) et le remblai (ajout de terre). Ces opérations sont étudiées à partir des profils en long et en travers, permettant d'estimer avec précision les cubatures nécessaires pour obtenir une plateforme uniforme et adaptée au projet.

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

Tableau VII-1: Les cubatures des couches d'assise

Couche	Ballast	Sous ballast	Fondation	Forme
Volume (m^3)	29 620,3	23 166,7	18 580,8	47 242,2

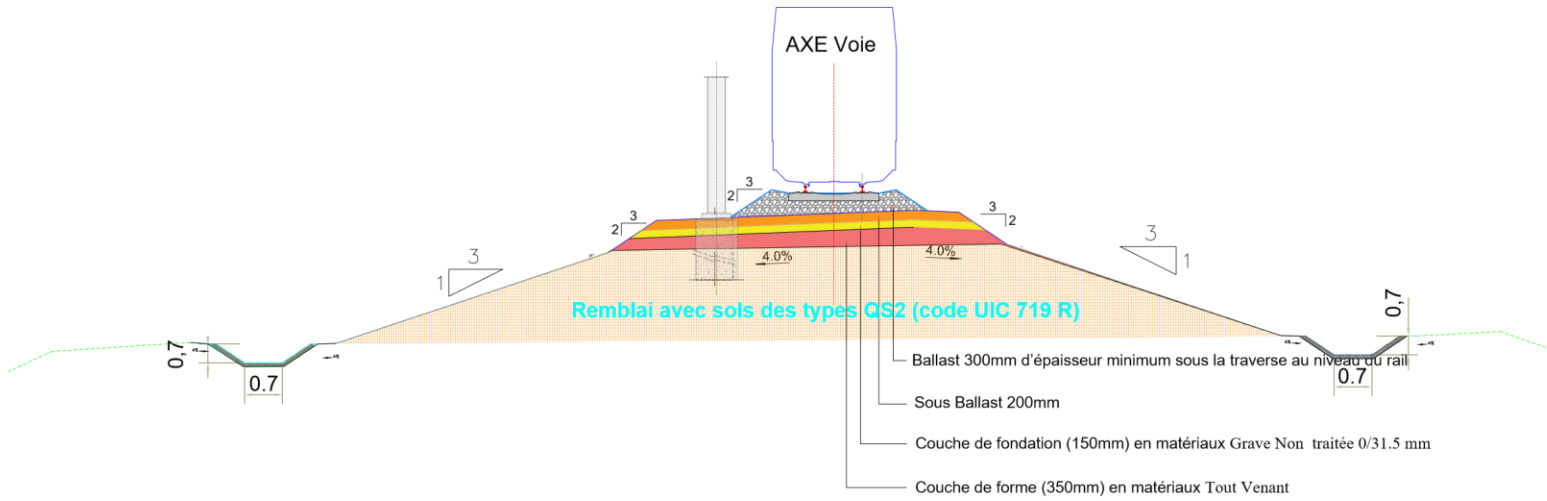
Tableau VII-2: Les cubatures des terrassements

Volume de déblai (m^3)	Volume de remblai (m^3)
540 826,5	275 042,0

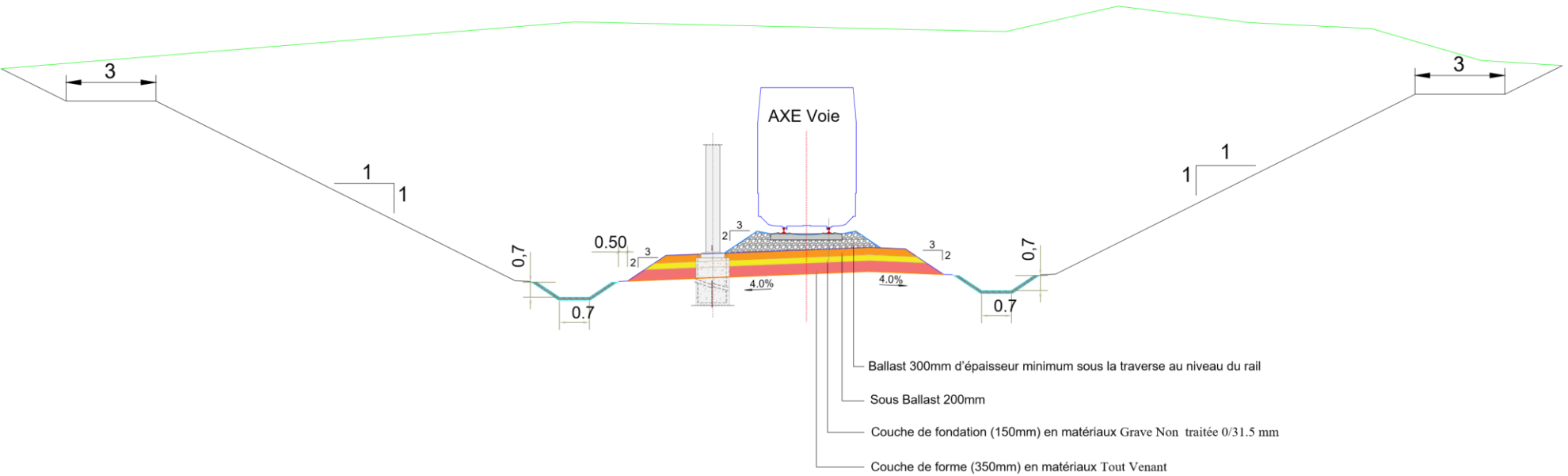
VII.5. Conclusion

Le profil en travers offre une représentation complète de la superstructure, de l'infrastructure, des talus, du système de drainage, ainsi que de l'environnement immédiat. Cette vue d'ensemble facilite la prise de décisions techniques liées à la construction, à la sécurité et à la performance de l'ouvrage. De plus, il intègre des considérations environnementales permettant de limiter l'empreinte écologique du projet.

PROFIL EN TRAVERS TYPE
 PLATEFORME A VOIE UNIQUE
 Remblai <6m



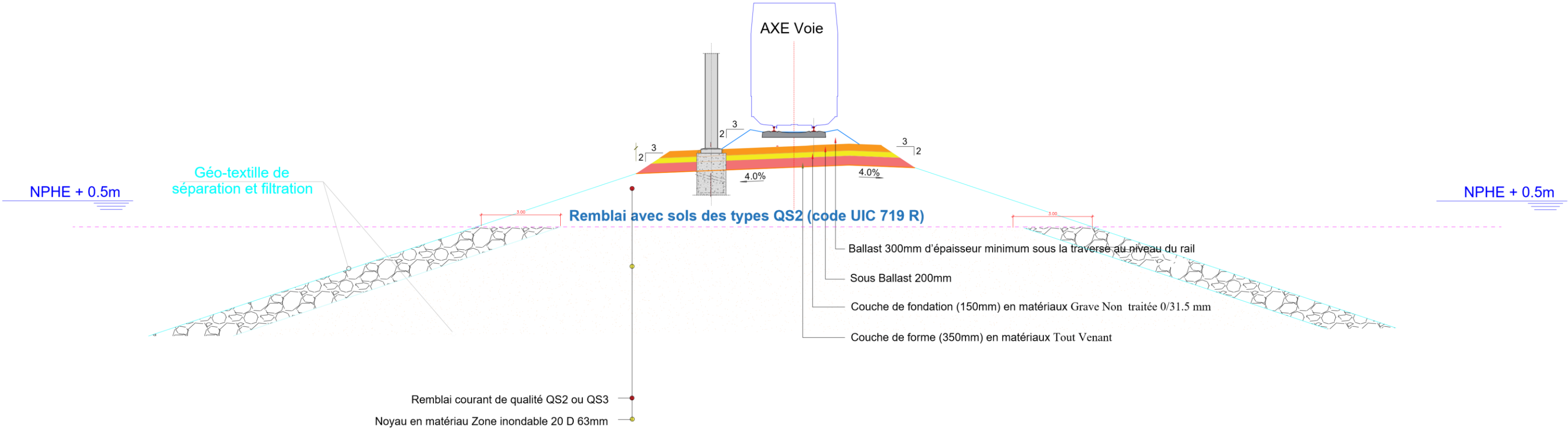
PROFIL EN TRAVERS TYPE
 PLATEFORME A VOIE UNIQUE
 Deblai >6m



PROFIL EN TRAVERS TYPE ZONE COURANTE

Echelle 1/200:

Remblai en zone inondable



CHAPITRE VIII
TERRASSEMENTS ET
OUVRAGES

Chapitre VIII : TERRASSEMENTS ET OUVRAGES

VIII.1. Introduction

Les travaux de terrassement sont une étape très importante dans la réalisation d'un projet ferroviaire. Ils comprennent plusieurs opérations comme le déblai (enlever la terre), le remblai (ajouter de la terre), le compactage et le nivellement. Le but est d'adapter le terrain naturel au tracé du projet et d'assurer une base solide et durable pour la voie ferrée.

En même temps, les ouvrages d'art, comme les ponts, les viaducs, les passages supérieurs ou inférieurs et les tunnels, servent à franchir les obstacles naturels ou artificiels, tout en garantissant la continuité du tracé.

VIII.2. Les terrassements

Les travaux de terrassement servent à modifier la forme du terrain pour créer une plateforme adaptée au projet ferroviaire. Ils comprennent deux opérations principales :

- **Le déblai** : consiste à retirer des matériaux du sol existant pour abaisser les zones surélevées.
- **Le remblai** : consiste à ajouter des matériaux pour combler les creux et élever le niveau du sol.

Ces travaux peuvent entraîner la formation de talus, c'est-à-dire des pentes latérales qui, sans mesures de stabilisation adéquates, risquent de glisser, surtout lorsque les hauteurs de déblai ou de remblai sont importantes.

Les travaux de terrassement se réalisent en trois étapes principales :

- Extraction : prendre les matériaux nécessaires.
- Transport : déplacer les matériaux vers le chantier.
- Mise en place : déposer les matériaux pour former le remblai ou les stocker.

VIII.2.1. Conditions de réalisation des remblais

Pour garantir la stabilité et la durabilité d'un remblai, il est important de respecter les points suivants :

- Retirer la terre végétale avant tout travail de remblaiement.
- Mettre en œuvre le remblai par couches de 30 cm d'épaisseur maximum.
- Respecter l'implantation topographique.
- Compacter chaque couche avec des engins adaptés (compacteurs).
- Respecter la compacité par couches de 90 cm d'épaisseur.
- Utiliser un matériau de remblai approprié, conforme aux exigences techniques.
- Assurer un drainage efficace avec une pente transversale minimale de 4% pour éviter la stagnation des eaux pluviales.
- Respecter les prescriptions géotechniques et les normes de terrassement en vigueur.

VIII.2.2. Conditions de réalisation des déblais

Lors de l'excavation de déblais, il est crucial de respecter certaines conditions afin d'assurer la sécurité des personnes impliquées et de minimiser les risques pour l'environnement. Voici quelques points à prendre en compte :

- Évaluer le site pour identifier les dangers potentiels, comme la présence de câbles électriques, de canalisations souterraines, de conduites de gaz, de systèmes de drainage, ou tout autre élément nécessitant une protection particulière.
- Planifier l'excavation en détail et surveiller continuellement les conditions et les facteurs pouvant affecter la stabilité.
- Marquer clairement la zone d'excavation.
- Prévenir les effondrements en utilisant des dispositifs d'étalement, tels que des parois de soutènement, des étais, des palplanches, ou autres.
- Évacuer les matériaux excavés de manière sécurisée en utilisant des équipements de transport appropriés.
- Utiliser des équipements de sécurité adéquats pour les travailleurs impliqués dans l'excavation.

VIII.2.3. Conditions d'excavabilité/rippabilité

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

- **Terrain meuble** : Terrains extractibles avec une pelle mécanique ou niveleuse.
- **Terrain semi-dur (rippable)** : Matériaux nécessitant l'emploi d'un ripper.
- **Terrain rocheux dur (non rippable)** : Matériaux nécessitant l'utilisation d'explosifs et/ou de brise-roche.

Pour notre projet, tous les terrains sont classés comme terrains rocheux à semi-rocheux dur et peuvent être excavés par des matériaux nécessitant l'utilisation d'explosifs et/ou de brise-roche.

VIII.2.4. Pente des talus en déblai et en remblai

La pente du talus dépend principalement de trois facteurs :

- ✓ Le type de sol : les sols cohérents (argiles, limons) sont plus stables que les sols pulvérulents (sables, graviers).
- ✓ La hauteur du remblai ou du déblai.
- ✓ Les charges appliquées (circulation, équipements, structures...).

Cas de notre projet :

- Talus en remblai : 3H/1V
- Talus en déblai : 1H/1V

VIII.3. Étude de stabilité

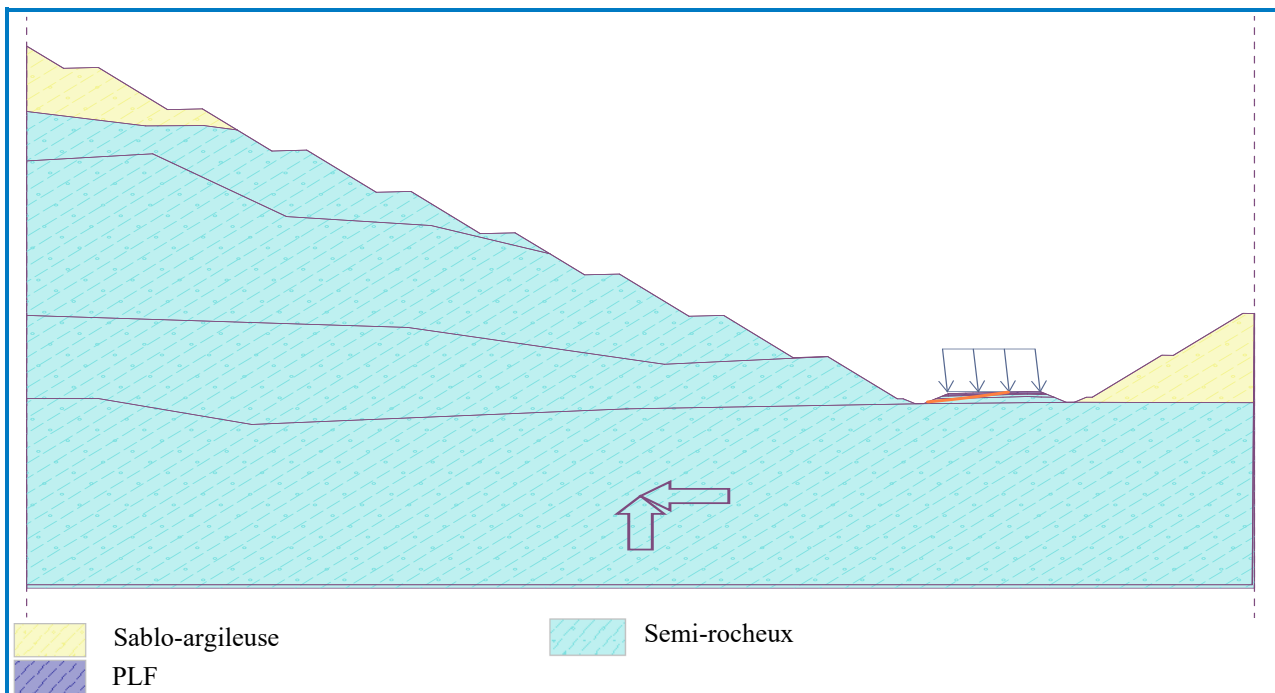
L'évaluation de la stabilité des ouvrages en terre est une étape très importante pour garantir leur sécurité, à court et à long terme. Elle consiste à étudier les caractéristiques du sol, comme la densité (γ), la cohésion (C) et l'angle de frottement interne (ϕ) pour chaque couche du terrain.

Ces paramètres permettent de vérifier si l'ouvrage est stable et de définir les critères de sécurité à respecter.

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

Dans notre projet on a utilisé logiciel GEO 5.0 2020 afin de déterminer la stabilité des talus.

- Cas déblais : le calcul de stabilité concerne les grands déblais avec des hauteurs importantes ($h \geq 6$ m),
- Cas remblai : Les hauteurs de tous les remblais détectés le long du tracé sont faibles donc on n'a pas effectué le calcul de stabilité.



Analyse de la surface de glissement sans optimisation ;

Vérification de la stabilité du talus (Méthode de Bishop)

Somme des forces actives : $F_a = 1\,700,78$ kN/m

Somme des forces passives : $F_p = 3\,973,69$ kN/m

Moment de glissement : $M_a = 1\,192\,454,18$ kNm/m

Moment de résistance : $M_p = 2\,786\,039,01$ kNm/m

Facteur de sécurité = $2,34 > 1,50$

Par conséquent, **la stabilité du talus est jugée acceptable.**

Figure VIII-1:étude de stabilité du déblai

VIII.4. Tassement

Lors de l'étude des tassements, il est essentiel de vérifier que les déformations prévisibles après la mise en service sont compatibles avec la stabilité de l'ouvrage. En cas de sols sensibles à l'eau, au gel ou dans un contexte hydrologique défavorable, des mesures spécifiques doivent être prises, telles que :

- Protection des remblais avec une couche de sol de meilleure qualité.
- Installation de drains verticaux pour accélérer la consolidation.
- Élimination des sols compressibles du support si leur profondeur est faible.

VIII.5. Compactage

L'assurance de la qualité des ouvrages en terre repose sur un compactage efficace. Les taux de compactage varient en fonction de la nature du sol, du type de compacteur utilisé et de l'humidité du sol. Il est primordial de déterminer l'épaisseur des couches et l'énergie de compactage nécessaire. Des méthodes spécifiques, comme l'arrosage ou l'essorage du sol, peuvent être recommandées pour optimiser ce processus. En respectant ces paramètres et en appliquant les techniques appropriées, on garantit un compactage optimal, contribuant ainsi à la qualité et à la pérennité des ouvrages en terre.

VIII.6. Les ouvrages

Pour élaborer un tracé optimal répondant aux exigences techniques et économiques, tout en permettant le passage transversal de la future ligne ferroviaire et des différentes infrastructures existantes, telles que les cours d'eau, il est indispensable d'inclure les éléments suivants dans ce nouvel agencement :

- Ponts rail
- Passages supérieurs (ponts routiers)
- Passages inférieurs (ponts cadres)
- Structures de protection
- Ouvrages hydrauliques

Le choix du type d'ouvrage dépend de plusieurs contraintes :

- Topographiques et géomorphologiques : écoulement des eaux, nature du sol, relief.
- Techniques : portée, charges à supporter, gabarit (dimensions).
- Économiques et fonctionnelles : coûts, usages prévus.

VIII.6.1. Les ouvrages d'art du projet

A partir des données et résultat obtenu un passage inférieur type dalot 5m×5m doit projetés au niveau du PK88+666

VIII.6.2. Les ouvrages hydrauliques

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

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

Le détaillé dans l'étude hydraulique (Chapitre étude hydrologique et hydraulique).

- De plus, dans la zone inondable s'étendant du PK 96+475 au PK 96+875, il est important **d'installer des buses d'équilibre environ tous les 1 km** (plus ou moins) pour mieux gérer les écoulements d'eau pendant les périodes d'inondation.

VIII.7. Protection des fibres optique et les lignes de tension

La protection des fibres optiques et des lignes de tension lors de leur traversée par une infrastructure ferroviaire constitue une priorité majeure pour garantir la sécurité des installations et prévenir tout risque d'accident.

Tableau VIII-1:Protection des fibres optique et les lignes de tension

Obstacle à franchir	PK	Les protection
Lignes de moyenne tension	95+600	Ajouter des barrières physiques ainsi que des dispositifs de signalisation sont essentiels. Ces mesures avertissent les équipes de maintenance de la présence de lignes électriques.

VIII.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré que les travaux de terrassement réalisés selon les normes garantissent une plateforme stable, et que le bon dimensionnement des ouvrages permet d'assurer la sécurité et la durabilité de l'infrastructure ferroviaire

CHAPITRE IX
CONCEPTION DE LA GARE

Chapitre IX : Conception de la gare

IX.1. Introduction

Une gare ferroviaire constitue un point d'arrêt fondamental du réseau ferré. Elle est destinée à assurer à la fois l'accueil des voyageurs et la gestion du transport des marchandises. Selon son importance, sa localisation et son rôle, une gare peut présenter des configurations et des équipements variés.

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différentes fonctions d'une gare ferroviaire, ainsi que de décrire la conception des voies au niveau de la gare de voyageur projetée à Hassi El fhal.

IX.2. Types de gares ferroviaires

Les gares ferroviaires sont classées selon leur fonction en plusieurs catégories principales :

- **Gare voyageuse** : Destinées au transport des passagers, elles sont équipées de quais, de salles d'attente et de services facilitant l'embarquement et le débarquement.
- **Gares marchandises** : Réservées au transport de fret, elles comprennent des voies de chargement et de déchargement, des zones de stockage ainsi que des équipements de manutention (grues, engins, etc.).
- **Gares mixtes** : Elles assurent à la fois le transport des voyageurs et des marchandises, en combinant les installations nécessaires aux deux activités.
- **Gares de triage** : Ce sont des ensembles de voies équipées d'aiguillages permettant de trier et de regrouper les wagons de marchandises selon leurs destinations, afin de constituer des trains.
- **Gares de croisement** : Situées généralement sur des lignes à voie unique, elles permettent le croisement ou le dépassement des trains. Elles sont souvent de taille réduite et peuvent se limiter à de simples points d'arrêt.

IX.3. Objet d'une gare ferroviaire

Une gare ferroviaire est conçue pour répondre à plusieurs fonctions essentielles, notamment :

- Assurer l'embarquement et le débarquement des voyageurs dans de bonnes conditions.
- Permettre le chargement et le déchargement des marchandises.
- Réguler et organiser la circulation des trains.
- Faciliter le croisement des trains sur les lignes à voie unique.
- Permettre le dépassement des trains lents par des trains plus rapides.
- Assurer le ravitaillement des locomotives (carburant, eau, etc.).
- Permettre les opérations d'attelage et de dételage des wagons.

IX.4. Conditions de conception des gares

La conception d'une gare ferroviaire repose sur plusieurs critères fondamentaux :

- Le bâtiment voyageurs (B.V) doit être conçu en cohérence avec le plan d'urbanisme afin d'assurer une bonne intégration dans l'environnement urbain.
- L'organisation de la gare doit permettre de répondre efficacement aux besoins de transport des voyageurs et des marchandises, en tenant compte des conditions géologiques, de l'accessibilité routière et des perspectives d'aménagement futur.
- Le choix du terrain doit garantir une superficie suffisante pour les installations actuelles, tout en permettant d'éventuelles extensions à long terme, afin d'accompagner le développement urbain.

IX.4.1. Installations d'une gare voyageurs

Une gare ferroviaire comprend plusieurs installations, dont l'importance dépend de sa catégorie :

- **Le bâtiment voyageurs (B.V) :** Espace destiné aux passagers, comprenant généralement une salle d'attente, des guichets, des services de sécurité et des commerces.
- **Le bâtiment à usages divers (B.U.D) :** Espaces réservés au personnel ferroviaire pour les activités d'exploitation et de gestion.
- **Les quais :** Plates-formes aménagées le long des voies permettant l'accès sécurisé aux trains.
- **Les abris de quais :** Structures destinées à protéger les voyageurs contre les intempéries.
- **Les passages souterrains et passerelles :** Aménagements permettant aux usagers de traverser les voies et de changer de quai en toute sécurité.



Figure IX-1: équipement d'une gare mixte

IX.5. Aménagements Fonctionnels de la Gare

IX.5.1. Voie de Garage Franc

Le garage franc détermine la limite de la zone de voie utilisée par les trains en gare afin d'assurer la sécurité des circulations. Il garantit qu'il n'y aura ni collision ni risque de prise en écharpe entre un train dévié sur une voie secondaire (voie de stationnement) et un train circulant sur la voie principale.

La valeur théorique du garage franc est calculée en fonction de la distance entre les axes de la voie directe et de la voie déviée, selon la formule suivante :

- $GF = (3,57 \times N) + 1$

Où N dépend de l'angle d'ouverture α de l'appareil de voie et est donné par :

- $N = (1 / \tan(\alpha))$

En raison de sécurité, le garage franc sera installé à 1.0 m de la distance de garage franc théorique.

Ainsi, le garage franc assure une circulation sécurisée dans la gare en délimitant clairement les espaces réservés aux trains circulant sur différentes voies.

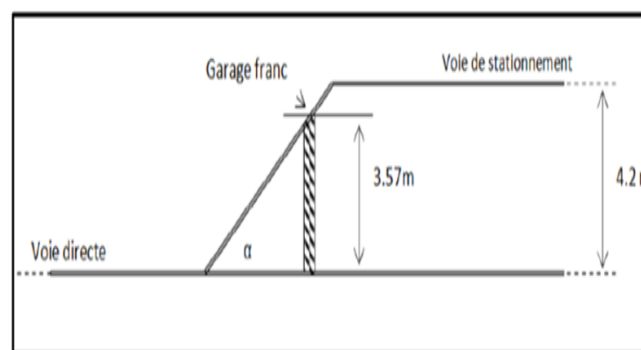


Figure IX-2: Garage franc

IX.5.2. Heurtoir et Dispositifs de Sécurité en Fin de Voie

Les heurtoirs sont des dispositifs placés à l'extrémité des voies de garage ou de sécurité afin de signaler la fin de voie et d'empêcher les véhicules ferroviaires de dépasser cette limite.

Ils jouent un rôle essentiel en absorbant l'énergie cinétique des trains grâce à des tampons, ce qui réduit l'impact en cas de collision et protège ainsi le matériel roulant ainsi que les infrastructures.



Figure IX-3: Les heurtoirs de sécurités

IX.6. Caractéristiques géométriques des gares

IX.6.1. Dimensionnement de quais

Les caractéristiques géométriques de quai sont récapitulées dans le tableau au-dessous :

Tableau IX-1: Caractéristiques géométriques de quai (normes SNTF)

Longueur(m)	♣ Grande ligne : 450 ♣ Service régional : 350 ♣ Banlieue : 225
Largeur (m)	♣ $B_{\min} = (1.5 \times N_{\max} + S)/L$ L : Longueur d'un quai qui est égale à la longueur du plus grand train. S : Surface prise par les bâtiments voyageurs sur les quais. 1,5 : Surface prise par un voyageur. N_{max}: Nombre de voyageurs sur le quai = 80% des places des trains au départ. - Avec : Quai intermédiaire $B > 8$ m. Quai extérieur $B \geq 6$ m
Hauteur (mm)	♣ Quai bas : 350 ♣ Quai mi- haut : 550 ♣ Quai haut : 760

La distance par rapport à l'axe de la voie	Pour les bordures de quai implantées à la hauteur nominale de 550 mm et de 760 mm, la distance nominale à l'axe de la voie est fixée à : L (mm)=1650+S Avec : ♣ $S(\text{mm}) = \frac{3750}{R} + \frac{I-1435}{2}$ R : le rayon de la voie (m). I : l'écartement de la voie (mm).
Entre axe (m)	♣ e normal > 11.3 ♣ e minimal > 9.3

IX.6.2. Déclivité dans les gares

Au niveau des gares, la déclivité est à limiter en fonction des activités qui y sont prévues.

Tableau IX-2: Les déclivités dans les gares (selon UIC 741)

Activité en gare	Déclivité maximale
Activité en gare Déclivité maximale Service voyageur seul	< 10 ‰
Service voyageur et modification de composition des rames	< 5 ‰
Service voyageur et stationnement prolongé des rames	< 1 ‰

- Concernant notre projet, la déclivité est de 00.00% afin d'éviter tout déplacement possible des trains.

IX.6.3. Marge de glissement a l'aval des signaux

C'est la partie de la voie située dans le prolongement de la voie ferrée en aval, le signal est fermé et aucun autre trafic ferroviaire n'est autorisé dans cette marge, ce qui, pour Certains réseaux doivent être libres d'occupation. Son objectif est de réduire les conséquences d'une collision lorsque le train ne peut pas s'arrêter avant cette marge, faute de freins ou de rails glissants.

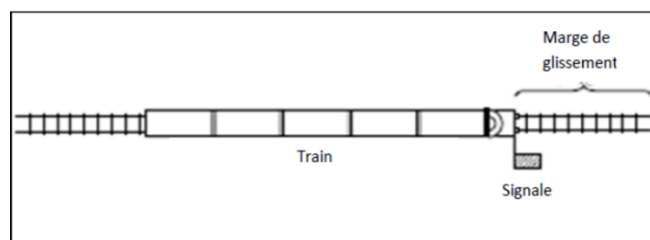


Figure IX-4: Schéma de la marge de glissement

Longueurs de la marge de glissement : $50\text{m} \leq \text{LG} \leq 200\text{m}$; Selon la vitesse de la ligne, on l'utilise comme marge à l'aval des signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie :

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

Remarque : Lorsque cette marge ne peut être atteinte, on doit réduire la vitesse d'entrée systématiquement avant le signal.

IX.6.4. La longueur utile d'une voie de stationnement

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

$$\text{LU} = \text{LG} + \text{LS} + \text{LT} + \text{LA} + \text{LC}$$

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

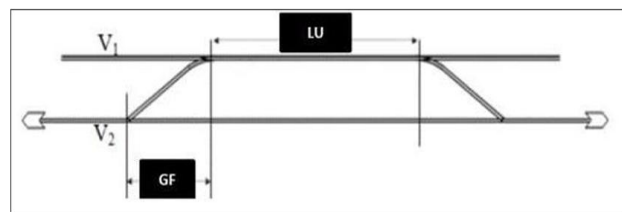


Figure IX-5: la longueur utile

Selon la SNTF :

- 426 m pour les trains voyageurs.
- 870 m pour les trains de marchandises.
- 1200 m pour les voies principales des gares voyageurs.

IX.6.5. Appareils de voie

Ces équipements facilitent :

- Le transfert du matériel roulant d'une voie à une autre ;
- La séparation d'un itinéraire en deux itinéraires distincts ;
- Le croisement d'un itinéraire avec un autre.

Trois éléments de base sont nécessaires pour construire ces dispositifs :

- Une partie aiguillage (1).
- Une partie intermédiaire (2).
- Une partie de croisement (3).

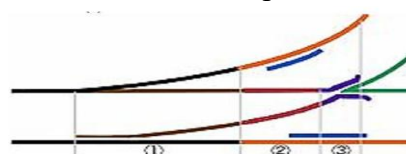


Figure IX-6: Eléments constitutifs d'un appareil de voie

IX.6.5.1. Désignation des appareils de voie

Les appareils de voie se caractérisent par plusieurs paramètres :

- **Le type d'appareil** : aiguillage simple, branchement double, Les traversées jonctions simple (TJS) ou double (TJD).
- **Le type de rail** : dépend des caractéristiques techniques de la voie.
- **Le rayon** : il définit la courbure de la voie déviée.
- **La tangente** : elle correspond à l'angle formé entre l'axe de la voie directe et celui de la voie déviée, exprimé sous forme de rapport (ex : 1/9, 1/12, 1/18,5).
- **Le type de lame** : qui peut être articulée, élastique ou flexible.
- **Le type de traverses** : en bois, en acier ou en béton.
- **Le type de cœur de croisement** : généralement à pointe élastique.

IX.6.5.2. Assainissement dans les gares :

- ✓ **Assainissement transversale** : Pour faciliter le ruissellement des eaux pluviales dans les gares, les quais doivent avoir une pente de 2% en toit ou en V selon le cas, de telle sorte à évacuer ces eaux vers les voies ensuite ces eaux sont évacuées grâce aux pentes transversales des plates-formes.
- ✓ **Assainissement longitudinal** : Les drains disposés longitudinalement avec des pentes de 4‰ permettent de recueillir les eaux de ruissellement qui s'infiltrent dans le ballast et la plate-forme et les évacuer vers le réseau d'assainissement via les regards de visite.

IX.7. Application au projet

La future gare de Hassi Elfhal sera implantée entre le point kilométrique PK 85+441 et le PK 86+771. Elle occupe une position stratégique en combinant les fonctions de transit ferroviaire et de desserte voyageurs, notamment pour les circulations reliant Ghardaïa à El Ménéa.

La gare est composée de plusieurs voies, organisées comme suit :

- Deux voies principales.
- Une voie d'évitement ou de service utilisée pour le stationnement temporaire des trains.
- Une voie tiroir pour le stationnement, se terminent par des heurtoirs (H1 et H2), qui sont des dispositifs de sécurité installés à l'extrémité des voies pour éviter tout dépassement.

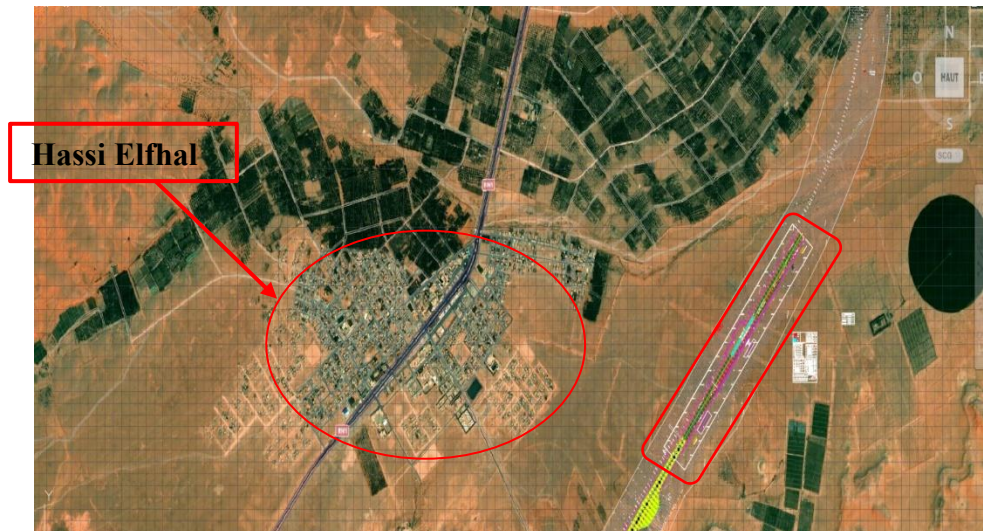


Figure IX-7: Implantation de la gare de Hassi Elfhal

Tableau IX-3: Caractéristiques géométriques de la gare

Les caractéristiques	Valeurs
Longueur des quais	350m
Largeur de quais	Quai intermédiaire B=8 m. Quai extérieur B=6m
Hauteur de quais	55cm
Déclivité	0%
L'entre axe des quais	14,50 m
Longueur de la marge de glissement	200 m
Garage franc	UIC 60 500 1/12: $GF = (3.57 \times 12) + 1 = 43.84m$. UIC 60 300 1 /9: $GF = (3.57 \times 9) + 1 = 33.13m$ $GF = \begin{cases} 44m \\ 35m \end{cases}$
La distance à l'axe de la voie	R : rayon de la voie dans notre gare est droit $R = \infty$. I : écartement de notre voie = 1435 mm). $L=1,65m$
Appareil de voie	UIC60 500 1/12 UIC 60 300 1 /9
Longueur utile de stationnement	VA et VB =1200m $V3=730m$ $V5=685m$

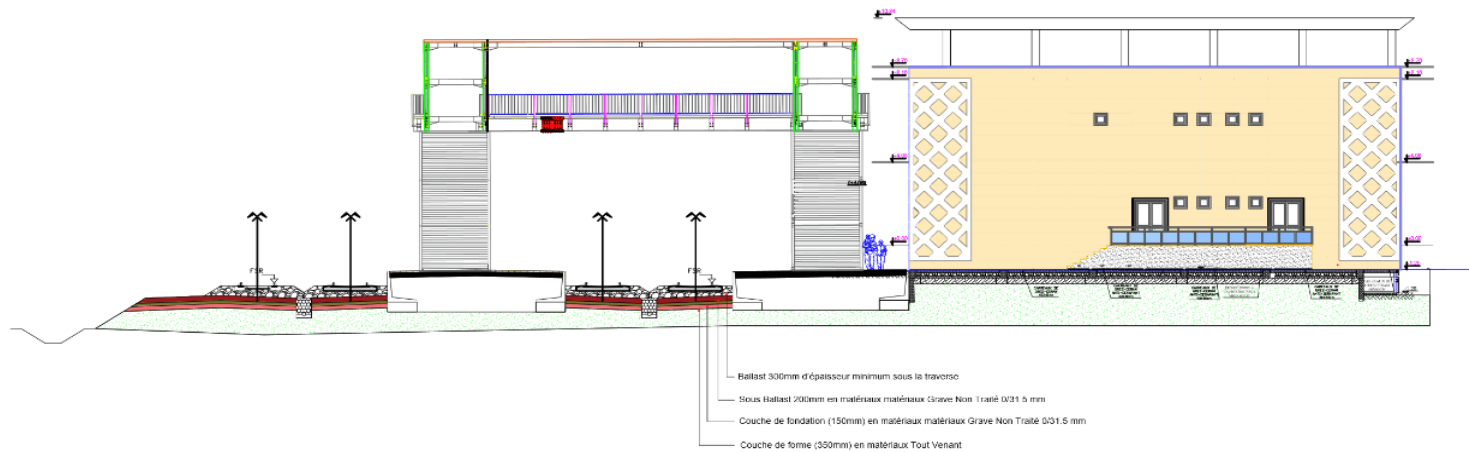
IX.8. Conclusion

La gare de voyageurs constitue un élément clé du réseau ferroviaire, assurant l'accueil des usagers et l'organisation des flux de transport. Dans notre projet, elle améliore la desserte de la région de Hassi El Fehal, facilite la mobilité des voyageurs et contribue au développement local, tout en garantissant une exploitation sûre et efficace du réseau ferroviaire.

N.B 01 : Le schéma de la gare proposé est joint en plans format A3.

N.B 02 : Le profil en travers de la gare est joint en plan format A3.

COUPE EN TRAVERS TYPE - GARE



× QUANTITE ADV

APPAREIL	DEVIATION	NB
BS-UIC60-190-1/9	DROITE	2
BS-UIC60-190-1/9	GAUCHE	2
BS-UIC60-500-1/12	DROITE	2
BS-UIC60-500-1/12	GAUCHE	2

CARACTERISTIQUE DES COURBES DE VOIE

PK	COMMANDE	TYPE	RAYON	ANGLE
C1	0+000.000	1/12	1000	10.18
C2	0+000.000	1/12	1000	10.18
C3	0+000.000	1/12	1000	10.18
C4	0+000.000	1/12	1000	10.18

COORDONNEES DES APPAREILS DE VOIES

PK	COMMANDE	TYPE	RAYON	ANGLE
1	0+000.000	1/12	1000	10.18
2	0+000.000	1/12	1000	10.18
3	0+000.000	1/12	1000	10.18
4	0+000.000	1/12	1000	10.18

LONGUEURS UTILES DES VOIES

PK	COMMANDE	TYPE	RAYON	ANGLE
1	0+000.000	1/12	1000	10.18
2	0+000.000	1/12	1000	10.18
3	0+000.000	1/12	1000	10.18
4	0+000.000	1/12	1000	10.18

COORDONNEES DES GARAGES FRANCS

PK	COMMANDE	TYPE	RAYON	ANGLE
1	0+000.000	1/12	1000	10.18
2	0+000.000	1/12	1000	10.18
3	0+000.000	1/12	1000	10.18
4	0+000.000	1/12	1000	10.18

COORDONNEES DES HEURTOIRS

PK	COMMANDE	TYPE	RAYON	ANGLE
1	0+000.000	1/12	1000	10.18
2	0+000.000	1/12	1000	10.18
3	0+000.000	1/12	1000	10.18
4	0+000.000	1/12	1000	10.18

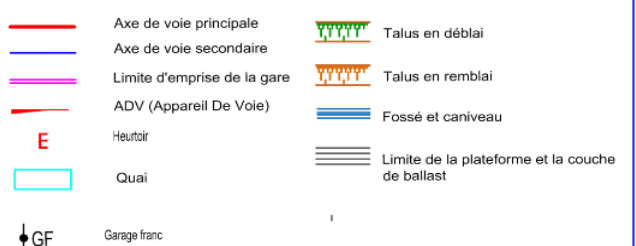
COORDONNEES DES QUAIS

PK	COMMANDE	TYPE	RAYON	ANGLE
1	0+000.000	1/12	1000	10.18
2	0+000.000	1/12	1000	10.18
3	0+000.000	1/12	1000	10.18
4	0+000.000	1/12	1000	10.18

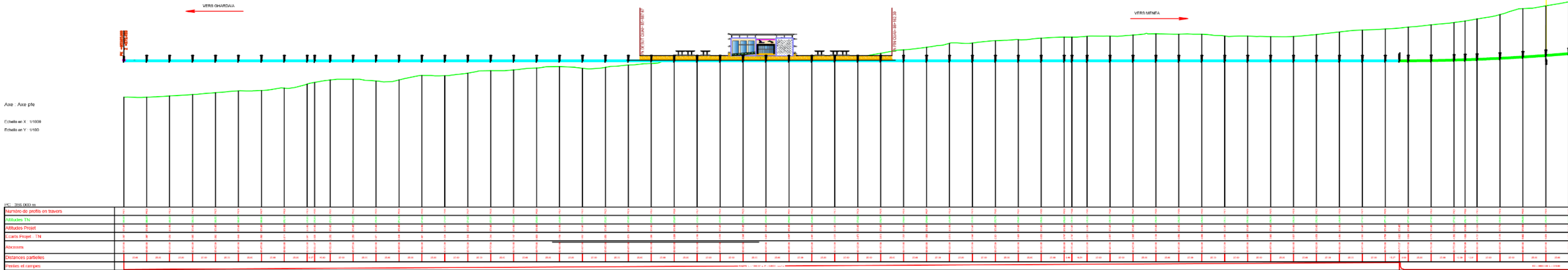
caracteristiques des ADV

APPAREIL	L1(m)	L2(m)	L3(m)	ANGLE(°)
BS-UIC60-500-1/12	20,7970	20,7970	20,7970	4,7630
BS-UIC60-190	10,5230	16,6140	16,6140	6,3400

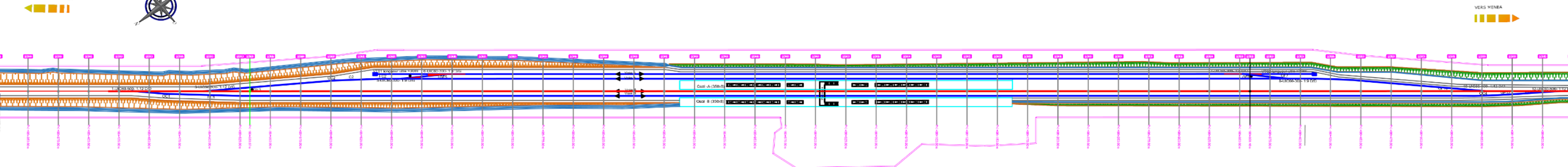
LÉGENDE:



PROFIL EN LONG



VUE EN PLAN



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'ETUDES

Etude de la nouvelle ligne ferroviaire
GHARDAIA-MENEA du Pk: 86+106 au Pk: 97+000
y compris la gare HASSI LAFHEL

Réalisé par

- BELHAOUCHAT
SEYFEDDINE
- CHERAD
MAROUA

Encadré par

- Mme.
SERIDJI WIDAD

Echelle

1:1000

N° Planche

Tracé en plan et
Profil en long - Gare

Année universitaire

2025 / 2026

CHAPITRE X
SIGNALISATION
FERROVIAIRE

Chapitre X : SIGNALISATION FERROVIAIRE

X.1. Introduction

Depuis l'apparition du chemin de fer, les dispositifs de signalisation ont considérablement évolué. Initialement simples et limités, ils se sont progressivement transformés en systèmes élaborés et hautement performants. Aujourd'hui, leur rôle principal consiste à assurer une gestion optimale du trafic sur des réseaux ferroviaires étendus et complexes.

Ces systèmes sont indispensables pour encadrer les déplacements des trains, réduire les risques de collision et garantir une coordination efficace entre les différentes lignes et itinéraires.

X.2. Objet de la signalisation ferroviaire

La signalisation ferroviaire constitue un élément clé pour la transmission des consignes aux conducteurs de trains, assurant ainsi une circulation sûre et maîtrisée. Les installations de signalisation sont conçues de manière rigoureuse afin de prévenir les situations à risque et de répondre aux principaux dangers rencontrés sur les réseaux ferroviaires.

Ces risques, ainsi que les solutions mises en place pour les maîtriser, sont présentés dans le tableau ci-après :

Tableau X-1: Les risques ferroviaires

Risques	Description	Solution
Obstacles 	Les dangers liés aux passages à niveau.	La gestion par des dispositifs d'annonce des trains pour alerter les conducteurs routiers de l'approche d'un train.
Nez-à-nez 	Deux trains se trouvant en situation de rencontre sur une même voie.	La Prise en charge par les enclenchements de sens.
Rattrapage 	Un train dépassant suivant celui devant lui.	L'utilisation du système de cantonnement pour le maintien des distances de sécurité entre les trains.
Déraillement 	Une ou plusieurs roues d'un véhicule se déviant du rail sur une voie ferrée	-Imposer des restrictions de vitesse dans les virages, les zones d'aiguillage et les zones de travaux. -Déployer des systèmes de surveillance.

	Un train se dirigeant vers un aiguillage déjà occupé par un train venant d'une autre direction.	L'équipement des postes d'aiguillage d'enclenchements internes (enclenchements d'itinéraires et de transit).
---	---	--

X.3. Type de signalisation

Les signaux ferroviaires se partagent en deux catégories :

- Les feux
- Les panneaux

Les signaux sont implantés à gauche de la voie car les trains circulent à gauche, ils peuvent être positionné à droite lorsque le positionnement classique n'est pas possible.

X.3.1. Les feux

Peuvent être de cinq couleurs différentes :

- Le rouge et le violet imposent= l'arrêt ou une progression très réduite.
- Le jaune= commande un ralentissement.
- Le vert et le blanc =autorisent l'avancement des trains.

X.3.2. Les blocs

X.3.2.1. Le bloc automatique lumineux (BAL)

Les lignes où le trafic ferroviaire est important sont équipés du système de signalisation BAL (Bloc Automatique Lumineux) ce système est entièrement automatique entre deux gares le principe du cantonnement est appliqué de manière à éviter le rattrapage des trains

La ligne est en effet découpée en canton de 1 à 2 km chaque canton est protégé par un signal lumineux composé de trois feux

- Un vert indique que la voie est libre.
- Un rouge indique l'arrêt des trains appelée sémaphore arrêt.
- Un jaune est un avertissement il indique que le prochain signal est au rouge le train doit donc ralentir pour être en mesure de s'arrêter.

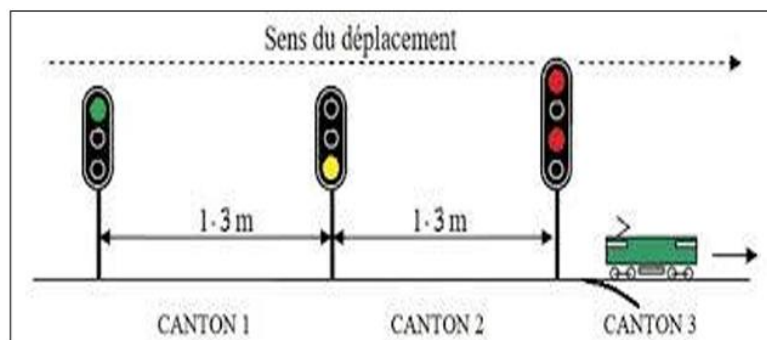


Figure X-1: Bloc automatique lumineux

Au niveau des bifurcations il faut éviter les collisions et les déraillements un simple sémaphore ne suffit pas car le redémarrage des trains ne doit pas être possible on utilise :

- Un signal composé de deux feux rouges appelé carré qui indique un arrêt total.
- Deux feux jaunes horizontaux pour la réduction de vitesse pour un ralentissement.
- Deux feux jaunes verticaux pour un rappel de ralentissement, prend fin dès que le train a franchi l'aiguillage ou le groupe d'aiguillage.
- Les feux verts et jaunes restent valables au niveau des bifurcations et garde la même signification le feu jaune peut se combiner avec les rappels de ralentissement sur.

X.3.2.2. Le bloc automatique à permissivité restreinte (BAPR)

Les lignes où le trafic est moins dense on utilise le bloc automatique à permissivité restreinte (BAPR) ce système est proche du BAL il diffère uniquement par l'organisation du cantonnement. Les cantons peuvent mesurer jusqu'à 25 km.

Le signal de protection de canton est particulier il ne comporte pas d'avertissement seulement un feu vert et un feu rouge précédé par un signal situé environ de 1 km qui affiche l'avertissement.

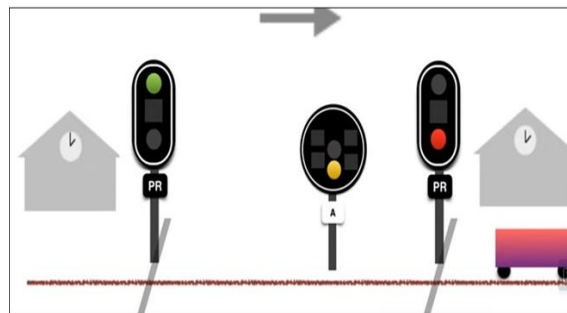


Figure X-2: Bloc automatique à permissivité restreinte

X.3.2.3. Le bloc manuel (BM)

Les lignes à trafic réduit on emploie le bloc manuel (BM) ce système de signalisation est guidé par des agents occupant des postes de cantonnement réparti tout au long d'une ligne ferroviaire. Les signaux utilisés sont les mêmes que BAPR.

X.3.2.4. Cantonnement téléphonique

Les lignes à très faible trafic la signalisation est souvent remplacée par un système de cantonnement téléphonique parfois assisté par informatique.

X.3.2.5. Les voies de manœuvre

Possèdent une signalisation lumineuse spécifique :

- L'arrêt est signifié par un feu violet non franchissable.
- La voie libre est indiquée par un feu blanc.
- Un feu blanc clignotant autour quant à lui le départ du train en manœuvre c'est-à-dire sur une distance courte donnant vers une voie de garage.
- Le feu blanc continue ou clignotant être utilisé depuis une voie principale pour indiquer que le train est dirigé vers une voie de manœuvre.

Le disque composé d'un feu jaune et d'un feu rouge sur une ligne horizontale est un signal particulier réservé en très grande majorité au BAPR et au BM ce signal tente à disparaître situer

sur les lignes principales, le disque impose une réduction de vitesse à 30 km/h dès que possible ce signal intime aussi l'arrêt qui doit s'effectuer au niveau du prochain signal d'arrêt ou au niveau du premier aiguillage ou gare rencontré s'il n'y a pas de signal d'arrêt.



Figure X-3: la signalisation disque

X.3.3. Les panneaux

Les signaux lumineux de ralentissement 30 km/h et 60 km/h ne sont pas les seuls moyens d'indiquer une limitation de vitesse à l'approche d'un aiguillage on utilise des panneaux mobiles et fixe.

X.3.3.1. Panneaux mobiles

Tableau indicateur de vitesse à distance (TIVD) :

Tableau indicateur de vitesse à distance permet d'annoncer une limitation de vitesse à distance.



Figure X-4: Tableau indicateur de vitesse à distance

X.3.3.2. Tableau indicateur de vitesse (TIV)

C'est un rappel de limitation forme de carré nommé des franchissements de l'aiguillage ou dès aiguillage la limitation prend fin.

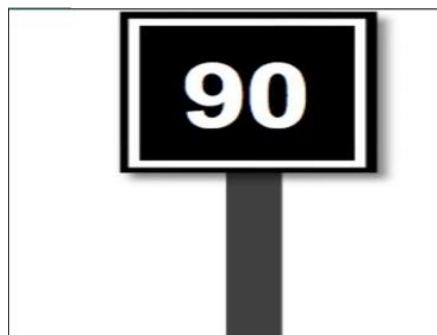


Figure X-5: Tableau indicateur de la vitesse (TIV)

- Tableau indicateur de vitesse à distance (TIVD) pour protéger en permanence une section de ligne, la limitation prend effet à l'aiguillage abordé ou au niveau d'un panneau Z et se termine des franchissements de l'aiguille ou au niveau d'un panneau R.
- La limitation s'applique à un point kilométrique particulier éventuellement indiqué par un panneau.
- Les TID simples peuvent être complétés par des demi-cercles qui indiquent une limitation de vitesse pour un certain type de train.

X.3.3.3. Les TIVD

- Type B : s'adressent au train autorisé à dépasser la vitesse de 140 km par heure.

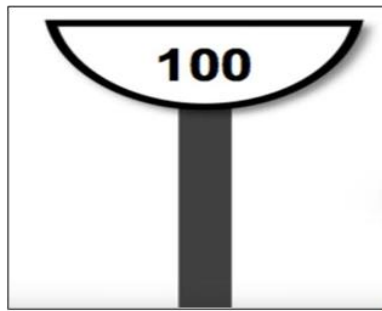


Figure X-6: TIVD de type B

- Type C : s'adressent aux automoteurs.

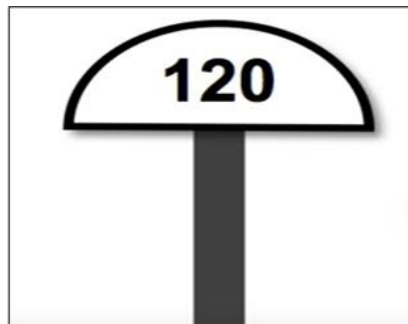


Figure X-7: TIVD de type c

TIVD et TIV dit pentagonaux qui s'applique aux trains de marchandise.

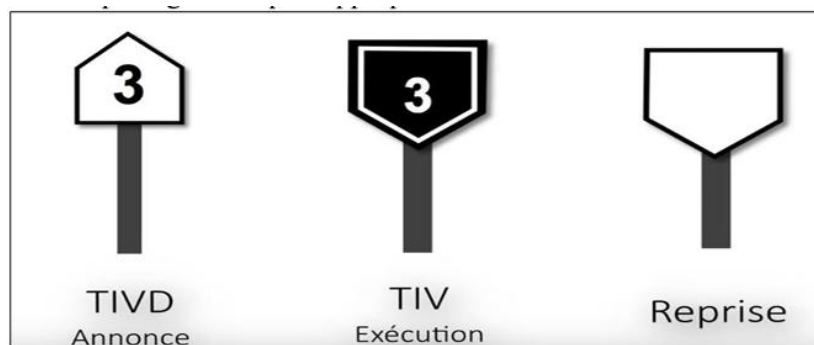


Figure X-8: TIVD et TIV

Les indicateurs de direction à distance : donnent la direction grâce à des feux blancs groupés avec un signal de protection d'aiguillage

- Un feu blanc indique la direction à gauche.
- Trois feux blanc la direction à droite.

X.4. LE SYSTÈME ERTMS (EUROPÉEN TRAFIC MANAGEMENT SYSTEM)

L'ERTMS est un système de signalisation numérique qui permet de connaître à tout moment la position des trains et leur vitesse. Le dispositif indique au conducteur sur son écran de conduite la vitesse maximum qu'il doit respecter en fonction des caractéristiques de son train.

X.4.1. Les composantes d'ERTMS

L'ERTMS est composé de deux éléments majeurs et d'un troisième optionnel :

- L'ETCS (Européen Train Control System) : permet un passage optimisé des frontières en garantissant la sécurité des installations.
- Le GSM-R est le système radio utilisé pour échanger des informations entre le sol et le bord.
- L'ATO (Automatic Train Operations) : ce dispositif optionnel est un système permettant la traction et le freinage automatique du train.

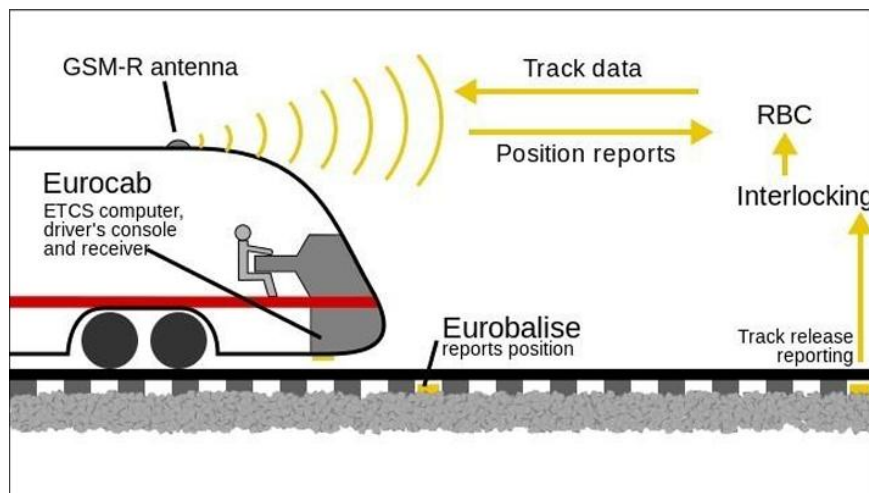


Figure X-9: Les composantes d'ERTMS

X.4.2. Implantation d'ERTMS

La mise en œuvre de l'ERTMS nécessite l'installation d'équipements :

- Le Radio Block Centre (RBC) : c'est l'ordinateur central du système ERTMS connecté aux installations au sol et communique avec le train via le réseau GSM-R. Il reçoit la position du train et affiche au conducteur les autorisations de mouvement et les vitesses à respecter.
- Les eurobalises : sont des dispositifs installés entre les rails qui transmettent des informations aux trains et transmettent des données telles que des autorisations de mouvement ou des restrictions de vitesse.
- Les antennes GSM-R : est un système de radio permettant de communiquer avec le RBC (pour les échanges de données) et les postes de signalisation et de régulation (par dialogue radiotéléphonique entre le conducteur et les équipes au sol).

X.4.3. Les niveaux de ERTMS

- Le niveau 1 utilise des balises au sol et conserve la signalisation latérale traditionnelle.
- Le niveau 2 remplace la signalisation par une communication radio continue (GSM-R) entre le train et un centre de contrôle (RBC).
- Le niveau 3 supprime les circuits de voie et utilise des cantons mobiles, avec un contrôle d'intégrité embarqué dans le train.

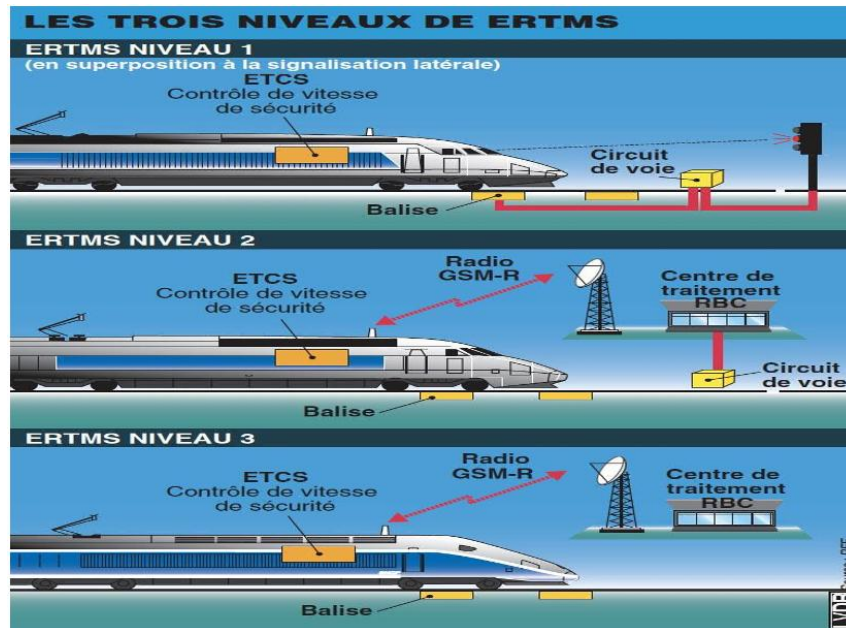


Figure X-10: les niveaux de ERTMS

- ✓ La ligne Ghardaïa- El Ménéa est une ligne à grande vitesse (220 km/h) conçue pour améliorer la capacité et la sécurité du trafic ferroviaire. Elle combine les systèmes BAPR (signalisation latérale) et ERTMS (signalisation en cabine), permettant au conducteur de recevoir en temps réel les informations de conduite. Cela optimise la circulation, réduit l'intervalle entre les trains et augmente le nombre de trains par heure.

CHAPITRE XI
IMPACT SUR
L'ENVIRONNEMENT

Chapitre XI : Impact sur l'environnement

XI.1. Introduction

Le transport ferroviaire par les différentes nuisances qu'il génère est devenu, une préoccupation majeure pour les responsables de Conception, construction et exploitation d'infrastructures ferroviaire.

A cet effet, une étude d'impact sur l'Environnement a été faite pour essayer d'intégrer mon projet dans le paysage initial sans nuire à l'environnement.

En général, l'étude d'impact sur environnement comprend trois parties importantes. La première est de présenter le projet sur la situation initiale de la zone d'étude, ensuite une seconde partie illustre et évalue les impacts susceptibles d'être engendrés, enfin la dernière partie fait l'objet des mesures à envisager en faveur de l'environnement.

La caractérisation environnementale de la situation actuelle est élaborée sur la base d'un certain nombre d'informations recueillies et avec des observations visuelles de la nature des terrains qui sera traversé par le tracé.

XI.2. Caractérisation environnementale du territoire traversé :

Tableau XI-1: Les caractérisation environnementale du territoire traversé

Milieu	Description résumée	
Milieu physique	Localisation	Zone saharienne entre Ghardaïa et El Ménéa, limitée par Laghouat, Ouargla, El Bayadh, Timimoun et Ain Salah
	Climat	Climat désertique : étés très chauds (> 40°C) et hivers relativement froids
	Géomorphologie	Plateau calcaire subhorizontal, entaillé par des oueds et recouvert localement par des sables
	Géologie	Formations du Crétacé supérieur (calcaires, dolomies, argiles) avec dépôts alluvionnaires quaternaires
	Géotechnique	Présence de sols variés : roches calcaires (stables), argiles (gonflement), alluvions et sables (instabilité)
	Hydrologie	Présence d'oueds temporaires et écoulements intermittents en milieu aride Traversée du bassin saharien avec plusieurs bassins versants (oueds Metlili, Touil, Fahl, Gouiret Moussa, Djafou, Djoua)
Milieu humain	Population	Faible densité de population, habitat dispersé
	Infrastructures	Réseau routier développé, absence de réseau ferroviaire, présence d'aéroports
	Énergie	Bon taux d'électrification (> 95%), gaz en développement
	AEP / Assainissement	Taux de raccordement globalement élevé

	Santé / Éducation	Infrastructures présentes mais limitées, surtout à El Ménée
	Tourisme	Activité plus développée à Ghardaïa
Milieu économique	Agriculture	Activité dominée par la palmeraie et l'irrigation
	Production	Céréales et production laitière à El Ménée, agriculture modérée
Milieu biologique	Flore	Végétation saharienne xérophile (acacia, tamarix, etc.)
	Faune	Faune désertique (fennec, oiseaux migrateurs, reptiles)

Tableau XI-2: Les impacts positifs du projet ferroviaire GHARDAÏA – EL MENEA

Impacts positifs	Effets bénéfiques
Développement économique	Dynamisation des activités commerciales, minières et énergétiques
Amélioration du transport	Facilitation du transport des marchandises et des voyageurs
Création d'emplois	Génération d'emplois durant les phases de travaux et d'exploitation
Développement régional	Renforcement de l'attractivité des régions traversées
Amélioration du cadre de vie	Meilleure accessibilité et mobilité des populations
Croissance démographique positive	Encouragement de l'urbanisation et des investissements
Réduction des émissions de CO ₂	Utilisation de locomotives électriques moins polluantes
Amélioration de la qualité de l'air	Diminution des émissions de gaz à effet de serre et des fumées diesel
Efficacité énergétique	Consommation énergétique plus performante grâce à l'électrification
Réduction des nuisances sonores	Les trains électriques sont plus silencieux que les trains diesel
Désenclavement des zones traversées	Meilleure connexion entre le Nord et le Sud du pays
Valorisation des infrastructures nationales	Renforcement du réseau ferroviaire national et de la boucle Sud-Est

Le projet ferroviaire Ghardaïa – El Ménée engendre plusieurs impacts environnementaux et géotechniques liés principalement aux travaux de terrassement, à l'ensablement et à la gestion des matériaux. Afin de réduire ces effets, des mesures de protection et d'atténuation ont été proposées dans le cadre du **PGES** (Plan de Gestion Environnementale et Sociale), notamment la stabilisation des sols, la lutte anti-éolienne et la réhabilitation des zones affectées. Le tableau suivant présente les principaux impacts identifiés ainsi que **les mesures envisagées** :

Impacts négatifs	Mesures d'atténuation
Modification du relief naturel et perturbation des sols	Optimisation du bilan déblais/remblais et revégétalisation des zones affectées
Risques d'érosion, de glissement et d'instabilité des talus	Adaptation des pentes, compactage, drainage et protection des talus
Dégradation des paysages et des écosystèmes par l'exploitation des carrières et gîtes d'emprunt	Utilisation prioritaire des sites existants et réhabilitation des zones exploitées
Accumulation des matériaux excédentaires et impact visuel des dépôts	Réemploi maximal des déblais, nivellement et stabilisation des dépôts
Perturbation de l'écoulement naturel des eaux et risques d'inondation	Réalisation de fossés de drainage et d'ouvrages hydrauliques adaptés
Perte de fertilité des sols due au décapage de la terre végétale	Stockage séparé de la terre végétale et réutilisation lors de la remise en état
Production de déchets rocheux et sableux	Valorisation des matériaux dans les remblais, enrochements et dispositifs anti-ensablement

Pour protéger la ligne ferroviaire contre l'ensablement, notamment dans le cadre du projet une nouvelle ligne Ghardaïa - El Ménéa, les sources identifient deux types de mesures complémentaires :

Mesure	Principe	Objectif principal
Terrassement des dunes	Remodeler les dunes et stabiliser le sable à l'aide de gabions remplis de pierres	Réduire la mobilité des dunes
Brise-vents	Installer des barrières pour diminuer la vitesse du vent	Réduire le transport du sable vers la voie ferrée
Quadrillage des dunes	Créer des structures géométriques à la surface du sable	Piéger le sable et limiter son déplacement
Pieux à turbulence	Planter des rangées de poteaux pour créer des turbulences d'air	Empêcher le dépôt du sable sur les voies
Fossés pièges à sable	Creuser des tranchées pour capter le sable transporté	Stocker temporairement le sable avant qu'il n'atteigne la voie

Fixation mécanique par mailles plastiques	Recouvrir les dunes avec des filets synthétiques	Renforcer et stabiliser la surface du sable
Fixation biologique	Planter des arbustes adaptés au désert avec protections individuelles	Stabiliser durablement le sable grâce aux racines

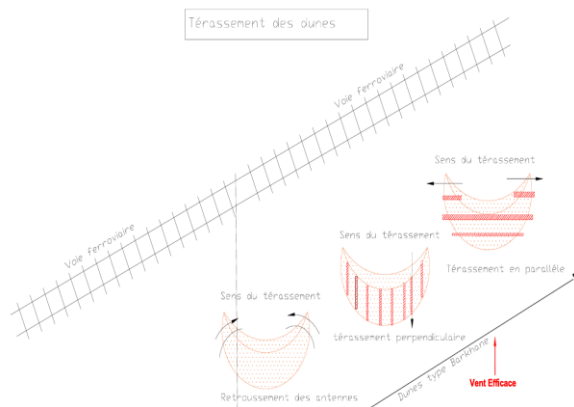


Figure XI-1: Terrassement des dunes

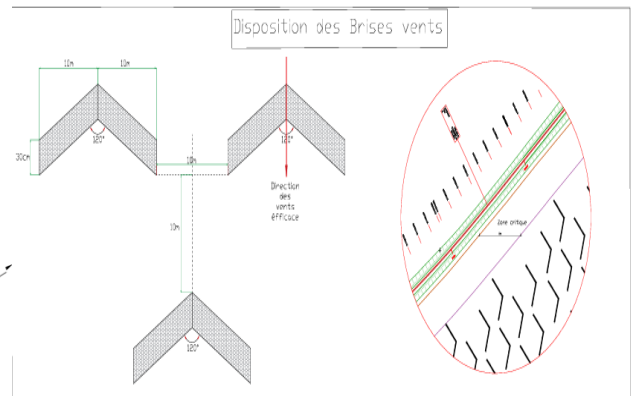


Figure XI-2: Les brises vents



Figure XI-3: Fixation mécanique : La maille en plastique



Figure XI-4: Fixation biologique

XI.3. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons montré que le tronçon ferroviaire entre le PK 85+441 et le PK 97+000 a un impact environnemental limité, grâce aux mesures de protection mises en œuvre. Ce projet contribue au développement durable de la région tout en préservant l'équilibre écologique.

CHAPITRE XII
DEVIS ESTIMATIF ET
QUANTITATIF

Chapitre XII : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF**XII.1. Introduction**

Le devis estimatif et quantitatif est un document essentiel dans la planification et la gestion des projets de construction. Il joue un rôle crucial en fournissant une évaluation détaillée des coûts et des quantités des matériaux, équipements, et main-d'œuvre nécessaire à la réalisation d'un projet.

Ce document permet non seulement de prévoir les dépenses et d'établir un budget précis, mais aussi d'assurer un suivi rigoureux de l'avancement des travaux.

Un devis estimatif et quantitatif bien élaboré facilite la prise de décisions éclairées et contribue à minimiser les risques financiers en identifiant les besoins spécifiques du projet dès les phases initiales. Il sert de référence tout au long du projet, permettant de comparer les coûts réels aux prévisions et d'ajuster les plans en conséquence. De plus, il constitue un outil de communication indispensable entre les différents intervenants, notamment les maîtres d'ouvrage, les entrepreneurs, et les fournisseurs.

XII.2. Devis estimatif et quantitatif

N°	DESIGNATIONS DESTRAVAUX	U	Quantité	Prix Unitaire DA	Montant DA
01	INSTALLATION DE CHANTIER				
1.01	Amenée du matériel et installation général du chantier	F	1	489 075 039.48	489 075 039.48
1.02	Repli du matériel et des installations du chantier	F	1	18 340 313.98	18 340 313.98
1.04	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1	26 200 448.54	26 200 448.54
1.05	Repliement du laboratoire de chantier	F	1	6 986 786.28	6 986 786.28
1.06	Etude d'exécution	F	1	172 262 901.00	172 262 901.00
1.07	Plans de recollements	F	1	80 677 520.00	80 677 520.00
TOTAL INSTALLATION DE CHANTIER					793 543 009.28
02	DEGAGEMENT DES EMPRISES				
2.01	Expropriation des propriétaires de terrain	M2	25 000.00	1 064.09	26 602 250.00
2.02	Provision pour travaux de dégagement des entreprises (protection ou déviation de réseaux divers)	F	1.00	57 000 000.00	57 000 000.00
TOTAL DEGAGEMENT DES EMPRISES					83 602 250.00
03	TERRASSEMENTS GENERAUX				

Chapitre XII: DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

3.01	Décapage de terre végétale sur épaisseur de 0.30 m	M3	35 446.18	527.00	18 680 134.75
3.02	Déblais en terrain rocheux mis en dépôt	M3	540 826.50	2 056.00	1 111 939 284.00
3.03	Remblais d'apport en matériaux sélectionné	M3	275 042.00	1 100.00	302 546 200.00
3.04	Plus-value de transport au-delà de 5 Km.	M3xKM	432 661.20	25.00	10 816 530.00
3.05	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme de 0.35 m	M3	47 242.20	1 400.00	66 139 080.00
3.06	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation de 0.15 m ep	M3	18 580.80	3 375.00	62 710 200.00
3.07	Fourniture et mise en œuvre de la couche de s/ballast de 0.20 m ep	M3	23 166.70	3 375.00	78 187 612.50
3.08	Matériau drainant D 20/63	M3	27 960	3000.00	83 880 000.00
3.09	Matériau de de classe Qs2 ou Qs3	M3	15 158	1100.00	16 673 800.00
3.10	Enrochement D 20/500	M3	13 200	1100.00	14 520 000.00
3.11	Géotextile	M2	22 960	1600.00	36 736 000.00
TOTAL TERRASSEMENTS GENERAUX					1 786 155 041.25
04	DRAINAGE ET ASSAINISSEMENTS				
	DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT EN GARES				
4.01	Drainage et assainissement en gare	ML	2 400.00	15 905.92	38 174 200.00
	DRAINAGE ET ASSAINISSEMENTS - TRACE				
4.02	Fourniture et mise en œuvre de fossé en béton armé (prof * largeur totale) Type 02 dim : 0.70 x 0.70 ml	ML	25 938.48	8 000.00	207 507 840.00
	TOTAL GARE ET TRACE				245 682 040.00
	DALOTS				
	01 - DALOT TYPE: 1 x (3 00 x 2 00)				
4.03	Fourtiture et pose dalot en béton armé type1 x (3 00 x 2 00)	U	1.000	2 022 244.40	2 022 244.40
	02 - DALOT TYPE: 2 x (3 00 x 2 00)				
4.04	Fourtiture et pose dalot en béton armé type2 x (3 00 x 2 00)	U	1.000	3 291 975.94	3 291 975.94
	03 - BUSE 1*(Ø1500)				

Chapitre XII: DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

4.05	Fourniture et pose de la buse en béton armé 1*(Ø1500)	U	1.000	1 688 013.04	1 688 013.04
	04 - BUSE 2*(Ø1500)				
4.06	Fourniture et pose de la buse en béton armé 2*(Ø1500)	U	1.000	3 244 794.08	3 244 794.08
TOTAL DRAINAGE ET ASSAINISSEMENTS					255 929 067.46
05	TRAVAUX DE VOIE				
	01-TRACE				
5.01	Fourniture et pose ballast	M3	18 454.700	7 547.68	139 290 170.10
5.02	Pose de voie ferrée UIC 60	ML	11 769.240	7 000.00	82 384 680.00
5.03	Soudage électrique	U	654	22 451.05	14 682 986.70
5.04	Fourniture et pose poteaux kilométrique	U	12	17 783.89	213 406.68
5.05	Fourniture et pose bornes de repère	U	20	11 272.15	225 443,00
5.06	Fourniture et pose poteaux de déclivité	U	2	9 024.07	18 048.14
5.07	Libération des contraintes du LRS	ML	23 538.480	863.00	20 313 708.24
5.08	Homogénéisation des contraintes	ML	500.00	400.00	200 000.00
	FOURNITURE DE MATERIEL ET MATERIAUX DE VOIE - TRACE				
5.09	Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60 34 kg/m)	T	1 412.309	330 000.00	466 061 904.00
5.10	Fourniture des traverses monobloc	U	19 615	15 000.00	294 231 000.00
5.11	Fourniture des attachés pour rails UIC 60	U	78 462	1 400.00	109 846 240.00
5.12	Fourniture semelle cannelée (200x165x9) mm	U	39 231	300.00	11 769 240.00
	TOTAL - TRACE				1 139 236 826.86
	02 - GARE VOYAGEUR DE HASSI EL FHAL				
5.14	Fourniture et pose ballast	M3	4 712.000	7 547.68	35 564 668.16
5.15	Pose de voie UIC 60	ML	4 100.00	7 000.00	28 700 000.00
5.16	Soudage aluminiothermique	U	32	22 451.05	718 433.60
5.17	Soudage électrique	U	176	22 451.05	3 951 384.80
5.18	Fourniture et pose traverses de garage franc	U	2	59 306.45	118 612.90
5.19	Pose d'un appareil de voie simple type				

Chapitre XII: DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

	UIC 60 E1 500 1/12 DD	U	3	663 098.70	1 989 296.10
	UIC 60 E1 500 1/12 DG	U	1	663 098.70	663 098.70
	UIC 60 E1 300 1/9 DD	U	2	586 245.47	1 172 490.94
	UIC 60 E1 300 1/9 DG	U	2	586 245.47	1 172 490.94
5.20	Heurtoir	U	2	936 687,00	1 873 374,00
	FORNITURE DE MATERIEL ET MATERIAUX DE VOIE - GARE				
5.21	Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60 34 kg/m)	T	144	330 000.00	47 520 000.00
5.22	Fourniture des traverses bi-bloc	U	1 542	15 000.00	23 125 000.00
5.23	Fourniture des traverses monobloc	U	5 292	15 000.00	79 375 000.00
5.24	Fourniture des attachés pour rails UIC 60	U	27 333	1 400.00	38 266 666.67
5.25	Fourniture semelle cannellée (200x165x9)	U	13 667	300.00	4 100 000.00
5.26	Fourniture d'un appareil simple type				
	UIC 60 E1 500 1/12 DD	U	3	26 000 000.00	78 000 000.00
	UIC 60 E1 500 1/12 DG	U	1	26 000 000.00	26 000 000.00
	UIC 60 E1 300 1/9 DG	U	2	22 000 000.00	44 000 000.00
	UIC 60 E1 300 1/9 DD	U	2	22 000 000.00	44 000 000.00
	TOTAL GARE VOYAGEUR DE HASSI EL FHAL				460 310 516.81
	TOTAL TRAVAUX DE VOIE				1 599 547 343.67
06	OUVRAGE D'ART				
6.01	Réalisation d'un passage inférieur	F	1	4 291 975.94	4 291 975.94
07	TRAVAUX DE QUAIS ET ANNEXES				
7.01	Réalisation d'un quai ferroviaire y compris abris en charpente métallique passerelle en charpente métallique et éclairage extérieur.	ML	700.00	6 062.69	4 243 880.00
08	TRAVAUX DE BATIMENT				
	BATIMENT GARE DE HASSI LEFHAL				
8.01	Réalisation de bâtiment de gare y compris aménagement extérieur et ouvrages annexes.	F	1.00	46 392 709.44	46 392 709.44
09	INSTALLATION DE CABLES ET SIGNALISATIONS				
9.01	Installation des câbles et système de signalisation.	F	1.00	533 992 034.55	533 992 034.55

MONTANT TOTAL EN HT (DA)	5 067 697 311.59
MONTANT TV (19%)	962 862 489.20
MONTANT TTC (DA)	6 030 559 800.79

MONTANT TOTAL EN TTC (EN LETTRES) :

Six milliards trente millions cinq cent cinquante-neuf mille huit cents dinars algériens et soixante-dix-neuf centimes.

CHAPITRE XIII
PLANIFICATION DU PROJET

Chapitre XIII : PLANIFICATION DE PROJET

XIII.1. Introduction

Dans le domaine de la construction l'organisation de chantier est essentielle pour coordonner efficacement les ressources et mener à bien les travaux. Les entreprises de travaux publics sont confrontées à des défis tels que les intempéries nécessitant une planification minutieuse. Avant le début des travaux une étude approfondie est menée pour anticiper les obstacles et établir un plan clair. Cette planification constitue la base sur laquelle repose le succès du chantier en minimisant les risques et en maximisant l'efficacité des opérations.

XIII.2. Planification

La planification est un processus dynamique qui vise à optimiser l'utilisation des ressources disponibles notamment la main-d'œuvre pour garantir l'efficacité des actions entreprises tout en minimisant les coûts. Elle repose sur une recherche constante de méthodes et de pratiques efficaces.

Le planning quant à lui représente un document central sur un chantier englobant toutes les parties prenantes du client aux entreprises chargées de la réalisation. Il sert de référence commune pour coordonner les activités établir les délais et assurer une communication fluide entre les différentes équipes.

XIII.2.1. Objectifs de la planification

La planification vise à atteindre les objectifs suivants :

- Optimiser l'utilisation des ressources disponibles.
- Coordonner les activités et les étapes du projet.
- Identifier et atténuer les risques potentiels.
- Respecter les délais fixés pour le projet.
- Améliorer la communication entre les parties prenantes.
- Minimiser les dépenses tout en réalisant le projet de manière efficace sur le plan financier.

XIII.3. Le diagramme de GANTT

Le diagramme de Gantt constitue l'un des outils graphiques essentiels employés dans la planification des travaux sur un chantier.

Le diagramme de Gantt est un outil clé en ordonnancement et en gestion de projet permettant de visualiser chronologiquement les diverses tâches d'un projet. Il offre une représentation visuelle des délais projetés pour chaque tâche facilitant ainsi le suivi de l'avancement global du projet.

- ✓ Les éléments clés à considérer lors de l'établissement d'un planning Gantt incluent :
- ✓ La séquence logique des tâches en fonction de leurs relations mutuelles.
- ✓ Le nombre total d'heures estimées pour l'exécution basées sur le devis quantitatif.
- ✓ L'efficacité du matériel disponible sur le chantier.
- ✓ Le délai d'exécution.

XIII.4. Résumé de notre projet

Sur notre projet nous avons réalisé le diagramme de GANTT en utilisant le logiciel PRIMAVERA.

Le délai d'exécution du présent projet est arrêté à 382 Jours (21-jui-26 à 06-jul-27) reparti conformément au planning et qui se résume comme suit :

➤ LOT.1 – INSTALLATION DE CHANTIER :

Durée : 307 jours

Tâches clés :

- Repliement du laboratoire de chantier.
- Repli du matériel et des installations du chantier.
- Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier.
- Aménage du matériel et installation général du chantier.

Interprétation :

Ce lot concerne les travaux préparatoires nécessaires au démarrage du chantier ainsi que les opérations de repli en fin de projet. Il comprend l'installation du laboratoire de chantier la mobilisation des équipements et du matériel nécessaires à l'exécution des travaux afin d'assurer une bonne organisation du chantier et le contrôle technique des ouvrages.

➤ LOT.2 – ÉTUDES :

- Durée : 382 jours

Tâches clés :

- Plan d'AS-BUILT
- Étude d'exécution

Interprétation :

Ce lot regroupe les études techniques nécessaires à la bonne réalisation du projet. Il comprend les études d'exécution permettant de préciser les détails techniques des ouvrages ainsi que l'élaboration des documents AS-BUILT destinés à représenter les travaux réellement exécutés après achèvement.

➤ LOT.3 – DÉGAGEMENT DES EMPRISES :

Durée : 30 jours

Tâches clés :

- Expropriation des propriétaires de terrain.
- Préparation des zones destinées aux travaux.

Interprétation

Ce lot a pour objectif de libérer les terrains destinés aux travaux afin de garantir un accès total à l'emprise du projet. Il comprend les procédures d'expropriation et les opérations préparatoires permettant le lancement des travaux dans de bonnes conditions.

➤ LOT.4 – TERRASSEMENTS GÉNÉRAUX :

Durée : 122 jours

Tâches clés :

- Fourniture et pose du gabionnage.
- Réalisation des remblais en matériaux sélectionnés.
- Déblais en terrain semi-rocheux.
- Mise en œuvre des couches de sous-ballast, fondation et forme.
- Décapage du terrain végétal.

Interprétation :

Ce lot concerne les travaux de préparation et d'aménagement du terrain destinés à recevoir les infrastructures ferroviaires. Il comprend les opérations de décapage, déblais, remblais ainsi que la mise en œuvre des différentes couches de fondation nécessaires pour assurer la stabilité et la résistance de la plateforme.

➤ LOT.5 – DRAINAGES ET ASSAINISSEMENT :

Durée : 145 jours

Tâches clés :

- Réalisation des regards de nettoyage et de contrôle.
- Mise en œuvre des tranchées drainantes.
- Réalisation des fossés en béton.
- Mise en œuvre des ouvrages dalots et buses.

Interprétation :

Ce lot vise à assurer l'évacuation et la gestion des eaux afin de protéger les infrastructures contre les infiltrations et les dégradations. Il comprend la réalisation des regards tranchées drainantes fossés dalots et buses permettant de garantir un bon système d'assainissement du projet.

➤ LOT.6 – POSE DE VOIE :

Durée : 105 jours

Tâches clés :

- Fourniture et pose du ballast.
- Pose des appareils de voie simple type UIC60.

- Mise en place des rails et traverses.
- Réalisation des soudures électriques et aluminothermiques.

Interprétation :

Ce lot regroupe les opérations liées à la mise en place de la voie ferrée. Il comprend la pose du ballast des rails des traverses et des appareils de voie ainsi que les travaux de soudure nécessaires pour assurer la continuité la stabilité et la sécurité du réseau ferroviaire.

➤ LOT.7 – OUVRAGES D’ART :

Durée : 9 jours

Tâches clés :

- Réalisation du passage inférieur.

Interprétation :

Ce lot concerne la réalisation des ouvrages de franchissement nécessaires au projet ferroviaire notamment le passage inférieur. Cet ouvrage facilitant le passage sécurisé des autres usagers

➤ LOT.8 – QUAIS ET ANNEXES :

Durée : 37 jours

Tâches clés :

- Mise en œuvre l’éclairage extérieur.
- Construction de passerelles.
- Mise en place des abris de quais.
- Réalisation des quais.

Interprétation :

Ce lot concerne l’aménagement des espaces destinés aux voyageurs et aux usagers de la gare. Il comprend la réalisation des quais, des passerelles, des abris ainsi que l’installation de l’éclairage extérieur afin d’améliorer les conditions d’accès de sécurité et de confort.

➤ LOT.9 – BÂTIMENTS DES VOYAGEURS :

Durée : 142 jours

Tâches clés :

- Réalisation du gros œuvre (superstructure et infrastructure).
- Travaux de finition : menuiserie peinture revêtement électricité et plomberie sanitaire.
- Aménagement extérieur et travaux VRD.

Interprétation :

Ce lot comprend les travaux de construction du bâtiment destiné aux voyageurs depuis le gros œuvre jusqu'aux travaux de finition. Il inclut également les aménagements extérieurs et les réseaux divers nécessaires pour assurer le bon fonctionnement et le confort des installations.

➤ LOT.10 – SIGNALISATION ET INSTALLATIONS

Durée : 120 jours

Tâches clés :

- Fourniture et pose du système de signalisation.
- Installation des câbles nécessaires au fonctionnement du réseau.

Interprétation :

Ce lot concerne les équipements techniques nécessaires au fonctionnement du réseau ferroviaire. Il comprend la mise en place du système de signalisation et l'installation des câbles permettant d'assurer la gestion, le contrôle et la sécurité de la circulation ferroviaire.

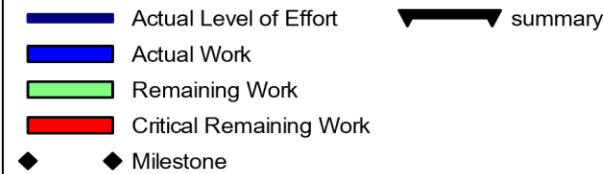
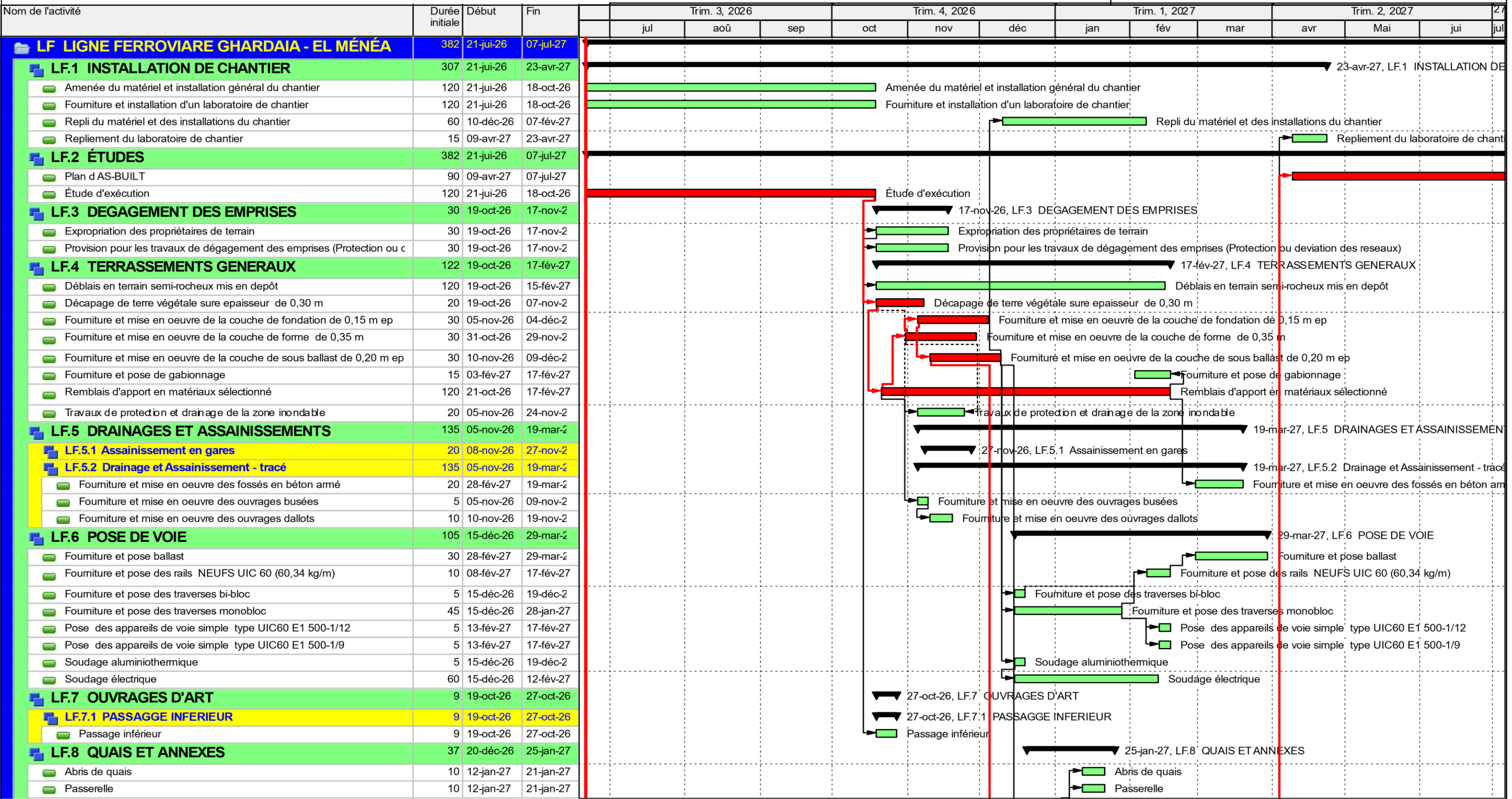
Le schéma explicatif de programme proposé est présenté en format A3

XIII.5. Conclusion

Le planning montre une organisation claire, compacte et bien séquencée des travaux sur une période de 12 mois et 16 jours (21-jui-26 à 06-jul-27). Le projet semble réaliste et réalisable avec une bonne gestion des lots.

Étude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire GHARDAIA-MENEA du (pk 86+106 au pk97+000) y compris la gare HASSI LAFHEL

Réalisée par:
CHERRAD Maroua
BELHAOUCHAT SEYF EDDINE



Étude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire GHARDAIA-MENEA du (pk 86+106 au pk97+000) y compris la gare HASSI LAFHEL

Réalisée par:
CHERRAD Maroua
BELHAOUCHAT SEYF EDDINE

Nom de l'activité	Durée initiale	Début	Fin	Trim. 3, 2026			Trim. 4, 2026			Trim. 1, 2027			Trim. 2, 2027			27
					jul	aoû	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	Mai	jui
Quais	15	20-déc-26	03-jan-27								Quais					
Éclairage extérieur	10	16-jan-27	25-jan-27								Éclairage extérieur					
LF.9 BATIMENTS DES VOYAGEURS	142	19-oct-26	09-mar-27										09-mar-27			
LF.9.1 GROS ŒUVRE	120	19-oct-26	15-fév-27										15-fév-27, LF.9.1 GROS ŒUVRE			
LF.9.2 TRAVAUX DE FINITION	22	16-fév-27	09-mar-27										09-mar-27, LF.9.2 TRAVAUX DE FINITION			
LF.9.3 AMÉNAGEMENT EXTÉRIEUR ET VRD	80	18-déc-26	07-mar-27										07-mar-27, LF.9.3 AMÉNAGEMENT EXTÉRIEUR ET VRD			
LF.10 SIGNALISATION ET INSTALLATION DE CÂBL	120	10-déc-26	08-avr-27										08-avr-27, LF.10 SIGNALISATION ET INST			
LF.10.1 SIGNALISATION	60	08-fév-27	08-avr-27										08-avr-27, LF.10.1 SIGNALISATION			
Fourniture et pose du système de signalisation.	60	08-fév-27	08-avr-27										Fourniture et pose du système de signalisa			
LF.10.2 INSTALLATION DE CÂBLES	60	10-déc-26	07-fév-27										07-fév-27, LF.10.2 INSTALLATION DE CÂBLES			
Pose des câbles	60	10-déc-26	07-fév-27										Pose des câbles			

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le présent mémoire a porté sur l'étude d'avant-projet détaillé (APD) du tronçon ferroviaire reliant Ghardaïa à El Ménéa situé dans le réseau nord-sud algérien. Ce projet s'inscrit dans une vision stratégique nationale visant à renforcer la connectivité entre les régions du Nord et du Sud à favoriser le désenclavement du Sahara et à soutenir le développement économique et territorial.

Tout au long de cette étude plusieurs volets techniques ont été abordés notamment la définition du tracé en plan et en profil en long, les études géotechniques et hydrologiques, la conception des profils en travers, la structure de la voie ferrée ainsi que les équipements de signalisation et de sécurité. Une attention particulière a également été accordée à l'adaptation du projet aux contraintes spécifiques du milieu saharien.

Les résultats obtenus ont permis de proposer un tracé cohérent et techniquement réalisable tenant compte des contraintes topographiques, des conditions climatiques extrêmes et des exigences de durabilité de l'infrastructure. Les solutions retenues visent à garantir la sécurité, la fiabilité et l'efficacité de l'exploitation ferroviaire sur le long terme.

Ce travail a constitué une opportunité de mise en pratique des connaissances acquises au cours de la formation tout en développant des compétences en conception ferroviaire et en analyse des contraintes réelles de terrain. Il représente également une contribution modeste mais significative à la réflexion autour du développement des infrastructures de transport dans le sud algérien.

Enfin, ce mémoire ouvre la voie à des études complémentaires notamment les études d'exécution, l'optimisation du tracé ainsi que l'évaluation socio-économique du projet. Il constitue une base de travail solide pour les phases futures de réalisation dans une perspective de développement durable et intégré du réseau ferroviaire national.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] C. N. Pyrgidis Railway Transportation Systems: Design Construction and Operation: CRC press 2016
- [2] Cours voie ferrée de Mr. Morsli ENSTP.
- [3] Cours hydraulique et assainissement de RAHMANI Daoudi ENSTP
- [4] Rapport protection des routes contre l'ensablement : cas du sud Algérien (Nabil KEBAILI1 et Nouredine MOUDJAHED2)
- [5] Guide technique de lutte contre l'ensablement Edition CRSTRA 2015.
- [6] SETIRAIL « Rapport de l'étude géologique et géotechnique ».
- [7] SETIRAIL « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».
- [8] Cours hydraulique et assainissement de Mr. RAHMANI ENSTP.
- [9] Groupe d'experts nationaux et internationaux Règlement Parasismique des Ouvrages d'Art 2024 Alger ministère des Travaux Publics.
- [10] les normes UIC (741). Quais des gares à voyageurs-Règles pour l'implantation des bordures des quais par rapport à la voie.
- [11] UIC 719 R Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire 2ème Edition.
- [12] UIC 719 R Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire 3ème Edition.
- [13] SNTF Référentiel technique version 02 chapitre 6 : Géométrie de la voie 2005.
- [14] SÉTRA Guide technique : Assainissement routier Octobre 2006.
- [15] SNTF Référentiel technique version 02 chapitre 7.2.2 : Ouvrages en terre pour plateformes ferroviaires.
- [16] SNTF Fiche de normalisation : aménagement et gare trace des voies 3e édition JUIN 1985.
- [17] SNTF chapitre 10 signalisation et télécommunication version 2.
- [18] Mémoires de voie ferrée école nationale des travaux publics.

ANNEXE

ANNEXE A : Listing profil en long

<i>Profil En Long Projet</i>				
Els Caractéristiques			Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon	Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente 0.00 %	1390 372	85+325.000	373 453
Cercle 1	Rayon 20000.000 m	319 959	86+715.372	373 453
	Sommet Absc. 86+715.372 m			
	Sommet Alt. 373.453 m			
Pente 2	Pente 1.60 %	212 068	87+035.331	376 013
Cercle 2	Rayon -18000.000 m	575 926	87+247.399	379 406
	Sommet Absc. 87+535.362 m			
	Sommet Alt. 381.709 m			
Pente 3	Pente -1.60 %	228 064	87+823.325	379 406
Cercle 3	Rayon 18000.000 m	287 963	88+051.390	375 757
	Sommet Absc. 88+339.353 m			
	Sommet Alt. 373.453 m			
Pente 4	Pente 0.00 %	2797 009	88+339.353	373 453
Cercle 4	Rayon -40000.000 m	117 999	91+136.362	373 453
	Sommet Absc. 91+136.362 m			
	Sommet Alt. 373.453 m			
Pente 5	Pente -0.30 %	3007 001	91+254.362	373 279
Cercle 5	Rayon 40000.000 m	117 999	94+261.362	364 409
	Sommet Absc. 94+379.362 m			
	Sommet Alt. 364.234 m			
Pente 6	Pente 0.00 %	1891 196	94+379.362	364 234
Cercle 6	Rayon -37000.000 m	99 608	96+270.558	364 234
	Sommet Absc. 96+270.558 m			
	Sommet Alt. 364.234 m			
Pente 7	Pente -0.27 %	1006 451	96+370.166	364 100
Cercle 7	Rayon 38000.000 m	103 242	97+376.617	361 391
	Sommet Absc. 97+478.916 m			
	Sommet Alt. 361.253 m			
Pente 8	Pente 0.00 %	814 377	97+479.859	361 253
			98+294.236	361 273
Longueur totale de l'axe 12969.236 mètre(s)				
Longueur développée totale de l'axe 12969.360 mètre(s)				

ANNEXE B : Listing Axe en plan

<i>Axe En Plan</i>					
Elts Caractéristiques			Points de Contacts		
Nom	Paramètres	Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement 243.50gr	1996 725	85+325.000	567061 899	3497148 781
Clothoïde 1	Paramètre 648 074	140 000	87+321.725	565801 285	3495600 310
Arc 1	Rayon 3000.000 m Centre X 568083.820 m 3493651.831 Centre Y m	509 912	87+461.725	565713 747	3495491 057
Clothoïde 2	Paramètre -648 074	140 000	87+971.637	565436 789	3495063 648
Droite 2	Gisement 229.71gr	1694 205	88+111.637	565372 835	3494939 113
Clothoïde 3	Paramètre 632 456	100 000	89+805.842	564610 627	3493426 047
Arc 2	Rayon 4000.000 m Centre X 568160.558 m 3491581.780 Centre Y m	545 675	89+905.842	564566 010	3493336 553
Clothoïde 4	Paramètre -632 456	100 000	90+451.517	564360 764	3492831 405
Droite 3	Gisement 219.43gr	4009 178	90+551.517	564330 316	3492736 154
Clothoïde 5	Paramètre -670 820	90 000	94+560.695	563125 527	3488912 283
Arc 3	Rayon -5000.000 m Centre X 558343.043 m 3490371.922 Centre Y m	927 443	94+650.695	563098 224	3488826 524
Clothoïde 6	Paramètre 670 820	90 000	95+578.138	562731 642	3487976 051
Droite 4	Gisement 232.39gr	182 745	95+668.138	562688 043	3487897 317
Clothoïde 7	Paramètre -636 396	150 000	95+850.883	562599 036	3487737 713
Arc 4	Rayon -2700.000 m Centre X 560204.101 m 3488987.427 Centre Y m	1068 955	96+000.883	562524 771	3487607 393
Clothoïde 8	Paramètre 636 396	150 000	97+069.838	561813 052	3486819 184
Droite 5	Gisement 261.13gr	1074 398	97+219.838	561690 964	3486732 047
			98+294.236	560810 716	3486116 015
Longueur totale de l'axe 12969.236 mètre(s)					

ANNEXE C : Rapport des vitesses V/Vps et le rapport des hauteurs de remplissage h/D

Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh
0,697	1,080	0,615	0,755	1,099	0,650	0,813	1,114	0,685	0,871	1,126	0,723	0,929	1,135	0,763	0,987	1,139	0,810	1,044	1,133	0,869
0,698	1,080	0,616	0,756	1,099	0,651	0,814	1,115	0,685	0,872	1,126	0,723	0,930	1,135	0,764	0,988	1,139	0,811	1,046	1,133	0,870
0,699	1,080	0,617	0,757	1,100	0,651	0,815	1,115	0,686	0,873	1,126	0,724	0,931	1,136	0,764	0,989	1,139	0,812	1,047	1,132	0,872
0,700	1,081	0,617	0,758	1,100	0,652	0,816	1,115	0,687	0,874	1,126	0,725	0,932	1,136	0,765	0,990	1,139	0,813	1,048	1,132	0,873
0,701	1,081	0,618	0,759	1,100	0,653	0,817	1,115	0,687	0,875	1,126	0,726	0,933	1,136	0,766	0,991	1,139	0,813	1,049	1,131	0,875
0,702	1,081	0,619	0,760	1,100	0,653	0,818	1,116	0,688	0,876	1,126	0,726	0,934	1,136	0,767	0,992	1,139	0,814	1,050	1,131	0,876
0,703	1,082	0,619	0,761	1,101	0,654	0,819	1,116	0,689	0,877	1,126	0,727	0,935	1,137	0,767	0,993	1,139	0,815	1,051	1,130	0,878
0,705	1,082	0,620	0,762	1,101	0,654	0,820	1,116	0,689	0,878	1,127	0,728	0,936	1,137	0,768	0,994	1,139	0,816	1,052	1,130	0,879
0,706	1,082	0,620	0,764	1,101	0,655	0,821	1,117	0,690	0,879	1,127	0,729	0,937	1,137	0,769	0,995	1,139	0,817	1,053	1,129	0,881
0,707	1,083	0,621	0,765	1,102	0,656	0,823	1,117	0,691	0,880	1,127	0,729	0,938	1,137	0,770	0,996	1,139	0,818	1,054	1,129	0,883
0,708	1,083	0,622	0,766	1,102	0,656	0,824	1,117	0,691	0,881	1,127	0,730	0,939	1,138	0,770	0,997	1,139	0,819	1,055	1,128	0,884
0,709	1,084	0,622	0,767	1,102	0,657	0,825	1,117	0,692	0,883	1,127	0,731	0,940	1,138	0,771	0,998	1,139	0,820	1,056	1,128	0,886
0,710	1,084	0,623	0,768	1,102	0,658	0,826	1,118	0,693	0,884	1,127	0,732	0,942	1,138	0,772	0,999	1,139	0,821	1,057	1,127	0,888
0,711	1,084	0,624	0,769	1,103	0,658	0,827	1,118	0,693	0,885	1,127	0,732	0,943	1,138	0,773	1,001	1,139	0,822	1,058	1,127	0,889
0,712	1,085	0,624	0,770	1,103	0,659	0,828	1,118	0,694	0,886	1,128	0,733	0,944	1,138	0,773	1,002	1,139	0,823	1,060	1,127	0,891
0,713	1,085	0,625	0,771	1,103	0,660	0,829	1,119	0,695	0,887	1,128	0,734	0,945	1,139	0,774	1,003	1,139	0,824	1,061	1,126	0,893
0,714	1,085	0,626	0,772	1,104	0,660	0,830	1,119	0,695	0,888	1,128	0,735	0,946	1,139	0,775	1,004	1,139	0,825	1,062	1,126	0,894
0,715	1,086	0,626	0,773	1,104	0,661	0,831	1,119	0,696	0,889	1,128	0,735	0,947	1,139	0,776	1,005	1,139	0,826	1,063	1,125	0,896
0,716	1,086	0,627	0,774	1,104	0,662	0,832	1,119	0,696	0,890	1,128	0,736	0,948	1,139	0,777	1,006	1,139	0,827	1,064	1,125	0,897
0,717	1,086	0,628	0,775	1,104	0,662	0,833	1,120	0,697	0,891	1,128	0,737	0,949	1,139	0,777	1,007	1,139	0,828	1,065	1,124	0,899
0,718	1,087	0,628	0,776	1,105	0,663	0,834	1,120	0,698	0,892	1,129	0,738	0,950	1,139	0,778	1,008	1,139	0,829	1,066	1,123	0,902
0,720	1,087	0,629	0,777	1,105	0,664	0,835	1,120	0,698	0,893	1,129	0,738	0,951	1,139	0,779	1,009	1,139	0,830	1,067	1,121	0,905
0,721	1,087	0,629	0,779	1,105	0,664	0,836	1,121	0,699	0,894	1,129	0,739	0,952	1,139	0,780	1,010	1,139	0,831	1,068	1,119	0,909
0,722	1,088	0,630	0,780	1,106	0,665	0,838	1,121	0,700	0,895	1,129	0,740	0,953	1,139	0,781	1,011	1,139	0,832	1,069	1,117	0,913
0,723	1,088	0,631	0,781	1,106	0,665	0,839	1,121	0,700	0,897	1,129	0,741	0,954	1,139	0,782	1,012	1,139	0,833	1,070	1,116	0,916
0,724	1,089	0,631	0,782	1,106	0,666	0,840	1,121	0,701	0,898	1,129	0,741	0,955	1,139	0,783	1,013	1,139	0,834	1,071	1,114	0,920
0,725	1,089	0,632	0,783	1,106	0,667	0,841	1,121	0,702	0,899	1,129	0,742	0,957	1,139	0,784	1,014	1,139	0,835			
0,726	1,089	0,633	0,784	1,107	0,667	0,842	1,122	0,703	0,900	1,130	0,743	0,958	1,139	0,785	1,016	1,139	0,836			
0,727	1,090	0,633	0,785	1,107	0,668	0,843	1,122	0,703	0,901	1,130	0,744	0,959	1,139	0,786	1,017	1,139	0,837			
0,728	1,090	0,634	0,786	1,107	0,669	0,844	1,122	0,704	0,902	1,130	0,744	0,960	1,139	0,787	1,018	1,139	0,838			
0,729	1,090	0,635	0,787	1,108	0,669	0,845	1,122	0,705	0,903	1,130	0,745	0,961	1,139	0,788	1,019	1,139	0,839			
0,730	1,091	0,635	0,788	1,108	0,670	0,846	1,122	0,706	0,904	1,130	0,746	0,962	1,139	0,789	1,020	1,139	0,840			
0,731	1,091	0,636	0,789	1,108	0,671	0,847	1,122	0,706	0,905	1,130	0,747	0,963	1,139	0,789	1,021	1,139	0,841			
0,732	1,091	0,636	0,790	1,108	0,671	0,848	1,122	0,707	0,906	1,130	0,747	0,964	1,139	0,790	1,022	1,139	0,842			
0,733	1,092	0,637	0,791	1,109	0,672	0,849	1,123	0,708	0,907	1,131	0,748	0,965	1,139	0,791	1,023	1,139	0,843			
0,735	1,092	0,638	0,792	1,109	0,673	0,850	1,123	0,709	0,908	1,131	0,749	0,966	1,139	0,792	1,024	1,139	0,844			
0,736	1,093	0,638	0,794	1,109	0,673	0,851	1,123	0,709	0,909	1,131	0,750	0,967	1,139	0,793	1,025	1,139	0,845			
0,737	1,093	0,639	0,795	1,109	0,674	0,853	1,123	0,710	0,910	1,131	0,750	0,968	1,139	0,794	1,026	1,139	0,846			
0,738	1,093	0,640	0,796	1,110	0,674	0,854	1,123	0,711	0,912	1,131	0,751	0,969	1,139	0,795	1,027	1,139	0,847			
0,739	1,094	0,640	0,797	1,110	0,675	0,855	1,123	0,712	0,913	1,132	0,752	0,970	1,139	0,796	1,028	1,139	0,848			
0,740	1,094	0,641	0,798	1,110	0,676	0,856	1,123	0,712	0,914	1,132	0,753	0,972	1,139	0,797	1,029	1,139	0,849			
0,741	1,094	0,642	0,799	1,111	0,676	0,857	1,124	0,713	0,915	1,132	0,753	0,973	1,139	0,798	1,031	1,139	0,850			
0,742	1,095	0,642	0,800	1,111	0,677	0,858	1,124	0,714	0,916	1,132	0,754	0,974	1,139	0,799	1,032	1,139	0,851			
0,743	1,095	0,643	0,801	1,111	0,678	0,859	1,124	0,715	0,917	1,133	0,755	0,975	1,139	0,800	1,033	1,138	0,853			
0,744	1,095	0,644	0,802	1,111	0,678	0,860	1,124	0,715	0,918	1,133	0,756	0,976	1,139	0,800	1,034	1,138	0,854			
0,745	1,096	0,644	0,803	1,112	0,679	0,861	1,124	0,716	0,919	1,133	0,756	0,977	1,139	0,801	1,035	1,137	0,856			
0,746	1,096	0,645	0,804	1,112	0,680	0,862	1,124	0,717	0,920	1,133	0,757	0,978	1,139	0,802	1,036	1,137	0,857			
0,747	1,096	0,645	0,805	1,112	0,680	0,863	1,125	0,718	0,921	1,133	0,758	0,979	1,139	0,803	1,037	1,136	0,859			
0,749	1,097	0,646	0,806	1,113	0,681	0,864	1,125	0,718	0,922	1,134	0,758	0,980	1,139	0,804	1,038	1,136	0,860			
0,750	1,097	0,647	0,807	1,113	0,682	0,865	1,125	0,719	0,923	1,134	0,759	0,981	1,139	0,805	1,039	1,135	0,862			
0,751	1,098	0,647	0,809	1,113	0,682	0,866	1,125	0,720	0,924	1,134	0,760	0,982	1,139	0,806	1,040	1,135	0,863			
0,752	1,098	0,648	0,810	1,113	0,683	0,868	1,125	0,721	0,925	1,134	0,761	0,983	1,139	0,807	1,041	1,134	0,864			
0,753	1,098	0,649	0,811	1,114	0,684	0,869	1,125	0,721	0,927	1,135	0,761	0,984	1,139	0,808	1,042	1,134	0,866			
0,754	1,099	0,649	0,812	1,114	0,684	0,870	1,125	0,722	0,928	1,135	0,762	0,986	1,139	0,809	1,043	1,133	0,867			

Annexe D : Classification des sols selon UIC

Classification des sols (identification géotechnique)		Classe de qualité des sols
0.1	Sols organiques	QS0
0.2	Sols fins (comportant plus de 15 % de fines ^a) foisonnés, humides et donc non compactables	
0.3	Sols thixotropes ^b (quick-clay par exemple)	
0.4	Sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse)	
0.5	Sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels, par exemple)	
0.6	Sols mixtes "minéraux organiques" ^b	
1.1	Sols comportant plus de 40 % de fines ^a (sauf sols 0.2)	QS1
1.2	Roches très évolutives Par exemple : - Craies de $\rho_d < 1,7 \text{ t/m}^3$ et de friabilité forte - Marnes - Schistes altérés	
1.3	Sols comportant de 15 à 40 % de fines ^a (sauf sols 0.2)	QS1 ^c
1.4	Roches évolutives Par exemple : - Craies de $\rho_d < 1,7 \text{ t/m}^3$ et de friabilité faible - Schistes altérés	
1.5	Roches tendres Par exemple : Si microdeval en présence d'eau (MDE) > 40 et Los Angeles (LA) > 40	
2.1	Sols comportant de 5 à 15 % de fines ^a	QS2 ^d
2.2	Sols comportant moins de 5 % de fines ^a mais uniformes ($C_u \leq 6$)	
2.3	Roches moyennement dures Par exemple : Si $25 < \text{MDE} \leq 40$ et $30 < \text{LA} \leq 40$	

ANNEXE E : Les épaisseurs minimales de la couche d'assise selon UIC719R

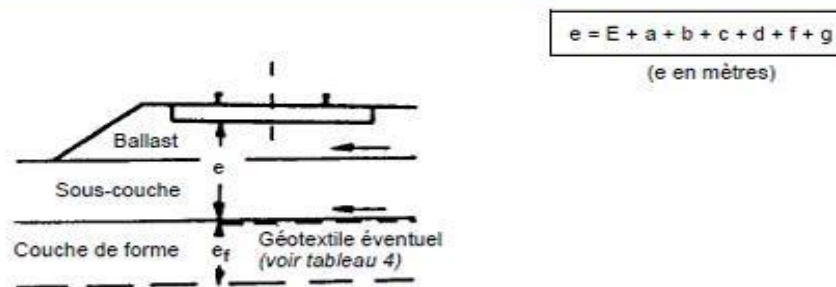


Fig. 9 - Calcul de l'épaisseur minimale "e" des couches d'assise

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

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

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

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

ANNEXE F : Matériaux de zone inondable

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

			Observations
<u>désignation</u>		Granulat 0/D	[2]
Caractéristiques intrinsèques			
résistance	LA+MDA	≤ 80	
Caractéristiques de fabrication			
dimensions nominales	d	0	
	D	63 à 500	
granularité	P[Dmax]	$\geq 99 \%$	
(fuseau de spécification)	P[D]	[1]	
	P[D/20]		
	P[0,08]	$\leq 5 \%$	
angularité			
forme			
propreté			
Caractéristiques complémentaires			
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