République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة

فرنسـيس جانســون

École Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État / Master Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Étude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire entre LAGHOUAT – GHARDAIA du PK 139 +500 au PK 154 + 700 avec l'aménagement et la conception de la gare de BERRIANE

Présenté par :

ROUS Abdellah

Encadré par :

Mr : KHELIF Aissa

Co-Encadré par :

Mr : FERHAT Fedghouche

Promotion 2022 / 2023

© **ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba**

REMERCIEMENT

Au premier lieu, nous tenons à remercier Dieu qui nous a donné le courage et la volonté pour terminer ce travail.

Je tiens à remercier vivement tous ceux qui m'ont aidé à élaborer ce projet et en particulier mon frère et mon encadreur Mr. KHELIF Aissa pour sa disponibilité permanente, pour son aide et ces orientations précieuses, tout le long de ce projet .

Je remercie chaleureusement mes frères Mr. MELLAOUI billel et Mr. KHENICHE Brahim pour leurs soutiens, ses remarques pertinentes et leurs encouragements, tout le long de ce projet .

je remercier aussi le groupe de Cosider T126 et l'ensemble du personnel de SETIRAIL Rouïba pour leurs soutiens et leurs
remarques pendant toute la période du stage Spécialement :
FETOUHI Abdou , AYAD Boumediene, DJEMILI amar ,
HAMADI Imam , SAKTA Oussama ,
BENAISSA Aziz , ARKAB madjid

Je voudrais adresser un grand merci à Mr MORSLI et à tous les personnels de L'ENSTP pour leurs précieux conseils et leurs efforts spécialement
Mr . HAMADI et Mme. BOUREBIA et Mme. MAKOUDI .

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Dédicace

J’ai le grand honneur de dédier ce modeste travail à

À ma très chère mère Safia, la lumière de Mon chemin.

Aucune dédicace ne saurait exprimer l’amour, l’estime, le dévouement et le Respect que j’ai toujours eu pour toi. Rien au monde ne vaut les efforts fournis Jour et nuit pour mon éducation et mon bien être,

Pour ta sacrifices, ta disponibilité et ta soutien tout au long de mon parcours universitaire .

À mes frères Oussama et Abdou et spécialement Ma petite chouchou Hosna

Pour leur appui et leur encouragement

À toute ma famille ROUS et BOUMRAH

Spécialement à mes chers oncles :

Mohamed, Bachir , Brahim, Abderahman, Saad , Dada, Mostapha

Et ma très chère grand-mère : Ghezala c’est à la personne la plus idéale dans ce monde .

À mes coussins

Walid , Yousef, Younes, Khalil, Aissa , Nada , Hana, Hama, Anes, Taha,

À mes meilleurs amis :

Nour Eddine, Moumen, Tayeb, Aymen, Khalil, Adem, Larbi,

Houcine, Adel, Juba, Khetemi, Mohamed, Adnan, Oussama,

Chaker, Yousef , Rachade, Kada, Ilyas, Rabah, Hmaida,

Dia Eddine, Abdellah, Nasro

À l’ensemble des étudiants de ma promotion

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE....1
I. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE....3
I.1. INTRODUCTION :....3
I.2. Histoire de construction du chemin de fer en Algérie :....3
I.2.1. Pendant la colonisation française :....3
I.2.2. Après l'indépendance de l'Algérie :....4
I.3. Le réseau ferroviaire national actuel :....5
I.4. Plan de développement :....6
I.5. Conclusion :....8
II. PRESENTATION DU PROJET....8
.II.1 INTRODUCTION....8
II.2. PRESENATION DE LA ZONE D'ETUDE :....8
II.2.1. Situation géographique :....9
II.2.2. Relief :....10
II.2.3. Climat :....11
II.2.4. Sismicité :....11
II.3. Présentation du projet :....11
II.3.1. Infrastructures de bases existantes :....12
II.3.2. Les caractéristiques du projet :....12
II.3.3. Caractéristiques de la Voie....13
II.4. Conclusion :....14
III. SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE....15
III.1. INTRODUCTION :....15
III.2. L'armement de la voie :....15
III.2.1. Les rails :....15
III.2.2. Les Traverses :....18
III.2.3. Les Attaches :....19
III.2.4. L'appareil de voie :....20
III.3. conclusion :....22
IV. TRACE EN PLANE....23
IV.1. INTRODUCTION :....23
IV.2. Conditions et régles à respecter dans le trace en plan:....23
IV.3. Eléments de trace en plan....23
IV.4. Caractéristiques géométriques :....26

IV.5. Application au projet : 26
V. PROFIL EN LONG....29
V.1. INTRODUCTION : 29
V.2. Définition : 29
V.3. Règles a respectées dans le profil en long : 29
V.4. Eléments de composition du profil en long : 29
V.4.1. Déclivité : 29
V.4.2. Courbes de raccordement vertical : 30
V.4.3. Longueur minimale des éléments du profil en long : 30
V.4.4. Rayon admissible en raccordement de profil en long : 31
V.5. Application au projet : 31
V.6. Les contraintes le long du tracé : 32
V.7. Conclusion : 32
VI. ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE....33
VI.1. INTRODUCTION : 33
VI.2. Étude Hydrologique : 33
VI.2.1. Climatologie : 33
VI.2.2. Précipitations : 34
VI.2.3. Description hydrologique : 34
VI.2.4. Caractéristiques morphologiques des bassins versants : 35
VI.3. Étude Hydraulique : 40
VI.3.1. Introduction : 40
VI.3.2. Dimensionnement des ouvrages transversaux : 40
VI.3.3. Ouvrages d'assainissement longitudinaux : 42
VI.3.4. Dimensionnement des fossés....43
VI.4. CONCLUSION : 45
VII. Étude géologique et géotechnique....47
VII.1. Introduction : 47
VII.2. L'étude géologiques : 47
VII.2.1. Aperçu géologique régionale : 47
VII.3. Contexte géologique de ce tronçon : 48
VII.3.1. Risques géologiques : 49
VII.4. ÉTUDE GEOTECHNIQUE : 50
VII.4.1. Introduction : 50
VII.4.2. Programme d'investigation géotechnique : 50
VII.4.3. Interprétation des résultats : 57
VII.4.4. Réutilisation des matériaux excavés : 57

VII.4.5. Gîtes D'emprunts Et Carrières 57
VII.5. Conclusion : 58
VIII. Assise ferroviaire 59
VIII.1. INTRODUCTION : 59
VIII.2. Le Ballast : 59
VIII.2.1. Rôle de Ballast : 59
VIII.2.2. Matériau : 60
VIII.3. Sous Couche : 60
VIII.3.1. Rôle de la sous couche : 60
VIII.4. La plate-forme : 60
VIII.4.1. Définition : 60
VIII.4.2. Classification des sols pour la plateforme : 61
VIII.4.3. La classe de portance de la plateforme : 61
VIII.5. Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise : 62
Application au projet : 64
VIII.6. Conclusion : 65
IX. Profile en Travers 66
IX.1. INTRODUCTION : 66
IX.1.1. Profil en travers type : 66
IX.1.2. Profil en travers courant : 66
IX.2. Les éléments du profil en travers : 66
IX.2.1. Eléments de superstructure : 66
IX.2.2. Eléments de l'infrastructure : 66
IX.2.3. Eléments du talus : 67
IX.2.4. Eléments d'assainissement : 67
IX.3. Profile en travers type de mon projet : 67
IX.4. Calcul des cubatures : 68
IX.5. Conclusion : 68
X. LES OUVRAGES D'ART 70
X.1. INTRODUCTION : 70
X.1.1. Les croisement avec la route : 71
X.1.2. Passage inférieur : 71
X.1.3. Passage supérieur : 71
X.2. Les ouvrages de notre projet : 72
X.3. LES TERRASSEMENTS 73
X.4. INTRODUCTION : 73
X.5. Pente de talus : 73

X.6. STABILITE EN RUPTURE CIRCULAIRE D'UN TALUS 74
X.7. Conclusion : 75
XI. Conception et aménagement de la gare 76
XI.1. INTRODUCTION : 76
XI.2. CATEGORIES DES GARES : 76
XI.3. Etude du plan de masse de la gare : 76
XI.4. Aménagement d'une gare 77
XI.5. CONCEPTION DE LA GARE DE BERRIANE : 78
XI.5.1. L'emplacement de la gare : 78
XI.5.2. LES CARACTERISTIQUES DE LA GARE DE BERRIANE : 79
XI.6. Caractéristiques géométriques des gares : 81
XI.6.1. Déclivité dans les gares : 81
XI.6.2. Quai : 81
XI.6.3. Vitesses des lignes : 82
XI.7. Assainissement dans les gares : 83
XI.7.1. Assainissement transversale : 83
XI.7.2. Assainissement longitudinal : 83
XI.8. Configuration de la place de la gare : 84
XI.9. CONCLUSION : 84
XII. Signalisation ferroviaire 85
XII.1. INTRODUCTION : 85
XII.2. OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION : 85
XII.3. FONCTIONS DES SIGNAUX 85
XII.4. Type de signalisations : 86
XII.4.1. Signalisation mécanique ; 86
XII.4.2. Signalisation lumineuse : 86
XII.5. IMPLANTATION DES SIGNAUX 87
XII.6. Le système de signalisation ERTMS : 87
XII.7. Les différents types de blocks : 88
XII.8. Conclusion : 92
XIII. ÉLECTRIFICATION 93
XIII.1. INTRODUCTION : 93
XIII.2. SYSTEME D'ELECTIFICATION : 95
XIII.2.1. Le Système 1X25 KV : 95
XIII.2.2. Architecture du système 1x25 pour l'électrification de la ligne : 96
XIII.2.3. Système 2X25Kv : 96
XIII.2.4. Architecture 2X25Kv pour l'électrification de la ligne : 96

XIV. Impact sur l'environnement 97
XIV.1. INTRODUCTION : 97
XIV.2. Délimitation de la zone d'étude : 97
XIV.2.1. Aperçu générale : 97
XIV.2.2. Situation de la zone d'étude : 97
XIV.3. Description de l'état initial de la zone d'étude : 97
XIV.3.1. Milieu naturel : 97
XIV.3.2. Environnements physiques : 97
XIV.3.3. Le relief : 97
XIV.3.4. Hydrologie : 97
XIV.4. Environnements biologiques : 98
.XIV.4.1 Espèces faunistiques : 98
.XIV.4.2 Espèces floristiques : 98
XIV.5. Milieu humain : 98
XIV.5.1. Population : 98
XIV.5.2. Agriculture : 98
XIV.5.3. Profil socio-économique : 98
XIV.6. Identification et description des impacts 98
XIV.6.1. Les impacts positifs du projet : 98
XIV.6.2. Les impacts négatifs : 99
XIV.7. Identification des contraintes environnementales sur le projet : 100
XIV.8. Contrainte et Risques Géologiques : 100
XIV.8.1. Inondation : 100
XIV.8.2. L'Ensablement : 101
XIV.8.3. Protection contre l'ensablement : 102
XIV.9. CONCLUSION : 104

مـــلخـــــص

تتعلق هذه المذكرة بدراسة تفصيلية أولية لما قبل المشروع (A.P.D) لجزء من خط السكة الحديدية الجديد الرابط بين الاغواط_ غرداية (المقطع من Pk 139+500 إلى PK 154+700) مع تهيئة محطة بريان .

وسيعتمد تحديد الخصائص التقنية لخط السكة الحديدية المقترح على التوصيات وكذلك الممارسات التي يتبعها (SNTF الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية) وغيرها من أنظمة السكك الحديدية الأكثر تطوراً UIC معايير (الاتحاد الدولي للسكك الحديدية)، وقد تم تنفيذ النمذجة الهندسية للمشروع تحت برنامج COVADIS 16.0d .

RESUME

Le présent projet consiste essentiellement à l'étude avant-projet détaillé (A.P.D) d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire Laghouat – Ghardaïa (tronçon du Pk139+500 au Pk 154+700), avec aménagement de la gare de Berriane .

L'identification des caractéristiques techniques les plus appropriées pour la ligne ferroviaire projetée sera basée sur les recommandations ainsi que les pratiques qui sont suivies par la SNTF et les autres systèmes ferroviaires plus développés normes UIC (union internationale de chemin de fer), la modélisation géométrique du projet a été exécutée sous logiciel COVADIS 16.0d.

Summary

This project is mainly to study detailed design (ODA) of a section of the new railway line Laghouat –Ghardaïa (the section from Pk139+500 to Pk 154+700), with development of the station Berriane .

The identification of the most appropriate specifications for the proposed railway line will be based on the recommendations and practices which are followed by SNTF (National Railway Transport Company) and other more developed rail systems UIC standards (International Federation of Railways), geometric modeling of the project was carried out under COVADIS 16.0d software .

LISTE DES FIGURES :

Figure I1- : L'évolution linéaire du réseau ferroviaire en Algérie 5
Figure I2- : Perspective du développement du réseau ferre national.....6
Figure I3- : Récapitulation du taux de réalisation sur le réseaux ferroviaire nationale.....8
Figure II-1 : Réseau Ferroviaire Actuel et Futur.....8
Figure II-2 : Plan de situation de la zone d'étude.....9
Figure II3- : Wilayas limitrophes de la wilaya de Ghardaïa.....9
Figure II4- : Localisation de la Wilaya de Ghardaïa 10
Figure II-5 : Localisation du projet 11
Figure III1- : Les Composants De La Voie 15
Figure III2- : les constituants de la section transversal de rail 16
Figure III3- : Le rail à gorge ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure III-4 : Le rail à double champignon 17
Figure III**5-** : Les traverses en béton.....19
Figure III6- : Attache type Nabla.....19
Figure III7- : Un branchement et ses éléments constitutifs 20
Figure III8- : Schéma illustrative de l'appareil de voie 21
Figure III9- : Distribution des charges sur la voie.....22
Figure IV1- : Eléments de trace et diagramme des courbures.....24
Figure V1- : la valeur précise de la déclivité en fonction de sa longueur 30
Figure V2- : Eléments Géométrique du Profil En Long.....30
Figure V-3 : Profil en long 32
Figure VI-1 : Taux D'humidité Relative De Berriane 34
Figure VI2- : Précipitations Moyennes Mensuelles à Berriane.....34
Figure VI3- : Les Oueds de la Dorsale du M'Zab.....35
Figure VI**4-** : Hauteur de remplissage des buses 41
Figure VII1- : Géologie de l'Algérie.....48
Figure VII-2 : Tracé projeté sur carte géologique d'Algérie 1/500 000 49
Figure VII**3-** : Essai SPT.....52
Figure VII4- : Densité relative (SPT) des matériaux sableux.....53
Figure VIII**1-** :ballaste sur la voie.....59
Figure VIII2- : Les épaisseurs des couches d'assise 63
Figure VIII3- : Les épissures de la couche d'assise 65
Figure IX1- : Constituant d'un profil en travers.....67
Figure X1- : Passage inférieur 71
Figure X2- : Passage supérieur 71
Figure X3- : Intersection de notre trace avec RN 01 72
Figure X4- Intersection de notre trace avec CW 33 73
Figure X5-: Différents types de rupture circulaire 74
Figure X-6 : Calcul de stabilité à long terme (Remblai) 75
Figure XI1- : Abris de quais 78
Figure XI2- : Emplacement de la Gare de Berriane 78
Figure XI3- : heurtoirs fixes et patinant 79

Figure XI4- : Implantation de Garage franc 80
Figure XI5- : Marque de garage franc 80
Figure XI7- : Schéma principale de la gare de Berriane 82
Figure XI6- : la hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie 82
Figure XI8-: Evacuation des eaux du quai intermédiaire 83
Figure XI9- : Drain et sa pente 83
Figure XII1- : Les déférents risques ferroviaires 85
Figure XII2- : Signalisation mécanique 86
Figure XII3- : Signalisation lumineuse 86
Figure XII4- : Principe de Système ERTMS 88
Figure XII5- : Le cantonnement en lumières 89
Figure XIII1- : Schéma de circulation du courant électrique 93
Figure XIII2- : Le Support de caténaire 94
Figure XIII3- : Le pantographe 94
Figure XIII4- : Le fil de contact 95
Figure XIII5- : Schéma exemplaire d'une alimentation avec le système 1X25KV 95
Figure XIV1- : Forte turbidité des eau 100
Figure XIV2- : systèmes de gabionnage linéaire 101
Figure XIV3- : Digue de rétention et de régulation 101
Figure XIV4- : L'Ensablement en voie ferrée 101
Figure XIV5- : Cyprès vert 102
Figure XIV6- : Pin d'Alep 102
Figure XIV7- : Parcelle de Tamarix 103
Figure XIV8- : Parcelle d'Eucalyptus 103
Figure XIV9- : Technique de palissade 103

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau III-1 : Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1 17
Tableau III-2 : les caractéristiques d'appareils de voie 21
Tableau IV**1-** : Paramètres géométriques de trace en plan (SNTF) 26
Tableau IV**2-** : Paramètres géométriques de trace en plan (SNTF) 26
Tableau IV-3 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé 22
Tableau V-1 : Valeurs limites de la longueur minimales selon référentiel technique de SNTF 31
Tableau V-2 : Valeurs de Rayon vertical minimale 31
Tableau V-3 : Valeurs des paramètres de profil en long 32
Tableau VI-1 : Caractéristiques morphologiques des bassins versants 36
Tableau VI2- : valeur de pour chaque période de retour 38
Tableau VI3- : : Coefficient de ruissellement selon la méthode de Kenessey. 39
Tableau VI-4 : Valeurs de K coefficient de rugosité 40
Tableau VI-5 : Liste globale des ouvrages à projeter 41
Tableau VI-6 : Vérification hydraulique des ouvrages transversaux 42
Tableau VI-7 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de Remblai et Déblai. 44
Tableau VI8- : Dimensionnement du fossé proposé 44
Tableau VII-1 : Essais in-situ et les leurs objectifs 51
Tableau VII-2 : Résultats des sondages carottés 51
Tableau VII3- : Coordonnées des puits de reconnaissance 54
Tableau VII4- : Essai au pénétromètre dynamique 55
Tableau VII**5-** : les résultats de SONDAGE F41 L-GH PK149 +700 56
Tableau VII-6 : Qualificatif de la fraction du sol constituée d'éléments inférieurs à 400 um en fonction de l'indice de plasticité (NF P 94-051) 57
Tableau VII-7 : : Récapitulation Des Essai En Laboratoire (Emprunts Nord-Berriane). 58
Tableau VII-8 : Carrières de BERRIANE 58
Tableau VIII1- : la classe la portance de la plate-forme (normes UIC 719R 62
Tableau VIII-2 : les valeurs des différents paramètres pour le calcul de l'épaisseur 64
Tableau VIII**3-** : : Dimensionnement de la couche d'assise 64
Tableau IX-1 : Les cubatures de terrassement 68
Tableau X1- : Liste des ouvrages d'art pour mon projet 72
Tableau X-2 : Les paramètres géotechniques employés dans de calcul de stabilité des remblais 74
Tableau XII-1: Les principaux signaux ferroviaires et leur indication 89



Introduction Générale



INTRODUCTION GENERALE

Les infrastructures de transport représentent la base sur laquelle repose le développement économique d'un pays .

D'ailleurs la densification de ces infrastructures de transport est considérée comme le phénomène le plus observé dans l'analyse de la situation des pays développés. C'est bien un secteur qui améliore le transport des biens et des personnes et facilitent aussi les échanges entre agents économiques.

Parmi ces infrastructures on distingue le transport ferroviaire est le poumon économique du monde , Depuis deux siècle . plusieurs grande pays ont développé des programmes d'investissement massif pour étendre et développer leurs réseaux ferroviaires de transport de marchandises et de voyageurs et crée une mobilité significatif des différentes pôles industriels et des grands ville .

Il constitue également le moyen de transport le mieux adapté pour le déplacement de gros volumes sur de longues distances , ce qui a permis d'économiser le coût et le temps .

L'Algérie fait partie de ces pays qui ont élaboré un plan stratégique pour la réalisation de programme nationale de réseaux ferroviaire moderne et développé , équipé d'une technologie de pointe , en but de relier le nord au sud et l'est au l'ouest aussi la réalisation de certains lignes logistique pour relier les ports , les zones industrielles et les Mines ainsi les pôles pétrolier au sud .

Dans le but d'arriver progressivement a un réseau ferroviaire de 15000 km ; Pour cela l'Algérie procéder au lancement des nouvelles projet suivant des programmes de développement bien étudiés.

Parmi ses programmes, L'état prévoir la réalisation d'une nouvelle ligne mixte (voyageurs et marchandises) électrifiée entre Laghouat et Ghardaïa qui fait une partie intégrante du méga projet Boucle Sud Est .

La ligne Laghouat-Ghardaïa desservant les villes de Laghouat, Bellil , Berriane, Oued N'chou , Metlili et Hassi R'mel, d'une longueur d'environ (230) km pour une vitesse d'exploitation à 220Km/h.

STRUCTURE DE PROJET DE FIN D'ETUDES :

Le présent projet a pour objet l'étude préliminaire et d'APD du tronçon **BELLIL** – **BERRIANE** sur 15 km dans le cadre de la réalisation de la Boucle Sud Est (du Pk139+500 au Pk 154+700) .

Après l'introduction générale une présentation de projet tel que le relief, la climatologie, sismicité...etc.

On a fait une étude préliminaire à travers laquelle nous choisissons le couloir d'étude. Ensuite nous définissons les différents composants de la voie .

Puis on est passé à la conception géométrique du tracé après on a présenté l'étude géotechnique et géologique et le dimensionnement de la structure d'assise, puis on détermine et on dimensionne les installations de drainage, après cela vient le chapitre des ouvrages après cela vient le chapitre de signalisations et l'étude de l'impact sur l'environnement .

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

CHAPITRE I :
RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Chemin de fer en Algérie :

I.2. INTRODUCTION :

Le réseau des chemins de fer algérien a fait son apparition à la fin du XIXème siècle. Il sert au transport de personnes et de marchandises. L'ambition des pouvoirs publics est de connecter toutes les villes d'Algérie entre elles par le réseau ferroviaire. Actuellement ce réseau est de plus de 4 576 km .

I.3. Histoire de construction du chemin de fer en Algérie :

I.3.1. Pendant la colonisation française :

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

Objectif des 1 357 km est atteint et même dépassé, avec des tronçons construits représentant 1365 km de voie et touchant presque toutes les villes importantes d'Algérie.

En 1876 roulent des trains de nuit. Dans les 30 ans qui suivirent, 2 035 km de lignes de chemin de fer vont s'ajouter au réseau, constituant l'armature du futur réseau ferroviaire algérien.

Entre 1907 et 1946 une 3ème campagne d'investissement ajoute 1 614 km au réseau.
Au début de l'année 1925 on comptait 4724 km de chemins de fer auxquels il faut ajouter 127 km de tramways.

En 1941 le Transsaharien relie l'Afrique noire à la Méditerranée.

À la fin de la Seconde Guerre Mondiale le réseau ferroviaire algérien s'étend sur plus de 5 000 km.

Au cours des dernières années, le réseau s'est entièrement modernisé grâce surtout à l'emploi systématique de la traction diesel. Les voies ont été renforcées, la signalisation transformée, la vitesse et le confort des trains considérablement améliorés.

Le 30 juin 1959 l'État français et l'OCFA signent une convention créant la Compagnie des Chemins de Fer Français en Algérie (CCFA) qui devient en 1963 la SNCFA (Société Nationale des Chemins de Fer Algériens).

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

Après l'indépendance du pays et par Décret no 63-183 du 16 mai 1963, la Société nationale des chemins de fer français en Algérie change de statut et de nom, et devient la Société nationale des chemins de fer algériens (SNCFA). Elle débarquait le 25 mars 1976 et remplacée notamment par la Société nationale des transports ferroviaires (SNTF)

Dans les années 1990, le réseau ferroviaire algérien ne mesure que 3572 km à cause de suppression de la différente ligne ferroviaire, soit 30% de moins qu'en 1945 et à peine autant qu'au début du XXème siècle.

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

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

À la fin des années 1990, la SNTF exploite un réseau de 3 500 km.

En 2005, l'agence nationale d'études et de suivi de la réalisation des investissements ferroviaires (ANESRIF) est créée pour gérer un nouveau programme d'investissement public avec l'objectif de porter le réseau à 12 500 km en 2025.

En 2010, 315 km de nouvelles voies sont ouverts (Bordj Bou Arreridj à M'Sila, Ain Touta à M'Sila, nouvelle ligne de Béchar), les lignes de banlieue d'Alger ont été électrifiées.

En 2015, sur un programme de 2 300 km de nouvelles lignes, 1 324 km sont en travaux dont la majeure partie concerne la partie ouest de la boucle des hauts plateaux.

Le 13 octobre 2019, mise en service d'une nouvelle ligne reliant Alger à Touggourt. Elle est desservie par un train de longues distances offrant des compartiments couchettes de 1ère et 2ème classe .

Le réseau national des chemins de fer devra atteindre une longueur de 6 500 km dans les trois prochaines années .

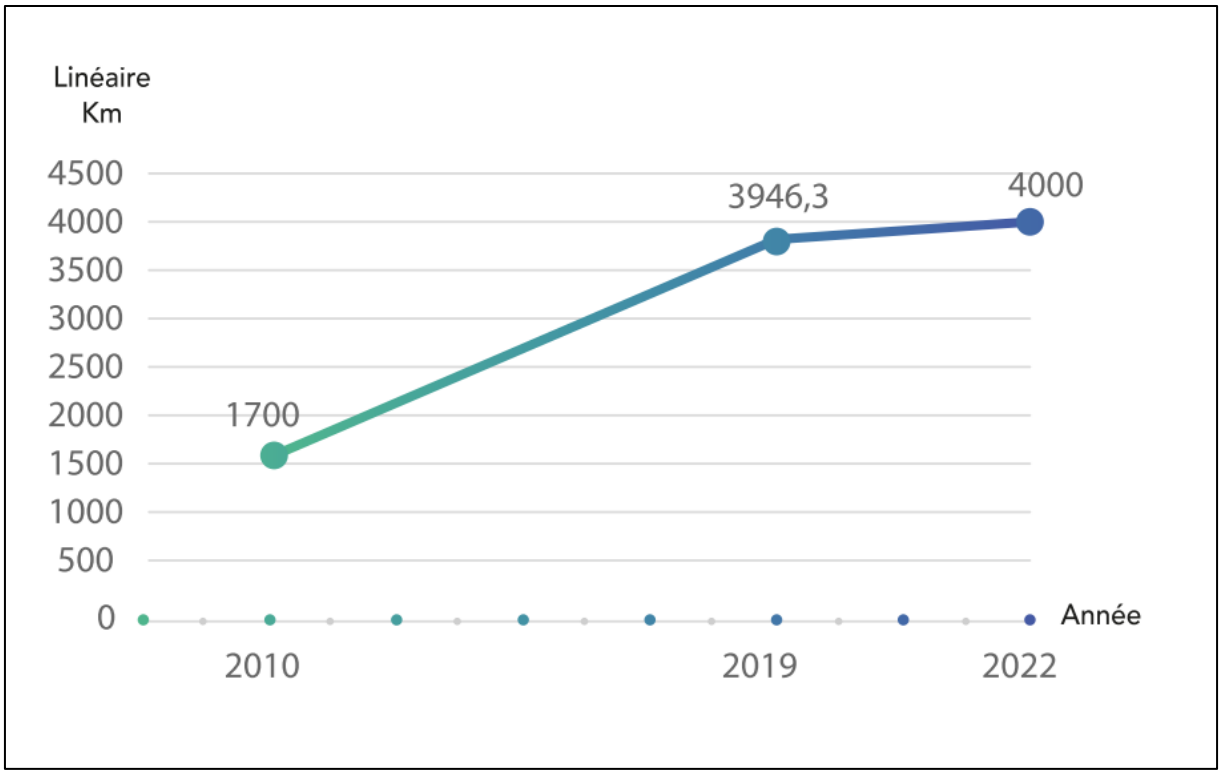


Figure I1- : L'évolution linéaire du réseau ferroviaire en Algérie

I.4. Le réseau ferroviaire national actuel :

Le réseau ferroviaire national est placé sous l'autorité de la Société nationale des transports ferroviaires (SNTF) , un établissement étatique à caractère Industriel et Commercial actuellement ce réseau est de **4560 Km** dont :

- Longueur des lignes en exploitation : 4200 Km.
- Longueur des lignes en double voie : 560 Km.
- Longueur des lignes en voie unique : 3217 Km.
- Longueur des lignes électrifiées : 480 Km.
- Nombre de gares et haltes : 410
- Nombre d'Ouvrages d'Art : 7800
- Nombre de tunnels : 137
- Nombre de passages à niveau: 1174

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

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

I.5. Plan de développement :

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

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

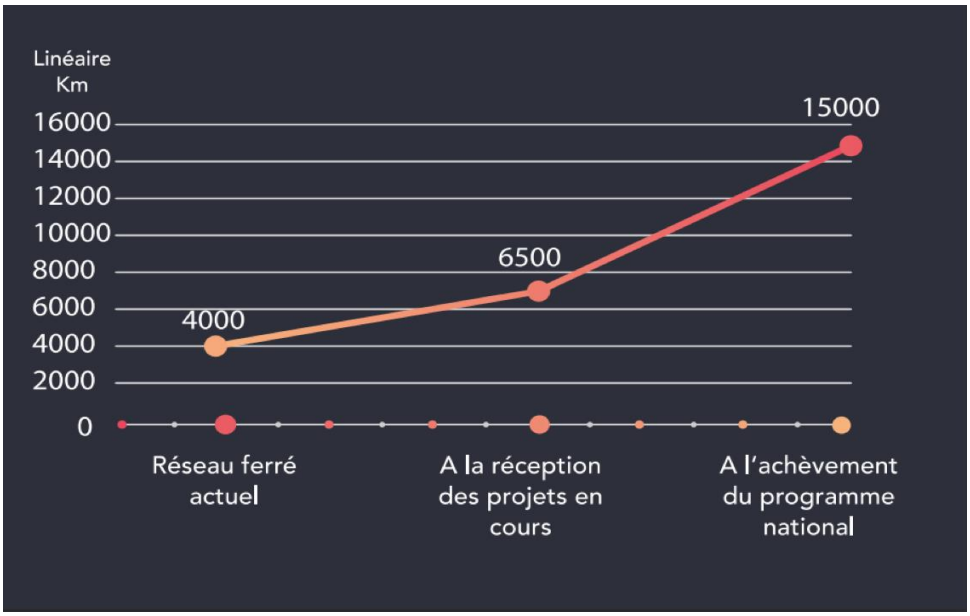


Figure I2- : Perspective du développement du réseau ferre national

❖ Rocade Nord et ses dessertes :

S'étendant le long de la bande coutière algérienne

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

❖ Rocade des Hauts Plateaux :

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

- 1160 km de linéaire (532 km en exploitation et 628 Km à 160 km/h en cours de réalisation)

- 10 Wilayas desservies, représentant environ 07 Millions d'habitants (Environ 20% de la population globale)

❖ Ligne Minière Est :

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

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

❖ Pénétrante Ouest, Est et Pénétrante centre :

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

❖ Boucle Sud-Est et Sud-Ouest :

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

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

Figure I3- : Récapitulation du taux de réalisation sur le réseaux ferroviaire nationale

I.6. Conclusion :

Le transport ferroviaire est très important pour développer l'économie d'un pays et le plus important que notre pays l'Algérie est entrain de suivre un programme très riche qui va faciliter le transport des voyageurs et de marchandises .

L'amélioration de ce secteur est plus que nécessaire pour les investissements et l'augmentation des échanges entre les différentes régions du pays.

CHAPITRE II :
PRESENTATION DU PROJET

II. PRESENTATION DU PROJET

II.1. INTRODUCTION

Le développement du chemin de fer, du pays symbole de désenclavement, passe principalement par la modernisation et l'extension du réseau ferroviaire .

La présente d'étude porte sur la Boucle Sud Est, d'un linéaire global de 460 km, est composée de trois tronçons principaux : Ghardaïa – Ouargla ; Ouargla – Hassi Messaoud ; ***Laghouat – Ghardaïa*** Où se situe notre projet

Trois tronçons de la Boucle Sud est :

- Laghouat/Ghardaïa (180 Km),
- Ghardaïa/Ouargla (180 Km),
- Ouargla/Hassi Messaoud (« 100 km).

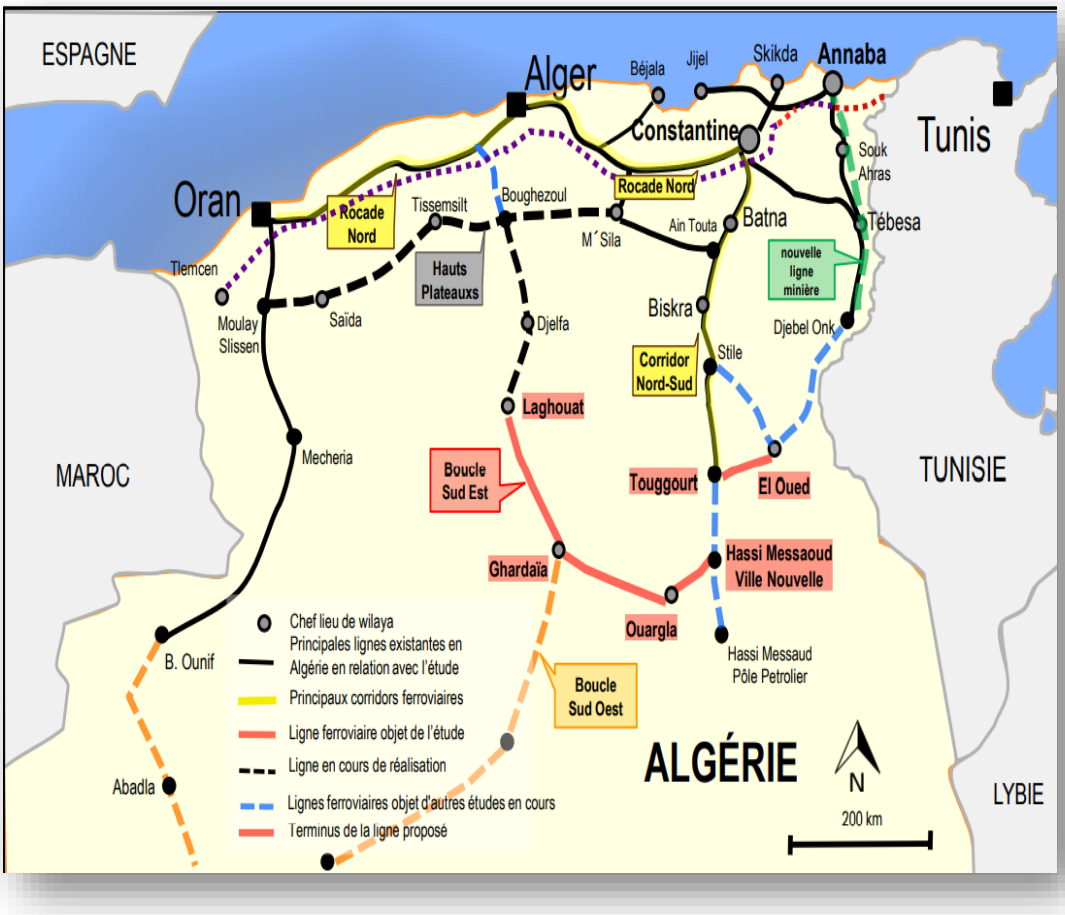


Figure II-1 : Réseau Ferroviaire Actuel et Futur

II.2. PRESENATION DE LA ZONE D'ETUDE :

La zone d'étude se situe au terrain de la commune de Berriane wilaya de Ghardaïa qui située à 44 km au nord de Ghardaïa (chef-lieu de wilaya) . La wilaya se trouve approximativement, à

600 Km au Sud d'Alger . Elle englobait la vallée du Mzab qui fait partie du patrimoine mondial de l'UNESCO .

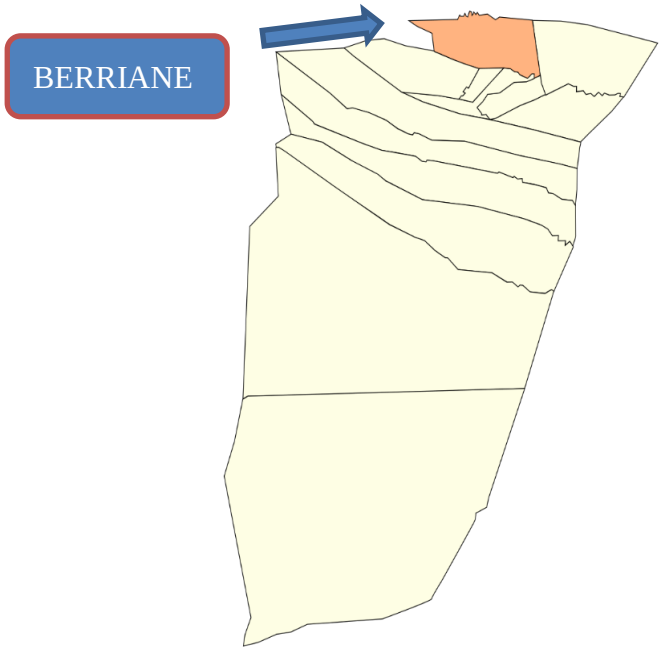


Figure II-2 : Plan de situation de la zone d'étude

II.2.1. Situation géographique :

La Wilaya de Ghardaïa est limitée par les wilayas suivantes :

- 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

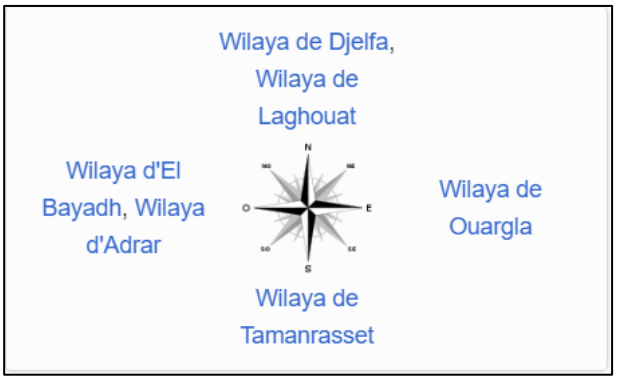


Figure II3- : Wilayas limitrophes de la wilaya de Ghardaïa

Dans ses limites administratives, La wilaya de Ghardaïa s'étend sur 84.660 km2 , elle comprend 7 Daïra, qui se décomposant en 9 communes avec une population de 421.884 habitants. La population, avec une densité de peuplement très faible en moyenne (4,98 habitants/km2), se caractérise par une répartition très inégale de la population de la Wilaya à travers son territoire, avec une forte concentration dans les agglomérations chefs-lieux 95,33%.

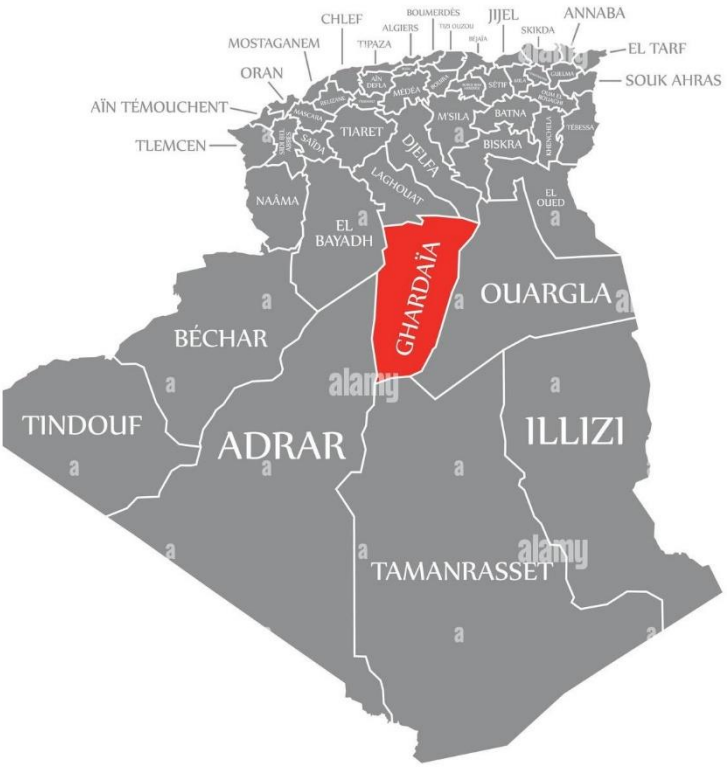


Figure II4- : Localisation de la Wilaya de Ghardaïa

II.2.2. Relief :

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

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

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

II.2.3. Climat :

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

II.2.4. Sismicité :

D'après le Règlement parasismique Algérien « RPA 99/version 2003 », le territoire national est divisé en cinq (05) régions sismiques.

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

II.3. Présentation du projet :

Dans le cadre deLa réalisation progressive de la « **Boucle du Sud Est** » Le tracé constitue une nouvelle liaison ferroviaire entre Laghouat et Ghardaïa avec une longueur d'environ 180 km , cette ligne est conçue comme ligne de Grande vitesse (LGV) .

Le présent projet à pour objet l'étude dans la phase Avant-projet détaillé, la ligne de chemin de fer Laghouat – Ghardaïa exactement entre les points kilométriques (Pk 139+500 et Pk 154+700) sur linéaire de 15,2km avec l'aménagement de la gare Berriane .

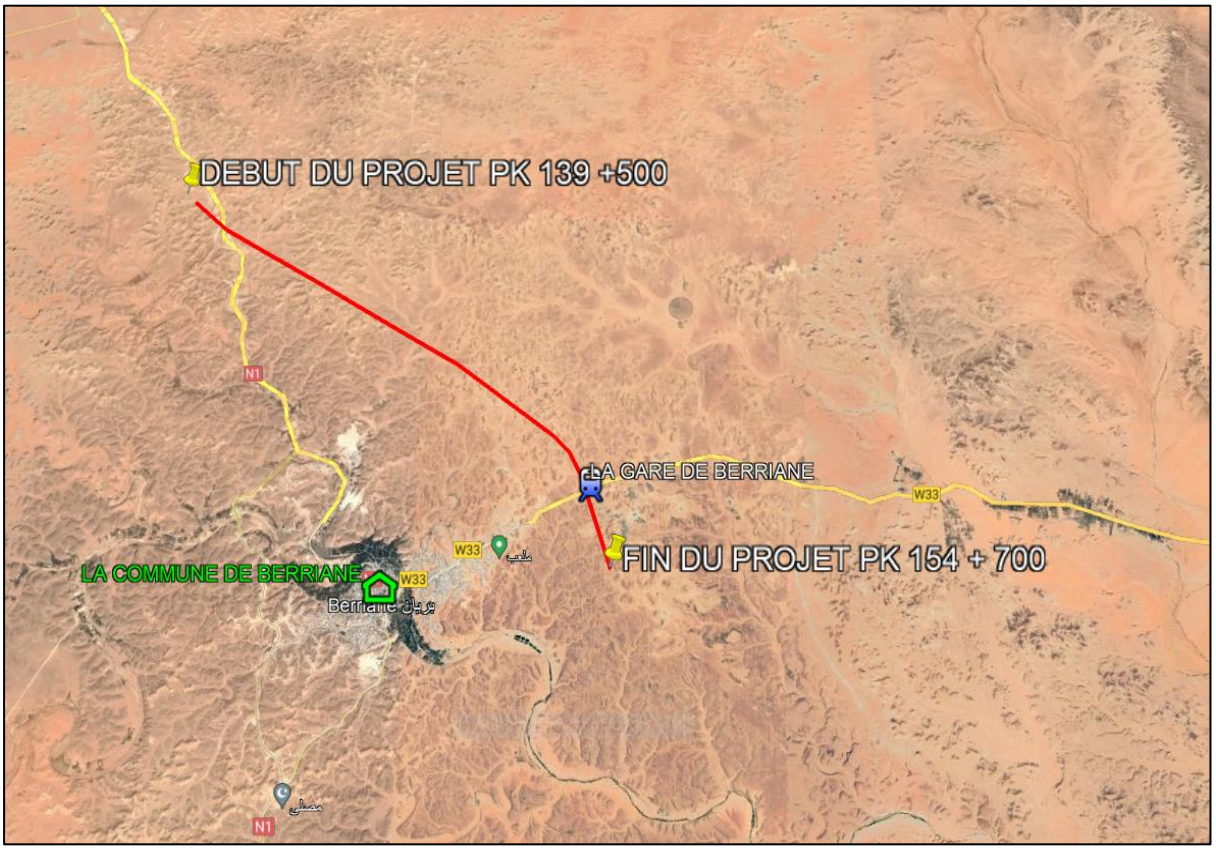


Figure II-5 *:* Localisation du projet

II.3.1. Infrastructures de bases existantes :

- **Réseau routier :**

Le réseau principal de la **Wilaya de Ghardaïa** est constitué de trois routes nationales d'un linéaire total de 751 km : RN 1, RN 49 et RN 51.

La RN1, principal axe routier longeant l'étendue de la Wilaya, joue un rôle important de liaison entre le Nord et le Sud du pays.

Aussi :

- Chemins de Wilaya : 292 km
- Réseau Communal : 463 km
- Routes Non Classées : 110 km

- **Réseau ferroviaire** :

Gare ferroviaire de Touggourt de linéaire de 33 km.

- **Infrastructure aéroportuaire :**

2 Aérodromes : Ghardaïa - Noumérate et El Ménéa ,les deux Aérodromes ont enregistré, durant l'année 2012, l'embarquement de 30.032 passagers et le débarquement de 26.275 passagers.

II.3.2. Les caractéristiques du projet :

- **Conditions de Base :**

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

- **Caractéristiques de Base :**

- Longueur 15+200 km.
- Ligne électrifiée (compatible avec une logique de services régionaux ou banlieue et de l'électrification générale du réseau) .
- Ligne mixte voyageurs – marchandises .
- Vitesse de voyageurs est 220 km/h .

- Vitesse de marchandises est 100 km/h
- Pont-rail et pont-route prévus pour double voie .
- Signalisation de type ERTMS

II.3.3. Caractéristiques de la Voie

- **Ecartement** :

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

- **Gabarit :**

Le gabarit à dégager est celui des lignes à grande vitesse, c'est-à-dire le gabarit GC de l'UIC .

- **Hauteur libre des ponts - routes :**

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

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

- **Charges à l'essieu :**

- Pleine voie 22,5 t
- Ouvrages d'art 25t

- **Électrification :**

- En 25KV / 50 Hz.

II.3.3.1. Superstructure :

- **Rails :**

En pleine voie et en gares, rail UIC 60 E1 (60,21 kg/m).

- **Traverse :**

Type de traverse :

- monobloc M450NP en pleine voie et dans voies principale de gare.
- Traverses bi-bloc dans les voies de services.

- **Attache :**

Attaches élastiques de type NABLA.

- **Semelle :**

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

- **Appareils de voie :**

Choisis dans la gamme ci-après :

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

II.4. Conclusion :

Le pays réalise actuellement un investissement majeur pour la relance de ce secteur, ce projet de ligne ferroviaire entraineront, par ailleurs, un renforcement des infrastructures de base qui est permettent également de désenclaver toutes les régions traversées par ces lignes, du nord au sud du pays et de l'est à l'ouest, tout en assurant leur développement .

CHAPITRE III :
SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

III. SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

III.1. INTRODUCTION :

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

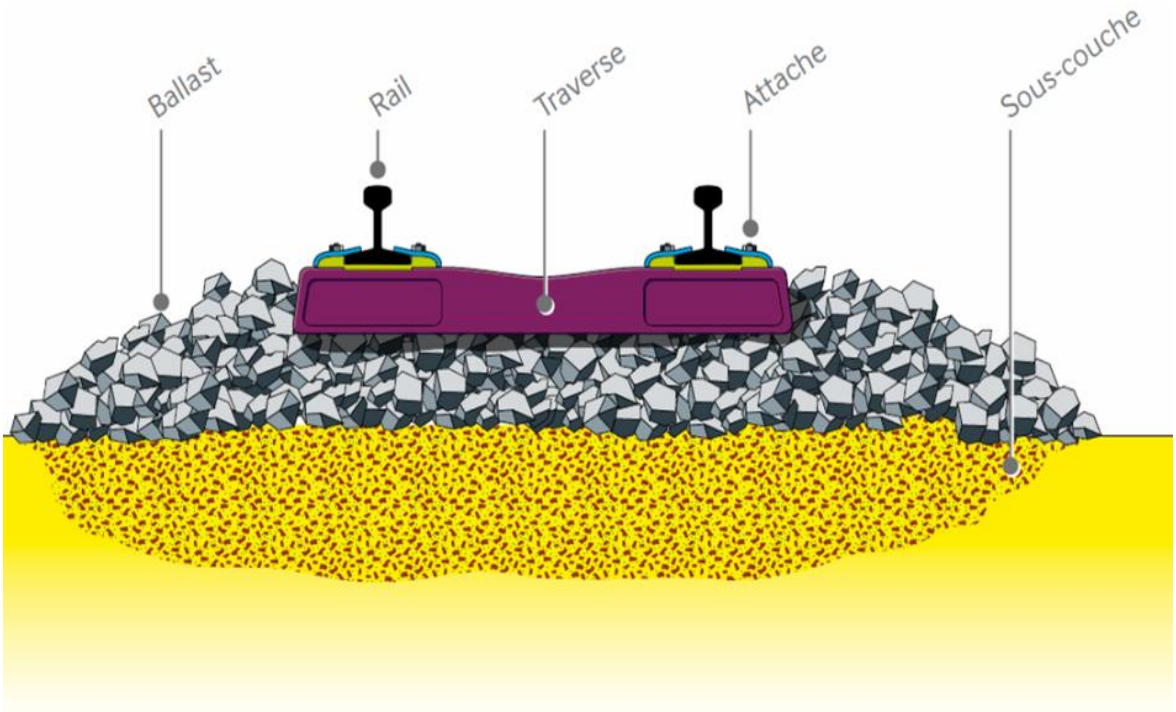


Figure III1- : Les Composants De La Voie

III.2. L'armement de la voie :

L'armement de la voie constituées de plusieurs éléments il s'agit de :

III.2.1.Les rails :

Ce sont deux fils parallèles de barres d'acier profilées mis bout à bout pour former la voie ferrée, et sont en contact avec les roues des véhicules. Leur fonction est de guider le train et d'assurer la transmission des charges ponctuelles aux traverses.

Le rail doit assurer les fonctions suivantes :

- Supporter la charge des roues et les efforts dynamiques qui en résultent.

- Forme une surface de roulement continue et plane qui permet de minimise les efforts de traction.
- Assurer le guidage des véhicules en courbe, en reprenant les efforts transversaux dus à la force centrifuge.
- Reprendre les efforts longitudinaux provoqués par l'accélération, le freinage et la résistance au roulement des convois.
- Transmet le courant électrique, pour assurer la signalisation et pour la traction des trains sur les lignes électrifier.

Le type de rail utilisé dans le projet entre « **Laghouat-Ghardaïa**» est de type Vignole **UIC 60 E1 .**

III.2.1.1. Type des rails :

❖ **Le rail Vignole :**

Ce type est généralement utilisé pour le cas des trains de transport de marchandise et de transport de voyageur à longue distance. Le profil est composé de :
- Le patin qui s'appuie sur la traverse .
- Le champignon qui constitue la table de roulement .
- L'âme : c'est la partie verticale qui relie le champignon pour supporter la charge .

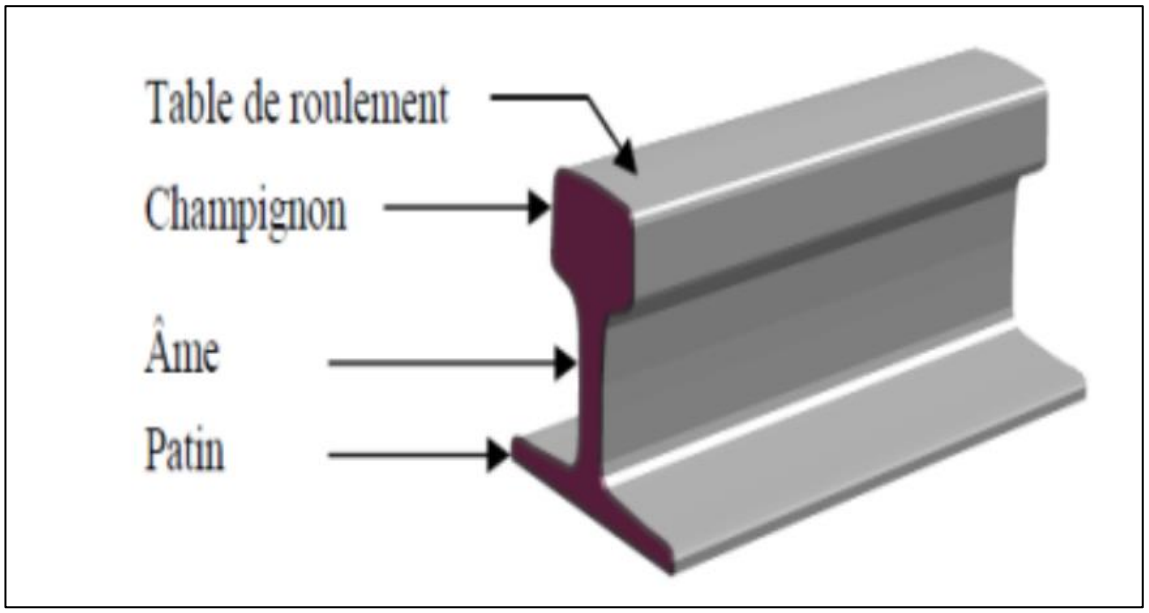


Figure III2- : les constituants de la section transversal de rail

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

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

- **Le rail à double champignon** :

Le rail à « double champignon symétrique » avait été conçu pour permettre de retourner le rail usé et donc doubler sa durée de vie. Le défaut de ce système était que le rail était retourné, il était déjà abimé (poinçonnements dû à l'écrasement au niveau des berceaux). Ce principe a été abandonné de nos jours.



Figure III-3 : Le rail à double champignon

III.2.1.2. Assemblage des rails :

Les rails sont fabriqués dans des longueurs comprise entre 18 et 36 mètres, pour établir la solidarité des barres qui forment la voie, on est obligé de les relier solidement à leur extrémité, pour effectuer cette liaison on emploie des éclisses et des soudures :

I. Eclisse :

Une éclisse est un composant de la voie ferrée, il s'agit d'une pièce métallique fixée par des boulons sur les rails, elle permet de faire la liaison entre deux rails consécutifs. Elles sont souvent utilisées à proximité des aiguillages .

II. Soudures :

Après fabrication , les rail de **18** à **36** mètre sont transporté par des trains , vers des ateliers de soudage électrique , le soudage électrique permet de réaliser des long barres soudées (dites « **LRS** ») qui , transportées par des véhicules spéciaux (train en général) , seront déposée sur des voie soit en construction neuve .

Le rail 60E1 sera fourni en barres élémentaires de 18 m que seront soudées électriquement sur chantier, en barre continue de longueur de 288 m. Ensuite, les barres de 288 m seront mises en place et soudées avec des soudures aluminothermiques en voie par réaction chimique très exothermique sur une charge de métal d'apport.

III.2.2. Les Traverses :

Les traverses sont le système sur lequel repose les deux files de rail (la voie), elles assurent la transmission des efforts encaissés par les rails au ballast, et assurent au même temps le maintien de l'écartement entre les deux rails.

III.2.2.1. Les différents types de traverses :

1. Les traverses en bois :

Utilise généralement au niveau des appareils de voie .

2. Les traverses en béton :

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

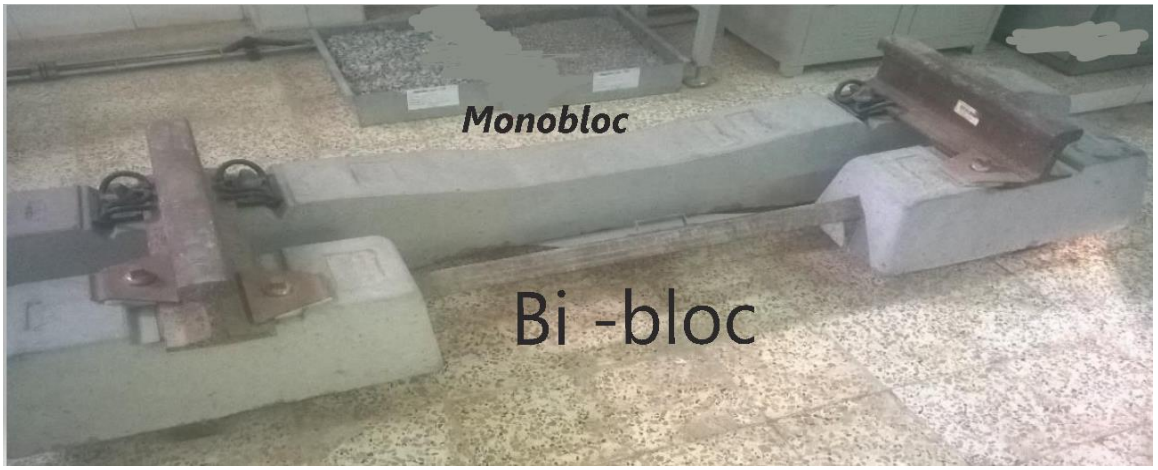


Figure III**4-** : Les traverses en béton

III.2.3.Les Attaches :

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

III.2.3.1. Le rôle des attaches :

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

III.2.3.2. Les types d'attaches :

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

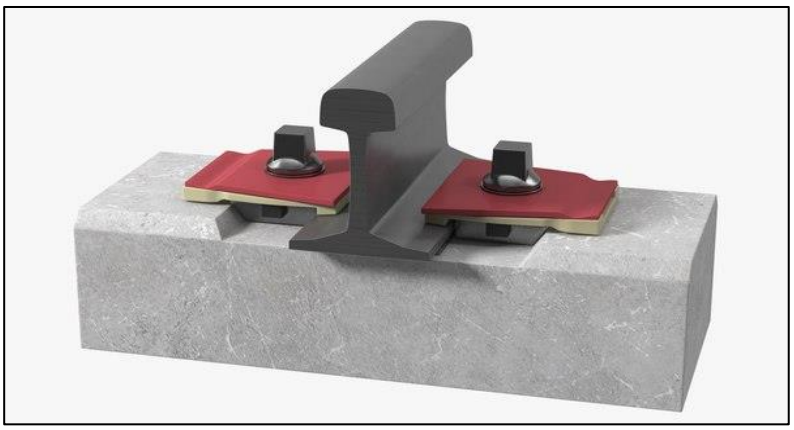


Figure III5- : Attache type Nabla

L'attache de type NABLA :

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

III.2.4. L'appareil de voie :

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

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

Les appareils de voie sont appelés aiguillage dans le langage courant :

Il existe trois catégories d'aiguilles :

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

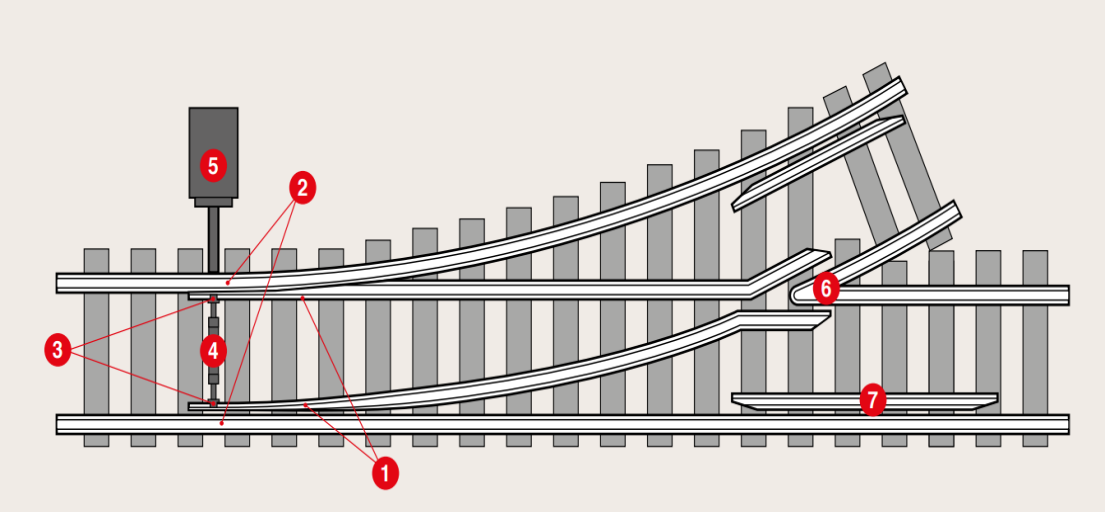


Figure III6- : Un branchement et ses éléments constitutifs

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

Pour mon projet j'utilise :

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

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

Tableau III-2 : les caractéristiques d'appareils de voie

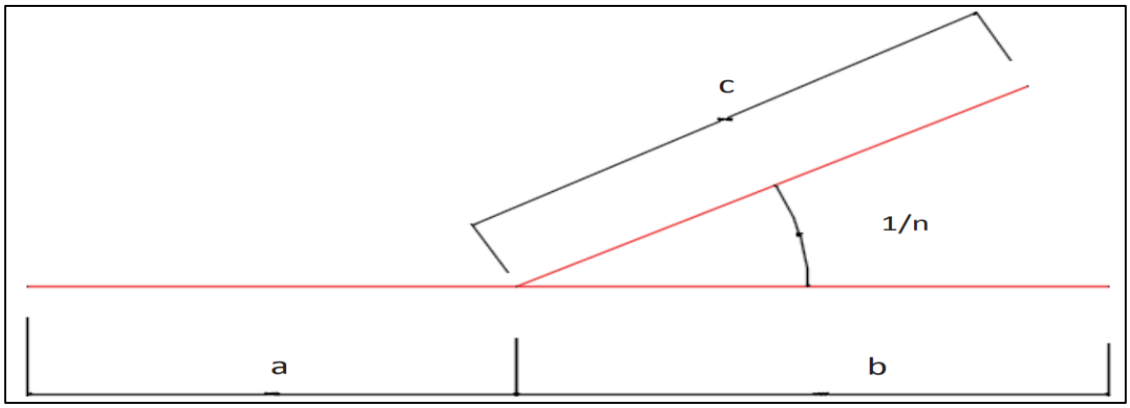


Figure III7- : Schéma illustrative de l'appareil de voie

Pourquoi une telle superposition de structures ?

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

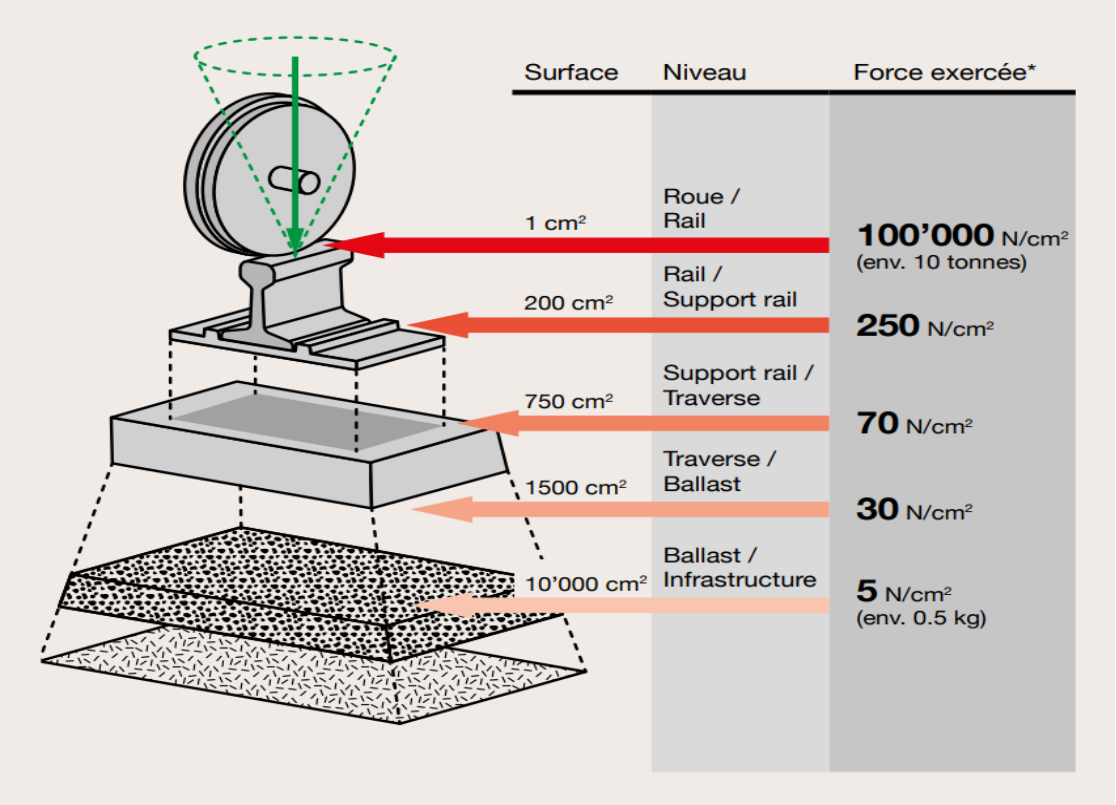


Figure III8- : Distribution des charges sur la voie

III.3. conclusion :

Les couches d'assise sont constituées de plusieurs élément : le rail constituer le premier élément de contact entre le véhicule et la voie qui absorbée **50 %** de la charge sur la voie , la géométrie de sa section est justifiée pour permettre une bonne répartition des contraintes son rôle est de guidé le train et de repartir la charge sur plusieurs traverses . la traverse transmette les efforts entre le rail et le ballast .

CHAPITRE IV :
TRACE EN PLAN

IV. TRACE EN PLANE

IV.1. INTRODUCTION :

Le tracé en plan dessine la trajectoire de la ligne vue du dessus, ce dernier représente la projection horizontale de la voie sur une carte topographique ou un plan de situation où le relief du terrain est représenté par des courbes de niveau. Il est constitué par une succession de segments de droites et d'arcs de cercles raccordés entre eux par des courbes de transition . chaque ligne est caractérisée par deux vitesses:

- $\boldsymbol{Vv}$: vitesse des trains rapides (voyageurs)
- $\boldsymbol{Vm}$: vitesse des trains lents (marchandises)

IV.2. Conditions et régles à respecter dans le trace en plan:

Le tracé en plan doit assurer un confort technique et un coût économique, et pour atteindre cet objectif, on doit respecter les conditions et les considérations suivantes :
Comme on est en phase APD, on ne doit pas sortir du couloir choisi.

- Eviter les terrains très plastiques.
- Eviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières.
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques.
- Essayer d'utiliser le maximum d'alignements.
- Eviter au maximum les propriétés privées.
- Respecté Le rayon et les longueurs minimum recommandé par la SNTF .
- Eviter le franchissement des oueds et des routes afin d'éviter le maximum d'ouvrages d'art et cela pour des raisons économiques.
- Suivre les courbes de niveau afin de minimiser les terrassements.

IV.3. Eléments de trace en plan

Le tracé en plan est un ensemble d'alignements droits raccordés entre eux par des arcs et des courbes de raccordements.

- **Alignement (R=∞)** : Un alignement droit est une courbe de rayon infini ; sur le plan technique c'est le meilleur trace qui convient aux voie ferrées (la force centrifuge est nul) avec plus de longs alignements offre un meilleur confort Aux usagers ainsi que leur sécurité
- **Arcs de cercles (R=constante)** :

Dans les zones où la topographie ne permet pas de réaliser les alignements, on fait recours aux raccordements circulaires avec le plus grand rayon possible qui est fonction de la vitesse de circulation des trains dans la courbe. Une courbe circulaire est une courbe de rayon bien déterminée, éventuellement Ils servent à relier deux alignements droits.

- **Courbe de raccordement progressif (CRP)** : C'est un élément géométrique qui raccorde l'alignement à un arc de cercle dont la courbure varie progressivement d'un rayon R= ∞

Le passage d'un alignement à une courbe en dévers ne peut s'effectuer de façon instantanée, une variation progressive est nécessaire tant pour le confort des voyageurs et pour l'inscription des véhicules dont l'inertie est importante et aussi pour éviter le choc de l'action de la force centrifuge, ce qui n'est possible qu'on faisant varier progressivement la courbure .

Cette variation progressive de la courbure sur une certaine distance, permet de faire varier progressivement le dévers depuis sa valeur nulle en alignement à la valeur « **d** » prescrite pour la courbe considérée .

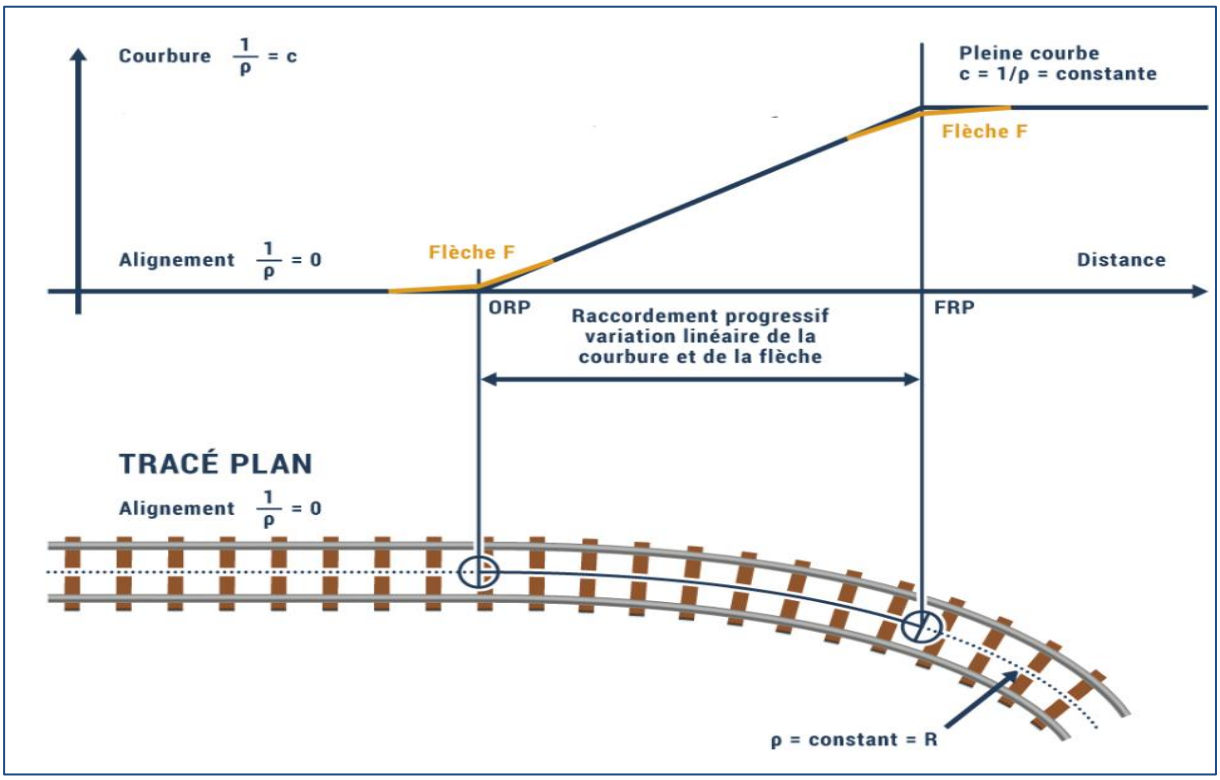


Figure IV1- : Eléments de trace et diagramme des courbures

Le Dévers :

Au niveau des courbes, les véhicules ferroviaires sont soumis à une accélération centrifuge, engendrant ainsi une force centrifuge qui tends à le pousser vers l'extérieur, pour palier à ce problème et annuler l'effet de l'accélération centrifuge.

Une solution consiste à l' incliner le plan de roulement en créant une dénivellation entre les deux files de rails qui est appelé **dévers .**

- **Dévers théorique :**

Considérons un train circulant à une vitesse constante « V » dans une courbe circulaire de rayon « R ». Le dévers théorique qui annule totalement l'effet de la force centrifuge lors d'un passage du train. Il est également appelé « dévers d'équilibre » noté « dth » et donné par la formule suivante:

$$\boldsymbol{dth} = \frac{\mathbf{11.8}\times \boldsymbol{Vv^2}}{\boldsymbol{R}}$$

Dth en (mm)
Vv : vitesse des voyageurs en (km/h),
R : rayon en (m).

- **Dévers pratique :**

En pratique, rouler en dévers théorique est impossible car les trains roulent à des vitesses minimales différentes selon leur nature (trains de voyageurs et des trains lents de Marchandises), Pour cela, il a été convenu de définir un devers réel .

$$\boldsymbol{Dp} = \frac{\mathbf{1000} \times \boldsymbol{C}}{\boldsymbol{R}} \qquad Avec\ \boldsymbol{C} = \mathbf{0,006} \times \boldsymbol{Vv^2}$$

C : coefficient de dévers doit être un multiple de 15
Vv : vitesse des voyageurs en (km/h)

- **Insuffisance de dévers :**

Lorsque Vv² (la vitesse d'un train voyageurs empruntant une courbe) est plus élevée que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers pratique, ce véhicule est soumis à une force centrifuge non compensée. Le dévers de la voie est donc insuffisant et la résultante des forces se déplace vers l'extérieur de la courbe.
Insuffisance de dévers est exprimée par la formule :

$$\boldsymbol{I} = \boldsymbol{dth} - \boldsymbol{dp} = \frac{\mathbf{11.8} \times \boldsymbol{Vv^2}}{\boldsymbol{R}} - \boldsymbol{dp} < \boldsymbol{Imax}$$

- **Excès de dévers :**

Lorsqu'un train de marchandise roule très lentement en courbe, il ressent le dévers installé pour le train voyageurs comme un excès de dévers noté « E ». Ce type de train, pour lequel le dévers théorique est inférieur au dévers pratique (dth < dp), exercent sur la voie des efforts transversaux dirigés vers l'intérieur de la courbe.
Excès de dévers est exprimée par la formule :

$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{dp} - \boldsymbol{dth} = \boldsymbol{dp} - \frac{\mathbf{11,8} \times \boldsymbol{V_m^2}}{\boldsymbol{R}} < \boldsymbol{Emax}$$

Avec Vm Vitesse des marchandises en $\boldsymbol{km/h}$

- **Le rayon minimal :**

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

$$R_{min} = \frac{11.8 \times Vv^2}{Imax + dp}$$

IV.4. Caractéristiques géométriques :

Le but d'étude le chemin de fer est d'identifier un tracé le plus optimiser
Vitesse des trains maximale :
$\boldsymbol{Vv}$ Vitesse des voyageurs $= \boldsymbol{220\ km/h}$
$\boldsymbol{Vm}$ Vitesse des marchandises $= \boldsymbol{100\ km/h}$
Pour une vitesse V du train on établit les paramètres géométriques qui sont fixés par les recommandations de la SNTF qui assurer la stabilité sur la voie et le confort des voyageurs.

Tableau IV**1-** : Paramètres géométriques de trace en plan (SNTF)

	Formule		*Application*	
	Normal	*Exceptionnel*	*Normal*	*Exceptionnel*
Dévers maximal d (mm)	-	-	*160*	*180*
Rmin= $\frac{11.8xVmax2}{dmax+Imax}$ (m)	$\frac{11.8xVmax2}{dmax+Imax}$	$\frac{11.8xVmax2}{dmax+Imax}$	*1842*	*1680*
Longueurs minimales des alignements (m)	$\frac{Vmax}{2}$	$\frac{Vmax}{3}$	*110*	*73*
Longueurs minimales des pleines courbes (m)	$\frac{Vmax}{2}$	$\frac{Vmax}{3}$	*110*	*73*
Insuffisance de dévers admissible I (mm)	-	-	*150*	*160*
Excès de dévers admissible E (mm)	-	-	*110*	*130*
Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur (mm/m)	$\frac{180}{Vmax}$	$\frac{216}{Vmax}$	*0,818*	*0,982*
Limite de la variation d'insuffisance de dévers(mm/s)	-	-	*75*	*90*

IV.5. Application au projet :

Selon la SNTF et pour une vitesse de 220km/h, le rayon minimal normale est de 1842m,

donc tous les rayons du notre tracé doivent être supérieure au $R_{min} = 1842m$.
On prend un exemple de calcul pour un rayon de 2500 m pour juste illustrer les différentes étapes de calcul pour la détermination des divers et les différents paramètres du tracé en plan, et on va faire ensuite un tableau récapitulatif englobant toutes les caractéristiques géométriques de notre tracé .
Pour **R = 2500 m**

- **Dévers théorique**: $dth = \frac{11.8 \times Vmax^2}{R} = \frac{11{,}8 \times 220^2}{2500} = 228.45\ mm$
- **Le coefficient de dévers**: $C = 0.006 \times V^2max = 290.40$

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

$$0.5 < \frac{c}{0{,}0118 \times V_{max}^2} = 0.53 \leq 0.7$$

Alors dans ce cas on prend $c = 300$.

- **Le dévers pratique :**
  Sa valeur est comprise entre celle des trains rapides et celle des trains lents, elle est donnée par :

$$Dp = \frac{1000 \times C}{R} = \frac{1000 \times 300}{2500} = 120\ mm$$

Ce dernier ne doit pas dépasser la limite qui est de 160 mm (180mm exceptionnelle).

- **Insuffisance de dévers :**

$$I = dth - dp = 228.45 - 120 = 108.45\ mm < 150\ mm$$

- **Excès de dévers :**

$$E = dp - \frac{11{,}8 \times V_{min}^2}{R} = dp - \frac{11{,}8 \times 100^2}{2500} = 72.8\ mm < 110\ mm$$

- **La longueur de clothoïde :**

$$Lrp = \frac{dp}{\frac{dd}{dI}} = \frac{dp}{\frac{180}{Vmax}} = \frac{120}{0.818} = 146{,}67\ mm$$

On prend $\boldsymbol{Lrp = 160\ mm}$

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

$$\frac{dd}{dI} = \frac{dp}{Lrp} = \frac{120}{160} = 0.75\ mm/m < 0.818\ mm/m.$$

- **La variation d'insuffisance de dévers** :

$$\frac{dI}{dt} = \frac{I \times Vmax}{Lrp \times 3.6} = \frac{108.45 \times 220}{160 \times 3.6} = 41.42\ mm/s$$

Ce dernier ne doit pas dépasser la limite qui est de 75 mm/s (90 mm/s exceptionnelle).

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

Rayon (m)	$dth\ (mm)$	C	C adopté	Vérification C	dp (mm)	dp adopté	l (mm)	E (mm)	Lrp (m)	Lrp adopté	dd/dL (mm/m)	dl/dt (mm/s)
	$\frac{11.8xVv2}{R}$	$0,006xVv2$	-	$\frac{C}{0,0118xVv2}$	1000x(C/R)	-	dth-dp	$dp - \frac{11.8xVv2}{R}$	dp/(dd/dL)	-	dp/Lrp	(l*Vv)/ (LRPadopt*3,6)
R1=4000	142,78	290,40	300,00	0,53	75,00	80	62,78	50,50	97,78	110	0,73	34,88
R2=6000	95,19	290,40	300,00	0,53	50,00	70	25,19	50,33	85,56	100	0,70	15,39
R3=2000	285,56	290,40	300,00	0,53	150,00	150	135,56	91,00	183,33	190	0,79	43,60

Tableau IV-3 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé

CHAPITRE IV :
PROFIL EN LONG

V. PROFIL EN LONG

V.1. INTRODUCTION :

La construction du profil en long est la tâche la plus importante par laquelle on peut évaluer un projet ferroviaire, soit sur le plan économique là ou paraitra l'importance des Terrassements (Quantité de déblai et de remblai), les ouvrages d'arts …etc.

V.2. Définition :

Le profil longitudinal sera défini par une succession d'alignement droits raccordé par des courbes circulaires. ..

On a :

- **Profil en long du terrain naturel :**

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

- **Profil en long du Projet :**

C'est la représentation de l'allure du projet, en général défini par une projection horizontale de la cote de **la file basse des rails** des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé .

V.3. Règles a respectées dans le profil en long :

L'élaboration de la ligne de projet n'est pas arbitraire mais elle doit se baser sur des recommandations et des règles qui assurent la stabilité, la sécurité, le confort et l'évacuation des eaux. Parmi ces conditions les suivantes :

- Adapter la ligne rouge du projet au terrain naturel pour minimiser les travaux de terrassement.
- Equilibre entre le volume des déblais et le volume des remblais.
- Eviter les hauteurs excessives des remblais.
- Eviter les angles rentrants en déblai pour assurer l'évacuation des eaux pluviales .
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.
- Respecter les valeurs géométriques (rayons et déclivités) préconisées par les règlements.
- Eviter la coïncidence entre les rayons en profil en long et les rayons en tracé en plan.

V.4. Eléments de composition du profil en long :

V.4.1. Déclivité :

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

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

- En déclivité de longueur inférieure à 3000 m, sa valeur ne doit pas dépasser 16‰ et exceptionnellement 18‰.
- En déclivité de longueur comprise entre 3 000 m et 15 000 m, elle diminue graduellement pour passer de 16‰ à 13‰, exceptionnellement de 18‰ à 15‰.
- En déclivité de longueur supérieure à 15 000 m, la déclivité ne doit pas dépasser 13‰ et exceptionnellement 15‰.

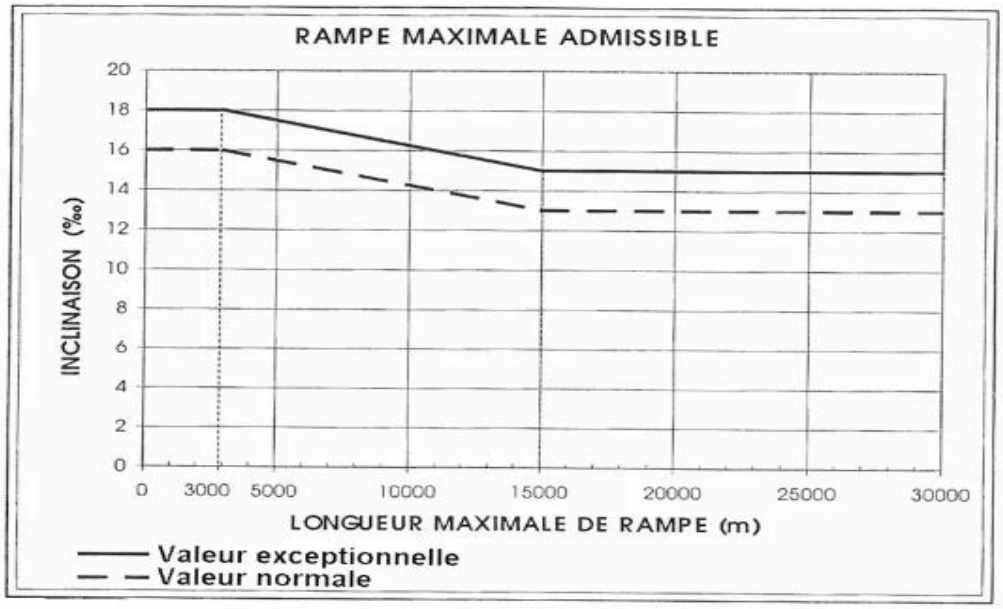


Figure V1- : la valeur précise de la déclivité en fonction de sa longueur

V.4.2. Courbes de raccordement vertical :

Ce sont des arcs de cercles qui assurent la liaison Entre deux lignes droits en cas de changement de déclivité Pour assurer la sécurité .

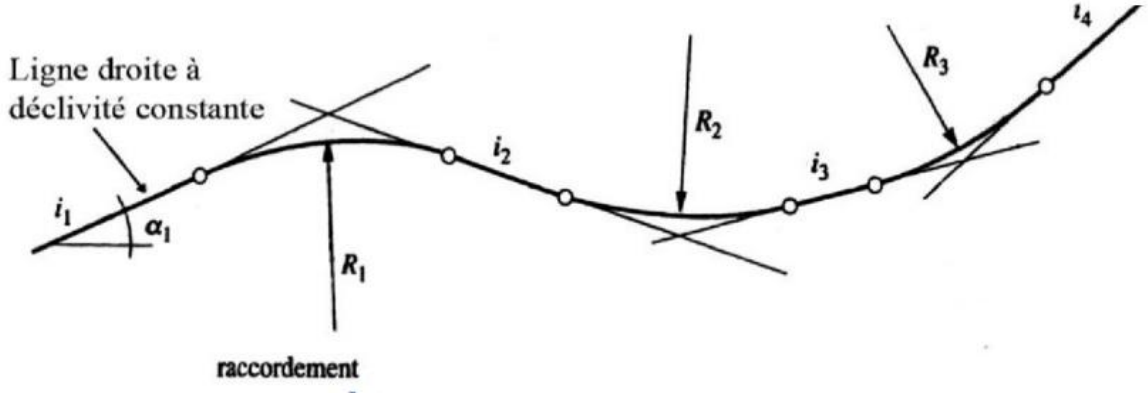


Figure V2- : Eléments Géométrique du Profil En Long

V.4.3. Longueur minimale des éléments du profil en long :

Afin d'éviter les oscillations des véhicules dues aux changements successifs des déclivités,

un temps assez long doit se passer pour permettre aux suspensions d'amortir les oscillations, Ce temps est résumé dans une longueur bien définit :

Tableau V-1 : Valeurs limites de la longueur minimales selon référentiel technique de SNTF

Valeur normale	Valeur exceptionnelle
$\frac{Vmax}{2}$	$\frac{Vmax}{2,5}$

$Vmax$ Étant la vitesse du voyageurs exprimée en km/h.

V.4.4. Rayon admissible en raccordement de profil en long :

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

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

Tableau V-2 : Valeurs de Rayon vertical minimale

Valeur normale	Valeur exceptionnelle
$0,35Vmax^2$	$0,25Vmax^2$

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

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

V.5. Application au projet :

Le relief du notre projet est rocheux accidenté avec une pente maximale de 15 ‰ jusqu'à la gare de **Berriane** au pk 153+000 à une altitude de 565.800m côté Est de la ville et pente minimale de 0 ‰ .

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

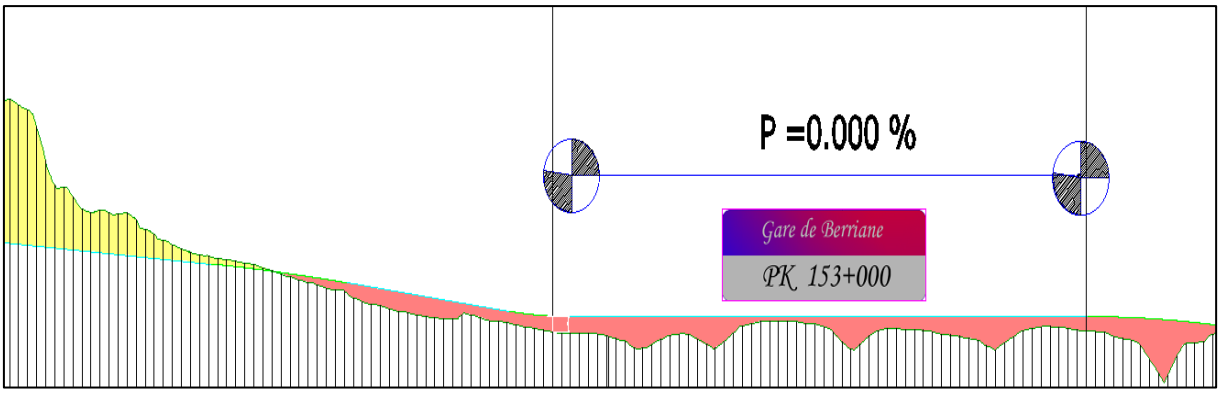


Figure V-3 : Profil en long

Tableau V-3 : Valeurs des paramètres de profil en long

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

V.6. Les contraintes le long du tracé :

- Lignes d'électricités de haute tension au pk 139+500 et 141+270, Moyen tension au pk 152+548 et pk 152+618 .
- Intersection avec route national n°1 au pk 140+800
- Intersection avec chemin de wilaya 33 au pk152+600 , et piste au pk 141+772.
- Zone industrielle à démolir au pk 152+700 .

V.7. Conclusion :

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

CHAPITRE VI :
ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

VI. ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

VI.1. INTRODUCTION :

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

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

Les étapes suivies pour l'exécution de cette mission sont résumées comme suit :

1- Collecte et analyse des documents et études hydrologiques de la région
2- Collecte et analyse des cartes topographiques qui couvrent la zone du projet.
3- Collecte auprès de l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) des données de base de la zone du projet : Pluviométrie :
   - ❖ pluies journalières maximale.
   - ❖ Lois intensité-durée-fréquence (IDF), représentatives des régimes pluviométriques de la région de l'étude.
4- Utilisation des cartes topographiques pour l'identification des tracés des oueds traversant la ligne ferroviaire et délimitation des bassins versants.
5- Calcul des paramètres physiques et géomorphologiques des bassins versants : surface, périmètre, indices de pente, indice de compacité, longueur du thalweg, temps de concentration.
6- Évaluation des débits de crues avec un période de retour de 10, 20, 50 et 100 ans, en se basant sur l'application de la méthode rationnelle, nécessaires au dimensionnement des ouvrages hydrauliques, ponts et ponceaux.
7- Évaluation des débits de saturation pour chaque type d'ouvrage hydraulique en se basant sur la section mouillée, la vitesse d'écoulement et la rugosité de l'ouvrage.

VI.2. Étude Hydrologique :

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

VI.2.1. Climatologie :

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

Le mois le plus chaud (maximum) est noté en juillet avec 45,65°C , et le minimum le plus

froid est noté au mois de janvier avec 4,78°C.
La zone est moyen humide avec une variation qui va de 30 % à 60% .

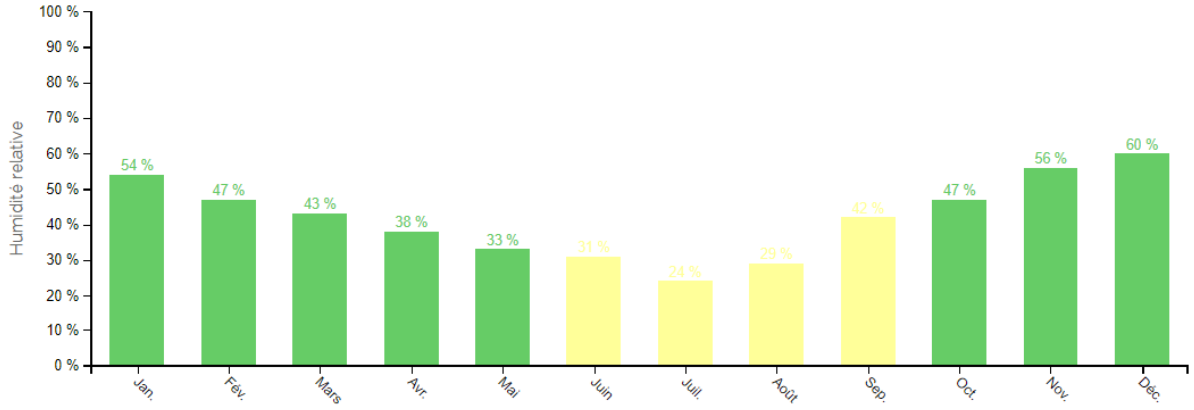


Figure VI-1 : Taux D'humidité Relative De Berriane

VI.2.2. Précipitations :

Les précipitations ont pratiquement toujours lieu sous forme de pluies. Ces dernières sont caractérisées par leur faible importance quantitative et les pluies torrentielles sont rares. Cette insuffisance de pluies sahariennes est accompagnée d'une irrégularité très marquée du régime pluviométrique et d'une variabilité interannuelle considérable.

Les précipitations sont en générale faibles et caractérisant les climats arides. En Septembre, les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de **33,3 mm** et des précipitations moyennes de **4,4 mm** font du mois de Juillet le mois le plus sec. . Ce qui explique la sécheresse de la région étudiée.

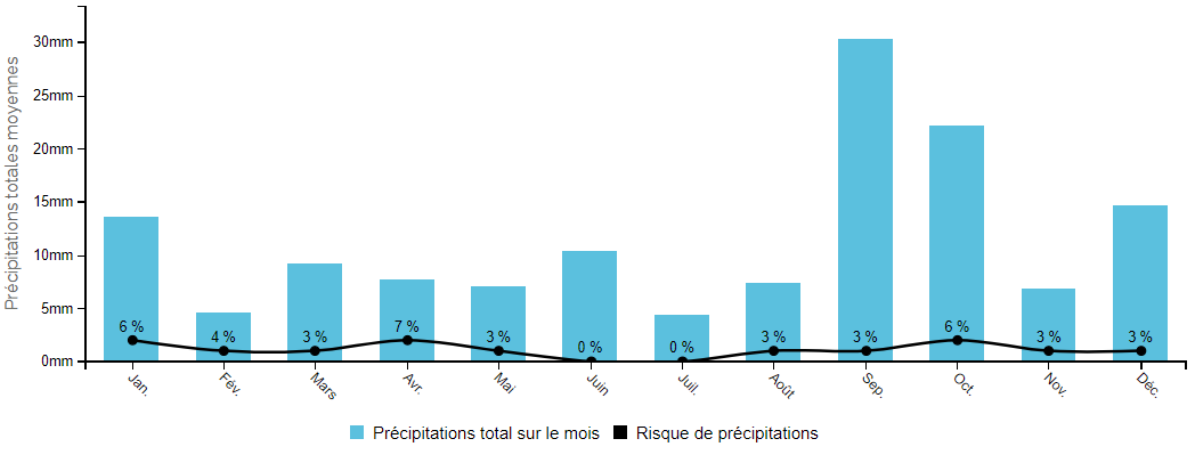


Figure VI2- : Précipitations Moyennes Mensuelles à Berriane

VI.2.3. Description hydrologique :

Du pk 139 au pk 154 (Berriane) le tracé contourne par le bassin versant du M'zab avec Surface de 1300 km2 et Climat méditerranéen hyper aride 60 mm/an .

Notre tracé travers le bassin par le Oued Nsa .

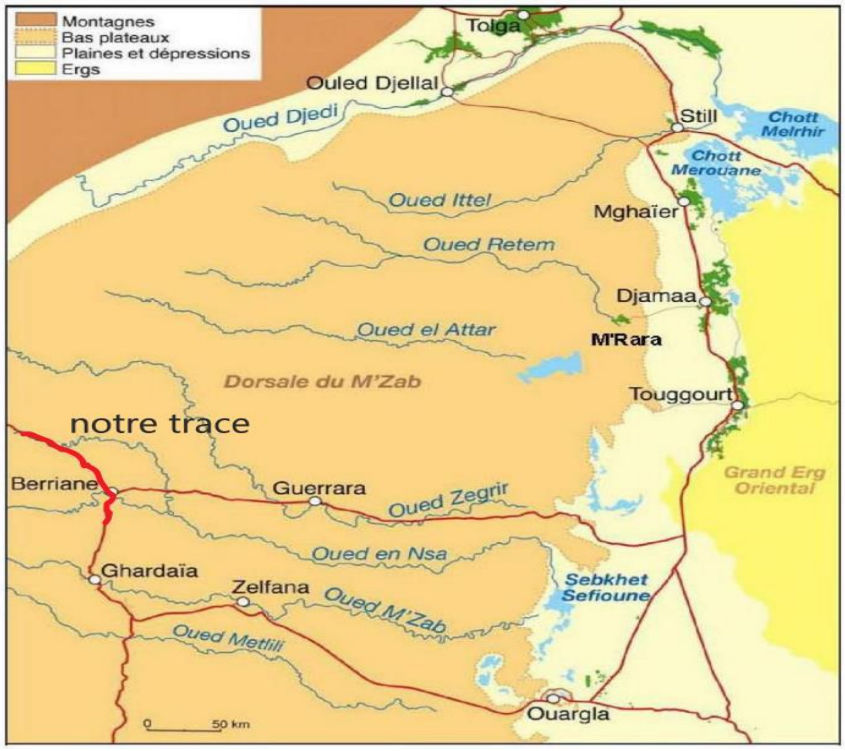


Figure VI3- : Les Oueds de la Dorsale du M'Zab

VI.2.4. Caractéristiques morphologiques des bassins versants :

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

Les paramètres physiques peuvent être calculés, sans grandes difficultés, avec une précision satisfaisante. La superficie (S) des bassins, exprimées en km2, est déterminée avec une précision acceptable, la délimitation des lignes de partage des eaux est faite sur les cartes d'état-major au 1/25 000

Les caractéristiques des paramètres de bassins versants des oueds traversant la nouvelle voie ferrée sont données par le tableau récapitulatif si dessous : Avec :

- S (km2) : Surface.
- P (km) : Périmètre.
- L (km) : Longueur du cours d'eau principal.
- TC (h) : Temps de concentration en heures.
- $Hmax(m)$: Altitude max.
- $Hmin(m)$: Altitude min.
- $Hmoy$(m) : Altitude moyenne.
- $Dh\ [m]$: différence entre l'altitude maximale et minimale du bassin.
- P [m/m] : pente du talweg principal $\rightarrow P\ [m/m] = \frac{\mathbf{Dh\ [m]}}{\mathbf{L\ [m]}}$

Tableau VI-1 : Caractéristiques morphologiques des bassins versants

N º du BV	PK	S [km2]	P [km]	L [km]	$H,max\ [\ m\ ]$	$Hmin\ [\ m\ ]$	$H,moy\ [m\ ]$	$Dh\ [\ m\ ]$	$P\ [m/m]$
BV1	140 +25	0,2487	2,302	0,2943	641	616	629	25	0,08495
BV 2	140+850	3,204	12,009	2,9670	642	603	623	39	0,01314
BV 3	141+800	3,557	10,527	2,5560	653	598	626	55	0,02152
BV 4	142 +50	1,266	5,339	1,6560	645	599	622	46	0,02778
BV 5	144+725	0,542	4,105	0,9280	643	605	624	38	0,04095
BV 6	144+550	0,3812	3,294	0,5880	644	612	628	32	0,05442
BV 7	145+25	0,527	3,919	0,3229	628	596	612	32	0,09910
BV 8	146+990	3,601	12,846	3,1750	638	575	607	63	0,01984
BV 9	147+425	0,4856	4,338	0,7413	618	579	599	39	0,05261
BV 10	147+475	0,1553	2,000	0,3898	596	579	588	17	0,04361
BV 11	147+900	0,1057	1,680	0,2860	601	582	592	19	0,06643
BV 12	147+970	1,26	5,811	1,2150	632	586	609	46	0,03786
BV 13	149+640	0,4929	3,151	0,6480	624	588	606	36	0,05556
BV 14	150+175	0,3478	2,744	0,4795	631	592	612	39	0,08134
BV 15	151+850	0,3216	2,806	0,3583	603	574	589	29	0,08094
BV 16	152+800	0,4694	3,421	0,4719	595	561	578	34	0,07205
BV 17	154+125	0,3996	3,060	0,2175	594	552	573	42	0,19310

VI.2.4.1. Le temps de concentration « Tc »:

Définition : C'est le temps nécessaire à la goute d'eaux pour arriver à un débit maximal. Des méthodes simplifier peuvent être utilise pour estimer le temps de concentration sur des bassins versant .

La formule de détermination du temps de concentration est utilisé pour :

Superficie inférieure à 5 Km²

Tc est calculé par **la formule de VENTURA** :

$$\mathbf{Tc = 0,127\sqrt{\frac{S}{P}}}$$

- Tc : Temps de concentration en heure

- S : Surface du bassin versant en km²

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

Formule de Passini : (B.V entre 5 Km2 et 25 Km2)

$$Tc = \frac{0,108 \cdot (S \cdot L)^{1/3}}{\sqrt{J}}$$

- Tc [h] temps de concentration
- S [km2] surface du bassin versant
- L [km] longueur de l'oued principal
- J [m/m] pente brute du bassin

Formule de Giandotti : (B.V supérieur à 25 Km2)

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

- Tc [h] temps de concentration
- S [km2] surface du bassin versant
- L [km] longueur de l'oued principal
- Dh [m] différence entre l'altitude maximale et minimale du bassin

VI.2.4.2. Calcul de l'intensité de pluie :

$$\frac{P(t)}{Tc} = I$$

- I: Intensité de la pluie (mm/h).
- Tc : Temps de concentration(h)
- P(t): Hauteur de la pluie de durée Tc, (mm).

La relation Intensité - Durée - Fréquence recherchée est la suivante :

$$I = A\, Tc^{-b}$$

- I: Intensité de la pluie (mm/h).
- Tc: Temps de concentration.
- A et b: Paramètres climatiques

La recherche de la loi Intensité - Durée - Fréquence s'effectue sur la base des enregistrements pluviographiques qui sont dépouillés par un lecteur de courbes.

La digitalisation se fait par la méthode de dépouillement à intensités constantes.

On a calculé les quantités de pluies correspondantes à différents pas de temps (1h ,2h , 3h ,6h, 12h ,24h et24h de 8h à8 h) Pour chaque pas de temps nous avons sélectionné 03 valeurs par année. Nous avons obtenu des séries de données pour chaque pas de temps sur toute la période dépouillée. Avec **b=0.82** , Et avec les paramètres < **a** > pour les différentes fréquences sont :

Tableau VI2- : valeur de pour chaque période de retour

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

VI.2.4.3. Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) :

Nous avons le choix entre une multitude de formules pour le calcul du débit de projet, cependant nous optant pour la méthode la plus simple et qui s'adepte le mieux à la région d'étude à savoir la méthode rationnelle. A.

La méthode rationnelle : Le débit de crue pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 $km2$ a été calculé en appliquant la méthode rationnelle dont l'expression est de la forme suivante :

QA = 0.278 C.I. A

- QA : 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).

VI.2.4.4. Le coefficient de ruissellement :

Le coefficient de ruissellement Cr, est un paramètre exprimant la fonction de ruissellement d'eau sur un sol saturé d'eau par rapport aux précipitations totales tombées sur le bassin. Dans la méthode Kenessey le coefficient Cr est la somme des trois composantes (C1 ; C2 et C3), détaillé comme suit :

C =C1 +C2 +C3,

il dépend de :

- La nature du sol.
- L'état de végétalisation sur la terre écoulée.
- dépendant de la pente du bassin versant.

❖ La valeur adoptée de notre projet associé à la période de retour centennal est : **C = 0,6 .**

Pente I (%)	La valeur de C_1	Nature du sol	La valeur de C_2	Couverture végétale	La valeur de C_3
I < 3.5	0.01- 0.05	Imperméable	0.22 - 0.30	Roche	0.22 - 0.30
3.5 < I < 11	0.06 - 0.1	Pas assez perméable	0.10 - 0.20	Prairie	0.17 - 0.25
11 < I < 35	0.12 - 0.20	perméable	0.06 - 0.10	Champs de labour	0.07 - 0.15
I > 35	0.22 - 0.30	Très perméable	0.06 - 0.05	Forêts et sols sableux	0.03 - 0.05

Tableau VI3- : : Coefficient de ruissellement selon la méthode de Kenessey.

Résultats de calcul des débits par la méthode rationnelle : Les débits de pointes calculés par la méthode rationnelle pour une période de retour centennale, et cela pour les bassins versants sont résumés dans le tableau ci-dessous :

N º du BV	Coefficient de Ruisselleme nt	S [km2]	L [km]	Dh [m]	P [m/m]	Tc [h]	I100 [mm/h]	Q100 [m3/s]
BV1	0,6	0,2487	0,2943	25	0,08495	0,21730	110,482	4,58
BV 2	0,6	3,204	2,9670	39	0,01314	1,98279	18,027	9,63
BV 3	0,6	3,557	2,5560	55	0,02152	1,63284	21,138	12,54
BV 4	0,6	1,266	1,6560	46	0,02778	0,85738	35,850	7,57
BV 5	0,6	0,542	0,9280	38	0,04095	0,46205	59,518	5,38
BV 6	0,6	0,3812	0,5880	32	0,05442	0,33612	77,261	4,91
BV 7	0,6	0,527	0,3229	32	0,09910	0,29287	86,501	7,60
BV 8	0,6	13,8	5,971	99	0,0166	3,65	10,92	25,14
BV 9	0,6	0,4856	0,7413	39	0,05261	0,38584	68,997	5,59
BV 10	0,6	0,1553	0,3898	17	0,04361	0,23965	101,959	2,64
BV 11	0,6	0,1057	0,2860	19	0,06643	0,16019	141,865	2,50
BV 12	0,6	1,26	1,2150	46	0,03786	0,73265	40,782	8,57
BV 13	0,6	49,4	12,8	121	0,009	5,37	7,96	65,58
BV 14	0,6	0,3478	0,4795	39	0,08134	0,26261	94,591	5,49
BV 15	0,6	0,3216	0,3583	29	0,08094	0,25315	97,479	5,23
BV 16	0,6	0,4694	0,4719	34	0,07205	0,32416	79,591	6,23
BV 17	0,6	0,3996	0,2175	42	0,19310	0,18269	127,372	8,49

VI.3. Étude Hydraulique :

VI.3.1. Introduction :

La ligne ferroviaire franchit des oueds et talwegs qui seront rétablis à l'aide d'ouvrages hydrauliques conçus et dimensionnés pour perturber le moins possible les écoulements, et ne générer aucune menace pour l'infrastructure, la sécurité des voyageurs et les riverains.

Les écoulements superficiels interceptés par l'infrastructure ferroviaire seront rétablis par la mise en place d'ouvrages hydrauliques adaptés et réalisés dans les règles de l'art.

VI.3.2. Dimensionnement des ouvrages transversaux :

Les ouvrages hydrauliques sont clairement identifiés et alimentés par les oueds que nous avons repérés sur cartes. Les ouvrages hydrauliques sont clairement identifiés et alimentés par les oueds que nous avons repérés sur cartes.

Nous avons choisi des buses qui ont pour but d'assurer souterrainement l'écoulement des eaux lorsque leur volume est faible ce qui est le cas dans notre zone d'étude.

Estimation des débits de saturation :

Le principe général consiste à vérifier que le débit à évacuer correspondant à une pluie centennale est inférieur au débit maximal supporté par de l'ouvrage choisi, tout au long de l'écoulement. Ce critère permet d'assurer que la voie reste en bon état lors d'un événement pluvieux centennale

Le calcul du débit de saturation est déterminé par la formule de **Manning Strickler :**

$$\boldsymbol{Qs = Ks\ Sm\ Rh^{\frac{2}{3}}\ I^{\frac{1}{2}}}$$

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

- Rh : $Rayon\ hydraulique = \frac{\text{section mouillé}}{\text{Périmètre mouillé}}$

- Sm : Section mouillée de l'ouvrage (m2)

- Ks : Coefficient de rugosité

Tableau VI-4 : Valeurs de K coefficient de rugosité

Nature de l'ouvrage	En terre	Buse métallique	Maçonnerie	Béton (dalot)	Béton (buse préfabriquée)
Ks	**30**	**40**	**50**	**70**	**80**

Pour le cas de notre projet, tous les ouvrages hydrauliques sont conçus en béton armé, donc leurs coefficients de rugosité de Manning-Strickler est égal à **80** car on utilise des buses.

La pente des ouvrages doit être limitée (Pente minimale I = 1 %) pour éviter des vitesses trop élevées.

Les dimensions retenues pour les ouvrages sont celles qui répondent aux deux conditions suivantes : $\boldsymbol{Qa < Qs}$

Qa : Débit d'apport (m3 /s).

Qs : Débit de saturation de l'ouvrage (m3 /s).La vitesse maximale d'écoulement dans l'ouvrage est limitée à **5 m/s** selon le référentiel technique SNTF .

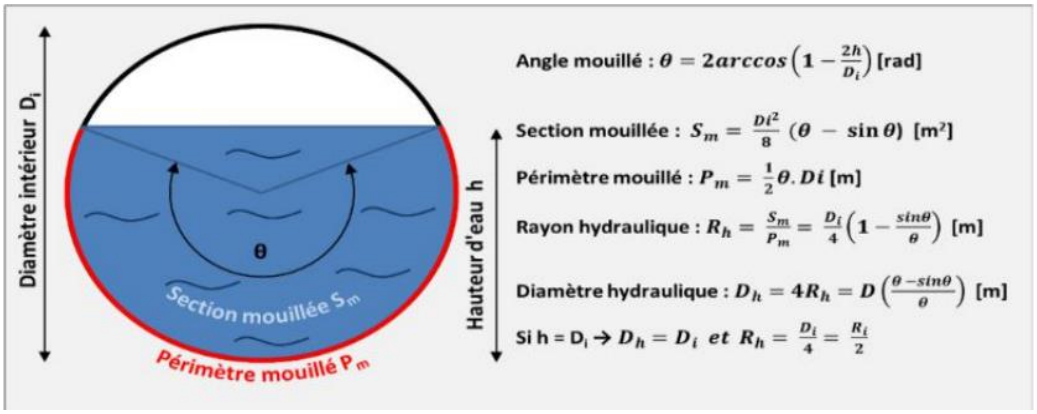


Figure VI**4-** : Hauteur de remplissage des buses

Hauteur mouille de buse Hm= 0.8Ø

Tableau VI-5 : Liste globale des ouvrages à projeter

Exutoire au PK	Ouvrage	Sm (m²)	Pm (m)	Rh (m)	I (m/m)	Q100 [m3/s]	Qs m3 /s	Vps (m/s)
140 +25	Buse Ø1500	1,52	4,52	0,34	0,01	4,58	5,92	3,89
140+850	2 Buse Ø1500	3,04	9,04	0,34	0,01	9,63	11,84	3,89
141+800	Buse Ø2000	2,7	6,03	0,48	0,01	12,54	13,24	4,90
142 +50	2 Buse Ø1500	3,04	9,04	0,34	0,01	7,57	11,84	3,89
144+725	2Buse Ø1500	1,52	4,52	0,34	0,01	5,38	11,84	3,89
144+550	Buse Ø1500	1,52	4,52	0,34	0,01	4,91	5,92	3,89
145+25	2 Buse Ø1500	3,04	9,04	0,34	0,01	7,60	11,84	3,89
146+990	Ouvrage					25,14		
147+425	2 Buse Ø1500	3,04	9,04	0,34	0,01	5,59	11,84	3,89
147+475	Buse Ø1200	0,97	3,62	0,25	0,01	2,64	3,08	3,17
147+900	Buse Ø1200	0,97	3,62	0,25	0,01	2,50	3.08	3,17
147+970	Buse Ø2000	2,7	6,03	0,48	0,01	8,57	12,95	4,90
149+640	Ouvrage					65,58		
150+175	Buse Ø1500	1,77	4,71	0,376	0,01	5,49	7,37	3,89
151+850	2 Buse Ø1500	3,04	9,04	0,34	0,01	5,23	7,37	3,89

152+800	2 Buse Ø1500	3,04	9,04	0,34	0,01	6,23	11,84	3,89
154+125	Buse Ø2000	2,7	6,03	0,48	0,01	8,49	12,95	4,90

Vérification des conditions d'auto curages :

L'auto curage c'est l'aptitude de conduite d'assainissement à transporter la particule solide, donc une bonne auto curage impose que la capacité de transport des particules solide soit suffisante pour éviter leur sédimentation et leur dépôt .

Pour vérifier ces conditions il faut vérifier :

- V > 0.6 m/s pour : Q = 0.1 Qps.
- V > 0.3 m/s pour : Q = 0.01 Qps
- Vps < 5 m/s

Exemple de calcul pour Buse Ø1500 :

$$Vps = \frac{Qps}{Sm} = \frac{5,92}{1,52} = 3,89 m/s < 5\, m/s.$$

Pour $Q100/Qps = Rq = 0.1 \rightarrow Rv = 0.64 = V/Vps$

→ V = Vps × 0.64 = 2,49 m/s > 0.6 m/s condition vérifie .

Pour $Q100/Qps = Rq = 0.01 \rightarrow Rv = 0.32 = V/Vps$

→ V = Vps × 0.32 = 1,24m/s > 0.3 m/s condition vérifie .

Tableau VI-6 : Vérification hydraulique des ouvrages transversaux

N° du BV	Exutoire au PK	Ouvrage	Sm (m²)	Q100 [m3/s]	Qs m3 /s	Vps (m/s)	Si Q=0.1Qp alors V > 0.6m/s	Si Q=0.01Qps Alors V > 0.3 m/s
BV1	140 +25	Buse Ø1500	1,52	4,58	5,92	3,89	2,67	1,33
BV 3	141+800	Buse Ø2000	2,7	12,54	13,24	4,90	3,14	1,57
BV 10	147+475	Buse Ø1200	0,97	2,64	3.08	3,17	2,03	1,01

VI.3.3. Ouvrages d'assainissement longitudinaux :

Les dispositifs de drainage longitudinaux ont pour fonction de collecter ou de drainer Les eaux de pluie qui s'écoulent sur la plate-forme dans les structures d'assise, les eaux de ruissellement des talus et des bassins versants et les eaux internes éventuelles.

Ce drainage sera formé par fossés trait caniveaux qui conduiront les eaux aux ouvrages

hydrauliques ou directement aux lignes d'eau existantes

VI.3.4. Dimensionnement des fossés

Pour le calcul hydraulique de fossés a été utilisée la formule de **Manning-Strickler:**

$$\mathbf{Qs = Ks\ Sm\ Rh^{\frac{2}{3}}\ I^{\frac{1}{2}}}$$

- La surface mouillée : Am = (b+z× h) ×h .

- Le rayon hydraulique : Rh= Sm/Pm

- Le périmètre mouillé Pm = b+2h. $\sqrt{1+\mathrm{z}^2}$

- Z la pente des berges

Les hypothèses suivantes ont été émises pour le dimensionnement :

Profil trapézoïdal avec une pente du talus (H/V) 3/2.

I : Pente (La déclivité longitudinale des fossés en zone de déblai est identique au gradient du profil en long de la voie)

Ks : Coefficient de rugosité Strickler et on prend K = 70 (correspondant à des fossés en béton)

Pente longitudinale minimale = 0.002 m/m

Pour notre cas la pente de talus est de m= tgα= 2/3= (1/z) ce qui donne z=1.5

Le débit à évacuer qui est la somme des 3 débits La plate-forme, les bermes et les talus :

Qa= Qpf + Qb + Qt

Le calcul des débits se fait dans le cas le plus défavorable, où il y a un remblai ou un déblai qui s'étend une grande longueur avec une hauteur importante.

Chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle :

QA = 0.278 C.I. A

- Q : Débit de crue correspondant au bassin versant, avec une période de retour T (m³/s).

- C : Coefficient de ruissellement .

- I : Intensité de pluie (mm/h) .

- A : Surface du bassin versant considérer : la plate-forme / les bermes / les talus, en (km²) .

Le débit utilisé correspond à celui calculé pour une période de retour de 20 ans.

(a = 23,7 , b = 0,82)

		CAS REMBLAI	CAS DEBLAI
		Longueur= 2659,37 m	Longueur= 2436,07 m
		Htalus= 8 m	Htalus= 13 m
		Berme = 2 m	Berme = 2 m
		Largeur de la plateforme= 6.8 m	Largeur de la plateforme= 6.8 m
Plateforme	Cr	0,95	0,95
	P(m/m)	0,04	0,04
	A(Km2)	0,018	0,0165
	Tc(h)	0,085	0,081
	I (mm/h)	178,9	186,11
	Qpf (m3/s)	0,85	0,81
Talus	Cr	0,7	0,7
	P(m/m)	0,5	0,5
	A(Km2)	0,0213	0,0317
	Tc(h)	0,026	0,031
	I (mm/h)	472,57	409,1
	QT (m3 /s)	1,96	2,52
Bermes	Cr	0,7	0,7
	P(m/m)	0,04	0,04
	A(Km2)	0,00531	0,0049
	Tc(h)	0,046	0,044
	I (mm/h)	295,99	306,98
	Qb (m3 /s)	0,31	0,29
Qa (m3/s) (totale)		3,12	3,62

Tableau VI-7 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de Remblai et Déblai.

B	H	Z	Sm(m2)	Pm(m)	Rh	Ks	I(m/m)	Qs(m3/s)
0,6	0,6	1,5	0,9	2,76	0,33	70	0,02	4,25

Tableau VI8- : Dimensionnement du fossé proposé

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

$$\boldsymbol{Qa < Qs}$$

En conclusion, les types des fossés adoptés pour notre projet de forme trapézoïdal

(b=0.6m , h=0.6 m , pente= 3/2 H/V).

VI.4. CONCLUSION :

Dans un projet linaire tel qu'une ligne ferroviaire, l'étude hydrologique et hydraulique est primordiale et obligatoire, elle permet d'assurer la pérennité de la voie. D'après notre étude précédente, on déduit son importance dans ce projet par le volume conséquent des travaux de drainages longitudinaux et transversaux à réaliser le long de la ligne :

- 21 buses. (17 Ø 1500 et 2 Ø 1200 , 2 Ø 2000)
- Un fossé de forme trapézoïdal (b=0.6 m , h=0.6 m, pente=2/3) le long de la ligne .

CHAPITRE VII :
ÉTUDE GEOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

VII. Étude géologique et géotechnique

VII.1. Introduction :

Après avoir choisi le couloir traversé par la voie ferrée, l'ingénieur est chargé d'étudier en détail la géologie locale pour prévenir tous les risques naturels, y compris les problèmes d'instabilité tels que le mouvement des pentes, affaissement et effondrement.

Ensuite, nous compléterons l'étude géologique par une étude géotechnique, afin d'interpréter les mouvements gravitationnels pour garantir la stabilité et la durabilité à long terme

VII.2. L'étude géologiques :

La géologie est une science qui consiste à étudier les parties de la Terre accessibles à l'observation et à élaborer des hypothèses qui permettent de reconstituer leur histoire et expliquer leur agencement.

L'étude géologique dans le cadre du projet est basée sur la consultation des cartes et les données disponibles à différents niveaux (BET, entreprises) ainsi que sur les différentes publications :

- ❖ Carte Géologique de l'Algérie, 2ème édition, à l'échelle 1/500 000 .
- ❖ Les données de la compagne géologique et géotechnique fournies par SETIRAIL .

Le pays comprend quatre grands domaines du nord au sud :

- **l'Atlas tellien** (ou le Tell), constitué de reliefs escarpés et de plaines littorales dont les plus riches d'Algérie sont la Mitidja au centre, le Chelif à l'ouest et le Seybouse à l'est.
- **les Hauts Plateaux**, sont une zone steppique localisée entre l'Atlas Tellien au nord et l'Atlas Saharien au sud.
- **l'Atlas saharien**, qui forme une longue suite de reliefs orientés NE-SO s'étendant de la frontière marocaine à celle de la Tunisie.
- **le Sahara algérien**, qui recèle l'essentiel des ressources en hydrocarbures, est un désert formé de grandes étendues de dunes (Erg Oriental et Erg Occidental), de plaines caillouteuses (regs) et parsemé d'oasis .

VII.2.1. Aperçu géologique régionale :

La zone d'étude est répartie sur deux domaines géologiquement différents l'Atlas Saharien au Nord et la Dorsale du M'zab au Sud. (Plate - forme saharienne) , voir la figure suivante :

La carte géologique du bassin du Sahara (au 1/500.000) établie par le Service de la Carte Géologique de l'Algérie (SCG) 1951 montre que la dorsale du M'zab correspond aux affleurements des formations du Crétacé supérieur (Cénomano- turoniennes et sénoniennes),

dessinant ainsi une lanière allongée sur une direction subméridienne, laquelle est entourée par de dépôt continental d'âge Mio-pliocène.

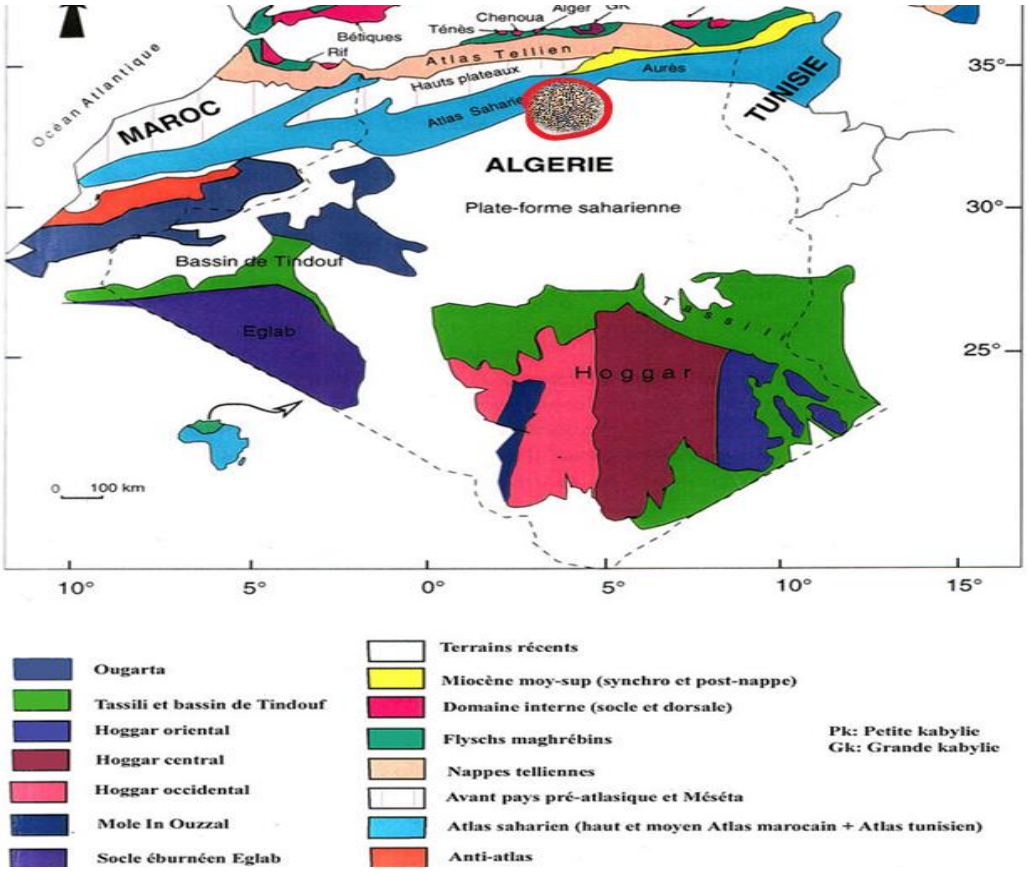


Figure VII1- : Géologie de l'Algérie

Les immenses dunes de l'Erg occidental recouvrent en grande partie la dorsale au Sud-Ouest. Ces assises carbonatées et marneuses du Crétacé supérieur s'épaississent et s'approfondissent progressivement vers l'Est, et se couvrent par des couches plus récentes d'âge Tertiaire (Mio-pliocène et Pontien).

VII.3. Contexte géologique de ce tronçon :

D'après l'étude de la carte géologique de l'Algérie au 1/500 000, on constate que le tracé de la future ligne ferroviaire traverse les terrains géologiques suivants :

Du **Pk 139+500** au Pk **154+700** : Le tracé traverse le plateau rocheux de la chebka du M'Zab, il contourne la ville de Ghardaïa et El Atteuf par le Nord sur les plateaux, traversant oued M'zab à l'Est et continuera parallèlement à l'aéroport de Noumérate .

La Chebka du M'Zab est un plateau crétacé rocheux découpé en tous les sens par de petites vallées irrégulières, qui semblent s'enchevêtrer les unes des autres. Ces vallées sont plus ou moins parallèles et leur pente dirigée vers l'Est.

Les formations encaissantes comprennent des **calcaires**, et au-dessous **des marnes du Crétacé supérieur ; les calcaires** généralement **dolomitiques** constituent le plateau et le haut des berges.

Géologiquement, la Chebka des M'zab est un plateau rocheux qui date du crétacé supérieur, ce plateau se présente sous la forme d'une vaste étendue pierreuse et de roches brunes et noirâtres. Les terrains sont calcaires. Leur structure à peu près horizontale indique qu'ils sont restés en place, à l'écart des mouvements orogéniques, depuis leur formation .

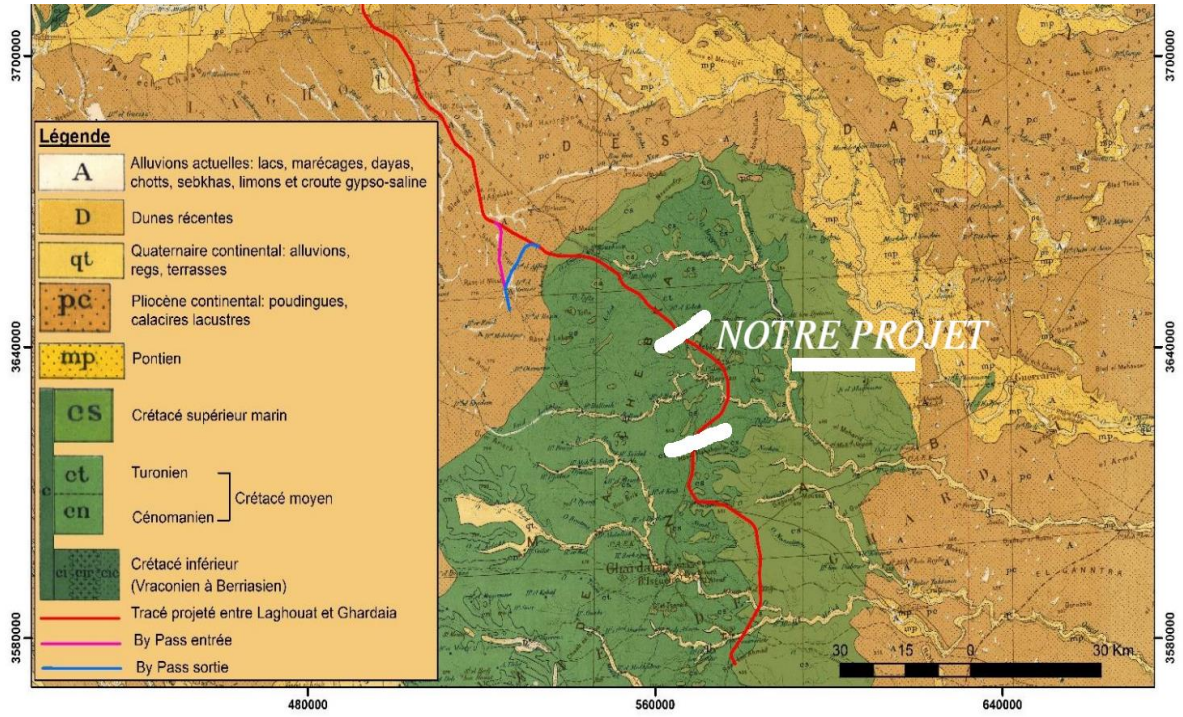


Figure VII-2 : Tracé projeté sur carte géologique d'Algérie 1/500 000

Tectonique régionale :

Le domaine de la plate-forme saharienne représente un grand bassin sédimentaire dont la zone la plus profonde est située dans la région des chotts (centre du bassin), il correspond à des immenses séries marines et continentales d'âge Crétacé et Tertiaire, reposant en discordance angulaire sur un socle d'âge Primaire plissé. La tectonique du bassin est relativement stable et moins prononcée.

VII.3.1. Risques géologiques :

VII.3.1.1. Inondation :

La région d'étude située dans le Sahara algérien est très susceptible au risque d'inondation ; le relief plat, le réseau hydrographique dense et le climat aride connue par des pluies irrégulières et torrentielles favorise ce phénomène

VII.3.1.2. Séisme :

La carte sismique de l'Algérie montre la distribution des différentes zones sismiques en fonction de l'intensité des tremblements de terre enregistres. Pour toute la zone d'étude, le risque des tremblements de terre est faible à négligeable , c'est-à-dire en zone 1

VII.4.ÉTUDE GEOTECHNIQUE :

VII.4.1. Introduction :

Les éléments géologiques recueillis doivent être complétés par des éléments géotechniques précis, conduisant à la connaissance du comportement du sol vis-à-vis des efforts extérieur .

Cette étude doit d'abord permettre de localiser les différentes couches et donner les renseignements de chaque couche et les caractéristiques mécaniques et physiques de sol, donc l'exécution d'un projet ferroviaire nécessite une bonne connaissance des terrains traversés ce qui exige des reconnaissances géotechniques.

VII.4.2. Programme d'investigation géotechnique :

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

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

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

VII.4.2.1. Essai in situ :

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

Tableau VII-1 : Essais in-situ et les leurs objectifs

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

VII.4.2.2. Sondages carottés :

Sept (07) sondages carottés de quinze (15.00 m) à vingt mètres (20.00 m) de profondeur ont été réalisés dans le but de saisir convenablement la succession stratigraphique et les caractéristiques géotechniques des sols existants et de définir plus particulièrement le niveau lithologique susceptible de constituer une bonne assise pour les fondations projetées.

Les résultats des mesures sont montrés ci-après :

Tableau VII-2 : Résultats des sondages carottés

Sondage	PK	Profondeur (m)	niveau piezometrique	Nature des terrains
F37	PK 140+960	20	Sec	(00.40-20.0) m : Calcaire fracturé altéré admettant des passages d'encroutement.
F38	PK 142+000	20	Sec	
F39	PK 143+ 600	20	Sec	
F40	PK 147+040	15	04.95	
F41	PK 149+700	20	14.40	
F42	PK 152+800	15	Sec	
F43	PK 154+300	20	Sec	

❖ **DESCRIPTION LITHOLOGIE DES SONDAGE :**

A la lumière des sondages réalisés, il s'avère que le profil stratigraphique type du terrain de fondation est assez homogène. Le profil stratigraphique se présente comme suit :

Ce tronçon est caractérisé principalement par son substratum en roche calcaire dure/fracturée et surmonté par des encroutements calcaires .

Les prises de mesures piézométriques effectuées ont montrées :

Une baisse continuelle du niveau d'eau sur les piézomètres installés dans les sondages carottés.

Le points de sondage **(F40)** est situé sur les rives des oueds en écoulement intermittent (pendant la période des crues).

VII.4.2.3. Essais De « Standard Pénétration Test » SPT :

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

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

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

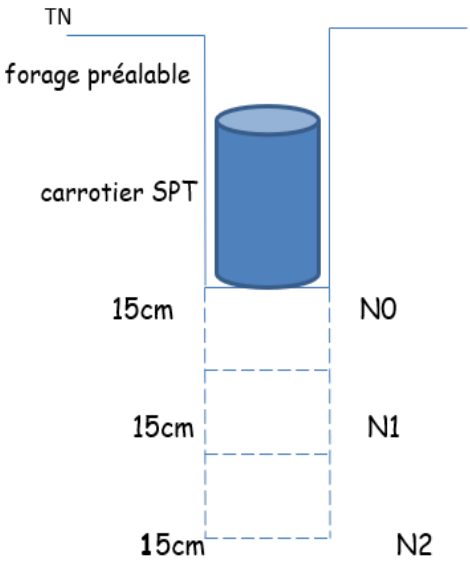


Figure VII**3-** : Essai SPT

L'enfoncement est exécuté en deux phases :

Enfoncement d'amorçage ou démarrage :

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

Enfoncement d'essai :

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

Battage sur 15 cm , on note **N1**

Poursuivre le battage sur 15cm autre, on note **N2**

$$\mathbf{Nspt = N1 + N2}$$

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

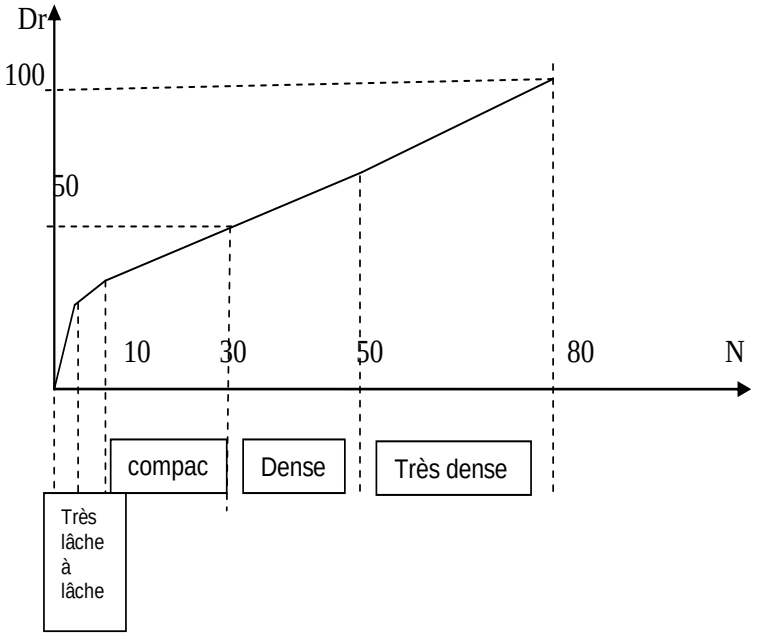


Figure VII4- : Densité relative (SPT) des matériaux sableux

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

VII.4.2.4. PUITS DE RECONNAISSANCES :

- **IMPLANTATIONS DES PUITS DE RECONNAISSANCE :**

Comme prévu dans le programme d'investigations géotechniques, deux (02) puits de reconnaissances ont été réalisés jusqu'à une profondeur de quatre mètres (4 m). Les coordonnées de ces puits sont récapitulées dans le tableau suivant :

Type	Désignation Puit	PK	Coordonnés		Prof. (m)
			X	Y	
Déblai	PU-32-L-G	139+ 900	565 150	3643098	4
Plateforme	PU-33-L-G	145+ 300	570 399	3639588	4

Tableau VII3- : Coordonnées des puits de reconnaissance

VII.4.2.5. Essai pénétromètre dynamique : (NFP 94-115)

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

- Mesure de la résistance dynamique à l'enfoncement d'un pieu battu .

- Estimation de la résistance dynamique de pointe par la formule dite des Hollandais .

Dans la section étudiée, nous avons une seul essai PDL

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

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

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

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

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

Étant :

- M = Masse du mouton (63,5 kg) .

- M' : masse cumulée, de l'enclume, des tiges, de la pointe .

- H =Hauteur de chute (75cm) .

- A =Section de la pointe (20 cm2) .

- g : accélération de la pesanteur (9,81 $^{m}/_{s^2}$) .

- e : enfoncement par coup $e = 0{,}2/Ncoups$ (20cm) .

Plateforme	570399	3639588	145+ 300	PU-33-L-G	4,00
				PDL-28-L-G	Refus

Tableau VII4- : Essai au pénétromètre dynamique

Le refus maximal enregistré pour ces points se matérialise par une résistance de pointe Qd égalant les **90 Mpa** de 0.40 m à 0.80m (REFUS) c'est à dire que nombre des coups est très grand .

VII.4.2.6. Essais de laboratoire :

- ❖ Essais d'identification (Granulométrie, Sédimentométrie, Limites d'Atterberg, teneur en eau naturelle, densité spécifique, essai d bleu VBS) .
- ❖ Analyses chimiques (Sulfates, Carbonates) .
- ❖ Essais mécaniques (, Proctor modifié, Cisaillement rectiligne et l'essai œdométriques) .

VII.4.2.7. Essai d'Identification :

1. Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique permet de détecter les pourcentages des différentes familles de grains constituant l'échantillon, Elle s'effectue par tamisage pour les grains d'un diamètre supérieur à **80 µm** et par sédimentométrie pour les grains les plus fins.

2. Teneur en eau :

Le teneur en eau représente la quantité d'eau contenu dans un échantillon de sol

3. Limites d'Atterberg :

Les limites d'Atterberg permettent de détecter les teneurs en eau (exprimées en %) correspondant aux limites des différents états (limite de liquidité, limite de plasticité)

4. Essais de propreté :

L'équivalent de sable est un indicateur caractérisant la propreté d'un sable ou une grave. Il indique la teneur en éléments fins.

5. Essai au bleu méthylène VBS :

L'essai au bleu de méthylène, ou « essai au bleu », est Utilisé pour déterminer l'argilosité d'un sable d'un granulat et plus généralement d'un sol.

Les résultats des essais d'identification et de propreté des sols traversés par la nouvelle ligne ferroviaire avec leur classification selon GTR sont donnés par le tableau récapitulatif si dessous :

F41 L-GH PK 149+700

SONDAGE F41 L-GH PK 149+700				
Prof (m)		05,50-05,70	07,40-07,80	12.75-13.00
W %		10,02	13,5	/
Ɣd t/m3		1,94	2	2.21
Ɣh t/m3		2,13	2,27	/
Wsat %		14,65	13	/
Degré de saturation Sr %		68	100	/
Granulométrie par tamisage (%passants)	80mm	L'échantillon ne se dissous pas dans l'eau 24h après (voir photo n°22)	/	/
	50mm		/	/
	31,5mm		/	/
	20mm		/	/
	10mm		/	/
	05mm		100	/
	02mm		99,95	/
	01mm		99,79	/
	0.4mm		99,6	/
	0,2mm		99,37	/
	0,1mm		99,36	/
	0,08mm		99,34	/
Sedimentometerie	0.025µ		92,38	/
	0.008µ		59,9	/
	0.002µ		31,64	/
WL %		Impossible (voir photo n°22)	69,3	/
Wp %			32,64	/
Ip %			36,66	/
VBS		/	/	/
ES		/	/	/
Odomètre	PC bar	La nature de l'échantillon non adaptée à cet essai (voir photo n°22)	/	/
	Cc			/
	Cg			/
Cisaillement rectiligne CD	C' (KPa)	La nature de l'échantillon non adaptée à cet essai (voir photo n°22)	La nature de l'échantillon non adaptée à cet essai (voir photo n°23)	/
				/
	ϕ			/

Tableau VII**5-** : les résultats de SONDAGE F41 L-GH PK149 +700

VII.4.3. Interprétation des résultats :

- Selon la classification GTR (LCPC), les sols de la classe de classe R3 (sous-classe R34) roche argileuse de classe R3 (sous-classe R34)
- Selon la classification UIC 719R le sol traversé par la ligne ferroviaire est classé dans sa totalité (100%) dans la classe QS1, c'est-à-dire des sols « médiocres ».
- Sol comportant plus de 40 % des fines avec pourcentage de 99,34 %
- Les résultats des limites d'Atterberg réalisés sur les échantillons ont donné indices de plasticité « IP » de **36, 66 %** et limite de liquidité (WL) **69,3 %** et limite de plasticité (WP) **32,64 %,** Ces résultats montrent que les sols sont plastiques .

Indice de plasticité (%)	Qualificatif
Ip≤12	Non plastique
12≤Ip≤25	Peu plastique
25≤Ip≤40	Plastique
Ip>40	Très plastiques

Tableau VII-6 : Qualificatif de la fraction du sol constituée d'éléments inférieurs à 400 um en fonction de l'indice de plasticité (NF P 94-051)

NOTE :
pour les Essais mécaniques (Proctor modifié et Essais CBR imbibés) n'ont pas eu jusqu'à présent .

VII.4.4. Réutilisation des matériaux excavés :

Classification des matériaux en vue de leur réutilisation :

La classification des matériaux excavés en vue de leur réutilisation basée sur ce qui est défini par l'union internationale des chemins de fer au code UIC 719R pour les ouvrages en terre et couches d´assises ferroviaires.

Taux de réutilisation : 60 %

VII.4.5. Gîtes D'emprunts Et Carrières

Gîtes d'emprunts Afin de classer les matériaux de ces gîtes selon le guide technique de réalisation des remblais et de couche de forme (GTR), des puits d'exploration avec un prélèvement d'échantillons ont été réalisés au niveau de chaque zone d'emprunt.

Les résultats des essais de laboratoire réalisés sur les différents échantillons, prélevés à partir des puits de reconnaissance sont résumés dans le tableau suivant :

EMPRUNTS	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE %						LIMITE D'ATTERBERG %		NATURE DES MATÉRIAUX	Coordonnées GPS
	<50	<20	<5	<2	<0,2	<0,08	WL	IP		
1	78	63	45	39	29	24	28	9	TVO	31S 566458.00 3641520.00
2	85	65	45	40	32	18	25,12	NM	Tuf	565409.00 3643130.00

Tableau VII-7 : : Récapitulation Des Essai En Laboratoire (Emprunts Nord-Berriane).

Nom de la carrière	Localisation	Statue juridique	Substance	Destination (selon XP P18-545
Ucogeber	Berriane 31S 570504.58 3635661.96	Sarl Privé	Calcaire	-Couche de fondation -Béton hydraulique -Couche sous ballast
Concaber	Berriane 31S 571467.99 3630953.36	Sarl Privé	Calcaire	-Couche de fondation -Béton hydraulique -Couche sous ballast

Tableau VII-8 : Carrières de BERRIANE

VII.5. Conclusion :

D'après l'étude géologique et géotechnique de la région on est conclu Le sol support est classé en **QS1 Sol médiocre** acceptables tel quels , dont on doit toujours se préoccuper du bon drainage . Ces sol peuvent éventuellement être transformes en sol de meilleure qualité par un traitement approprie (traitement aux liants …)

CHAPITRE VIII :
ASSISE FERROVIAIRE

VIII. Assise ferroviaire

VIII.1. INTRODUCTION :

La structure d'assisses ou l'infrastructure de la voie est le soubassement d'une voie, en d'autre terme, c'est la partie inférieure sur laquelle cette voie repose. Elle comprend la couche de ballast et la sous-couche (sous ballast) et la plate-forme. Leurs rôles principaux sont :

- L'amortissement des vibrations importantes provenant la contacte rails-roue.
- La répartition des charges provenant des traverses d'une manière presque uniforme sur la plate-forme.
- La contribution à la stabilité longitudinale et transversale de la voie ferrée .
- L'évacuation des eaux de ruissellement par le drainage .

VIII.2. Le Ballast :

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

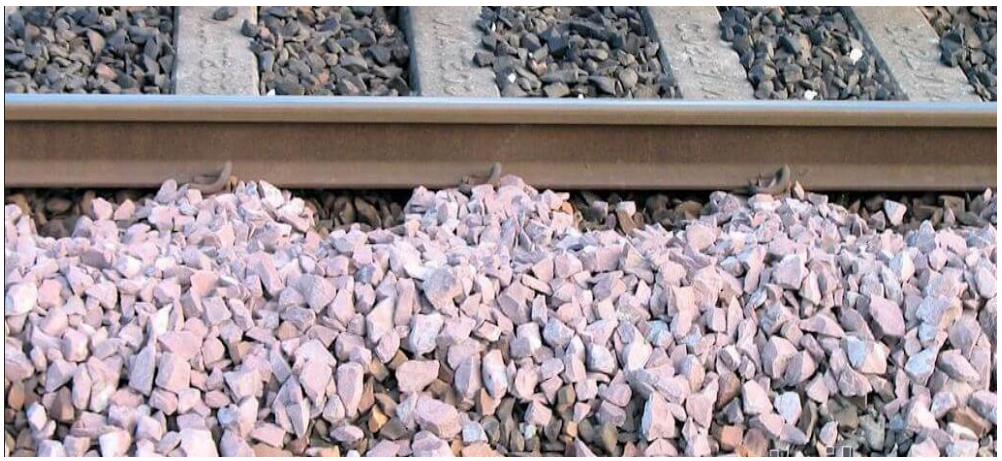


Figure VIII**1-** :ballaste sur la voie

VIII.2.1. Rôle de Ballast :

Le ballast assure plusieurs fonctions primordiales :

- La transmission des efforts engendrés par le passage des trains au sol, sans que celui-ci ne se déforme par tassement.
- Stabilisation de la traverse, résistance aux forces longitudinales et transversales des trains .
- Amortissement des vibrations et absorption de bruit, garantissant ainsi la sécurité et le confort des circulations .

- Assure en raison de sa granularité particulière le drainage et l'évacuation des eaux superficielle ; et limitation des problèmes du gel .

VIII.2.2. Matériau :

On utilise généralement de la pierre concassée, de granulométrie variante entre **31.5 mm** et **50 mm** . Les carrières où l'on extrait et transforme ces matériaux sont les ballastières.
La qualité de ballast est exprimée à partir des essais classiques :

- Essai de la résistance à l'usure (essai Deval ou micro-Deval) ;
- Essai de la résistance à la fragmentation (essai de Los Angles) ;
- Essai de la résistance à la compression.

Référence normative : NF EN 13450 Granulats pour ballasts de voies ferrées Le ballast utilisé en chemins de fer doit avoir au moins les qualités suivantes :

- La résistance à la compression simple RC ≥ **14 KN**
- Coefficient Micro Deval MDE ≤ **15 %.**
- Coefficient Los Angles sec LA ≤ **24 %.**

VIII.3. Sous Couche :

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

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

VIII.3.1. Rôle de la sous couche :

Elle a des rôles multiples :

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

VIII.4. La plate-forme :

VIII.4.1. Définition :

La plate-forme de la voie constitue l'élément support de la superstructure de la voie ferrée.
La plateforme est constituée de 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.

VIII.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.

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.

❖ Pour tous les puits de reconnaissance réalisés dans notre projet la classe de qualité du sol de la plateforme, la classe prépondérante dans cette zone est de classe **QS1** Selon la fiche UIC 719R .

VIII.4.3. La classe de portance de la plateforme :

Les paramètres qui permettent de définir les types de plate-forme sont le type et l'état hydrique des sols constituants du couronnement des remblais ou des sols in "situ" au niveau de la fondation de la plate-forme en excavation (qui définissent selon le code UIC 719R les classes de qualité des sols) et leur épaisseur.

En fonction de ces paramètres sont définis, selon le code UIC719R , trois types de plate-forme (correspondantes à trois classes de capacité de support) :

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

Spécifications pour le cœur du remblai		Capacité de support nécessaire pour la plateforme	Spécifications pour la couche de forme		
Qualité du matériel	CBR_{min} (a)		Qualité du matériel posé	CBR_{min}(b)	Epaisseur minimale (m)
QS1	2-3	P1	QS1	2-3	--
		P2	QS2	5	0,50
		P2	QS3	10-17	0,35
		P3	QS3	10-17	0,50
QS2	5	P2	QS2	5	--
		P3	QS3	10-17	0,35
QS3	10-17	P3	QS3	10-17	--

Tableau VIII1- : la classe la portance de la plate-forme (normes UIC 719R

Plate-forme proposée :

Compte tenu de ce qui précède, notamment la classe des qualités du sol support QS1, ainsi que les prescriptions données par les UIC nous conseillons d'opter pour une plateforme de type **P3** (Bonne plateforme) dimensionnée préalablement pour un tel type de sol (**QS3**) .

Les résultats des travaux du terrain et les résultats montre que si on envisage pour une classe C une bonne plateforme, c'est-à-dire de classe P3, on a besoin d'une couche de forme.

Couche de forme :

Concernant le besoin d'obtention d'une plate-forme de qualité de support du type **P3**, Sur les matériaux QS1 on a adopté une couche de forme dont la qualité de sol est **QS3** et cela sur une épaisseur de **50 cm = ef .**

VIII.5. Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise :

La formule de calcul de l'épaisseur minimale des couches d'assise est donnée comme suit:

e = épaisseur ballast + épaisseur sous couche (m) .

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

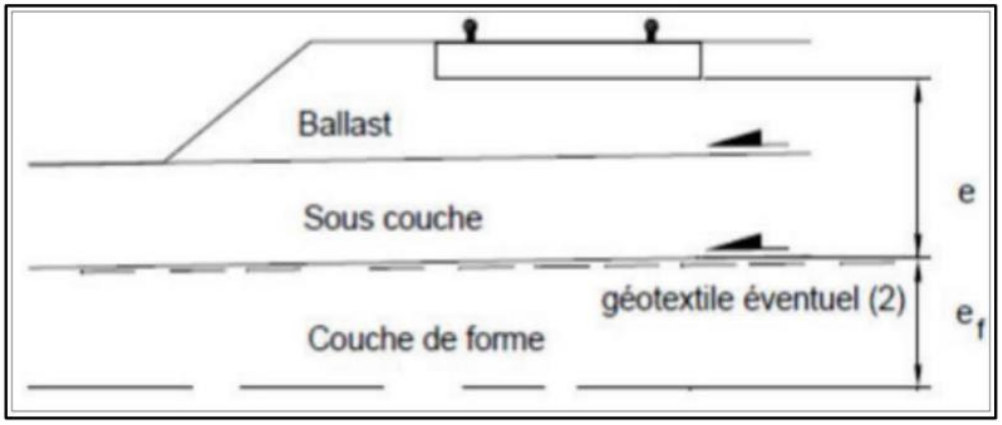


Figure VIII2- : Les épaisseurs des couches d'assise

E	0.70m	Pour les plateformes de classe de portance P1.
	0.55m	Pour les plateformes de classe de portance P2.
	0.45m	Pour les plateformes de classe de portance P3.
a	0 m	Pour les lignes des groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V>160 km/h quel que soit le groupe (UIC).
	-0.05 m	Pour les lignes de groups UIC (3,4).
	-0.10 m	Pour les lignes de groupe UIC (5, 6,7, 8,9) avec voyageurs.
	-0.15 m	Pour les lignes de groupe UIC (7, 8,9) sans voyageurs.
b	0 m	Pour les travers en bois de longueurs L= 2.6 m
	(2.50-L) /2 m	Pour les travers en béton de longueur L. (L et b en mettre si L>2.5, b peut être négatif).
c	0 m	Pour un dimensionnement normal (nouvelle ligne).
	-0.1 m	À titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que "7, 8 et 9 sans voyageurs".
d	0 m	Lorsque la charge nominale maximale d'essieu des véhicules remorques est inférieur ou égale a 20 tonne/essieu.

	0.05 m	Lorsque cette charge est de 22 ,5 tonne/essieu.
	0.12 m	Lorsque cette charge est de 25 tonne/essieu.
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.
	0.05 m	Pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues a grande vitesse.
	0,10 m	Pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues a grande vitesse.
g	0.01m	Géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2.
	0	(Pas de géotextile), lorsque la couche de forme est en sol QS3.

Tableau VIII-2 : les valeurs des différents paramètres pour le calcul de l'épaisseur

Application au projet :

Nous avons adopté les valeurs suivantes (fiche UIC-719 R).

Paramètre	En pleine voie	Description
Ballast (m)	**0.30**	
Traverses L	**2.41 m**	
e	0,45	**Pour une plateforme P3**
a	0.00	**Pour les lignes des groupes UIC 1 et 2**
b	0.05	**Traverses**
c	0,00	**Pour voie nouvelle**
d	0,05	**Pour une charge de 22 ,5 tonne/essieu**
f	0,00	**Pour une ligne de grande vitesse et une plate-forme de portance P3.**
g	0	**Sans géotextile en sol QS3**
Epaisseur de e (m)	**0.55**	

Tableau VIII**3-** : : Dimensionnement de la couche d'assise

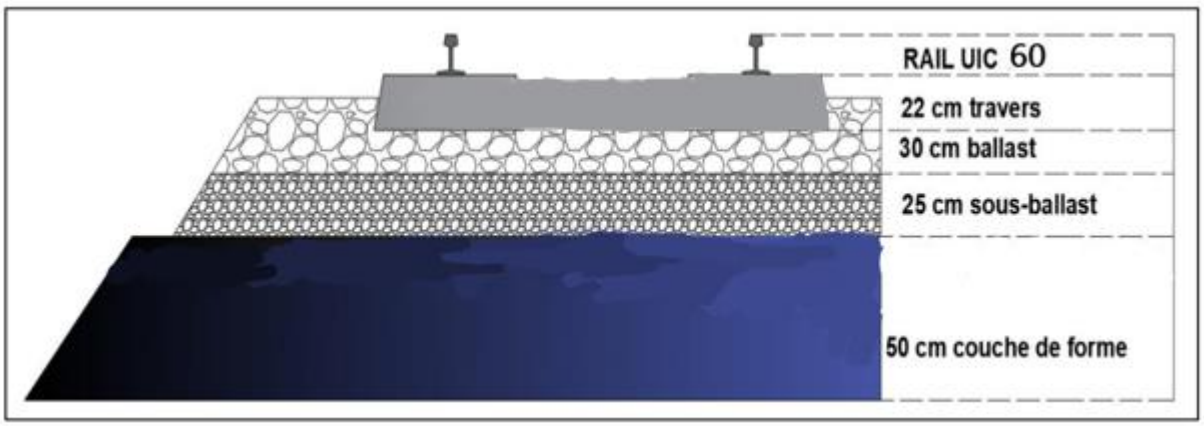


Figure VIII3- : Les épaissures de la couche d'assise

VIII.6. Conclusion :

Le dimensionnement permet de mettre en évidence l'épaisseur des différentes couches qui doivent être présentes pour supporter et disperser les charges transmises par le matériel roulant. Nous avons respecté les normes de l'UIC en vigueur, et nous aborderons le profil en traverse dans le prochain chapitre après ce chapitre .

CHAPITRE IX :
PROFIL EN TRAVERS

IX. Profil en Travers

IX.1. INTRODUCTION :

Le profil en travers d'une voie ferrée est la coupe transversale de cette dernière suivant un plan vertical perpendiculaire à l'axe de cette voie. L'échelle la plus fréquemment utilisée est celle de 1/100.
On distingue deux types de profil :

IX.1.1. 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.

IX.1.2. Profil en travers courant :

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

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

IX.2. Les éléments du profil en travers :

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

IX.2.1. Eléments de superstructure :

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

IX.2.2. Eléments de l'infrastructure :

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

IX.2.3. Eléments du talus :

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

IX.2.4. Eléments d'assainissement :

• Le type et dimension des ouvrages d'assainissement et/ou des draines.

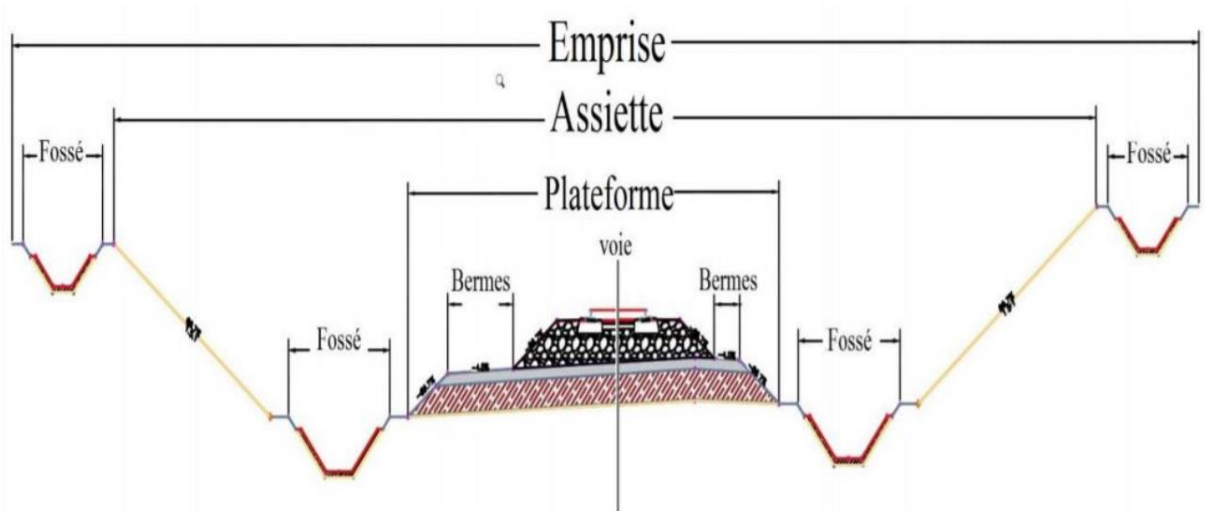


Figure IX1- : Constituant d'un profil en travers

• Emprise : C'est la surface du terrain naturel affecté à la voie, limitée par le domaine public.
• Assiette : C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.

IX.3. Profile en travers type de mon projet :

❖ Le profil en travers type en pleine voie, correspondant à un profil pour voie unique, présente une largeur de plateforme de 8,0 m soit en déblais soit en remblai.

❖ Le profil en travers présente une forme asymétrique, avec une largeur gauche de 4,70 m et une largeur droite de 3,30m mesurés à partir de l'axe de la voie.

❖ La superstructure est formée par des rails UIC-60 espacé de 1435 mm et des traverses monobloc, sur ballast dont l'épaisseur minimal est de 0,30 m.

❖ La plateforme et couche de forme et sous-ballast de la voie sont formées en chapeau de chinois décentre pour le côté droit (déjà préparée pour la possibilité de duplication de la voie) avec des inclinaisons transversales de 4%.

- Les épaisseurs des couches sous-ballast et de couche de forme sont définies dans le chapitre IX : ASSISE FERROVIAIRE.

- Dans les zones de déblais les talus ont été définis avec l'inclinaison de 1/2 (V/H), avec la construction de fosses longitudinaux au pied de talus.

- Dans les zones de remblai les talus ont été définis avec l'inclinaison de 1/2 (V/H), avec la construction de fosses longitudinaux au pied de talus.

- Pour les Positions des Poteaux caténaires la distance axe voie - axe caténaire : 3,25 m.

IX.4. Calcul des cubatures :

Les cubatures de terrassement, c'est le calcul des volumes des déblais et remblai à déplacer pour avoir une surface uniforme entre les profils en long ainsi les profils en travers fixé auparavant. parallèlement sous adjacente à la ligne projet.

Pour notre projet, le calcul des cubatures de terrassement a été fait à l'aide du logiciel COVADIS 16.0d, les détails de calcul sont joints dans l'annexe.
Tableau suivant représente les résultats de calcul automatique :

Tableau IX-1 : Les cubatures de terrassement

Volume Déblais (m3)	*Volume Remblais* (m3)
2840072,9	**2016052,8**

IX.5. Conclusion :

Les résultats et la méthode de calcul sont conformes aux normes de l'UIC et aux exigences du référentiel technique de la SNTF.

CHAPITRE X :
TERRASSEMENT ET OUVRAGES

X. LES OUVRAGES D'ART

X.1. INTRODUCTION :

Pour concevoir un meilleur tracé qui répond aux exigences techniques et économiques tout en assurant la perméabilité transversale de la ligne ferroviaire a projeté et le franchissement des différentes infrastructures existantes et aussi les cours d'eau .

L'adoption d'ouvrages d'art pour notre projet est un moyen inévitable pour ce tronçon, notre objectif est de choisir l'ouvrage le plus convenable qui s'adaptera, au mieux, aux différentes conditions, à savoir :

- Topographiques : choisir le type d'ouvrages (tablier et piles) qui s'adapte pour les différentes hauteurs de brèches (courtes, moyennes ou importantes) .

- Hydraulique : connaissances des données hydrauliques (débits, sens d'écoulement, hauteurs des plus hautes eaux, largeur lit mineur, largeur lit majeur etc.) pour choisir les types d'appuis convenables et les disposer d'une manière à ne pas gêner l'écoulement de l'eau et les protéger contre toute agression (affouillements etc.) avec une mise en place du système d'assainissement de l'ouvrage .

- Routières : définir les types d'ouvrages (pont à poutres précontraintes ou béton armé, pont dalle, pont cadre fermé ou en portique etc.) en fonction du type de franchissement : route nationale, chemin de wilaya, piste agricole, voie ferrée .

- Respecter tous les profils en travers, les données en plan et en long ainsi que toutes les composantes de la route et de l'autoroute, à savoir les accotements, les bandes d'arrêt d'urgence, le terre-plein central, les voies d'insertion, les rampes etc.

Il faut donc doter notre tracé d'une série d'ouvrage qui se composent de :

1. **Pont rails :**
   - ❖ Pont sur Oued
   - ❖ Passage inférieur
2. ❖
3. **Ponts routiers :**
   - ❖ Passage supérieur

4. **Les ouvrages hydrauliques** :
   - ❖ Buses et dalots (ces derniers seront détaillés dans le chapitre hydraulique et assainissement)

X.1.1. Les croisement avec la route :

En général, les problèmes de croisements doivent prendre en considération la nature et le débit de la voie et analyser au cas par cas tout type de croisement selon la vitesse maximale,

Solutions peuvent être envisagées :

X.1.2. Passage inférieur :

Cette solution est envisagée si la vitesse de notre train est supérieur à 100km/h et que la topographie et nature de la zone nous le permet .

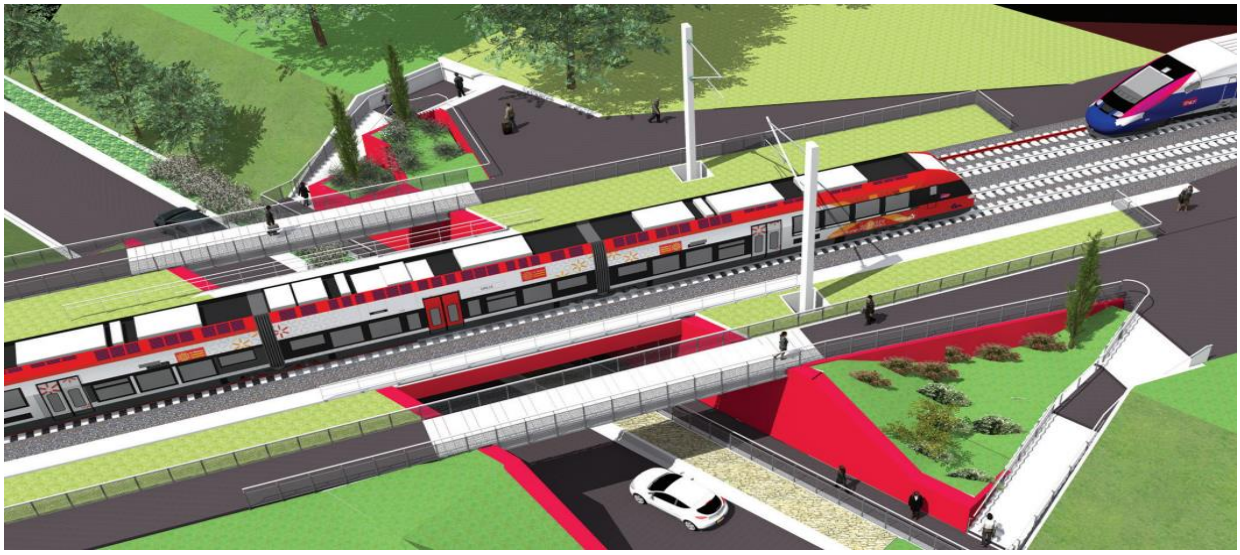


Figure X1- : Passage inférieur

X.1.3. Passage supérieur :

C'est très rarement envisagé, uniquement dans des cas topographique très spécifique



Figure X2- : Passage supérieur

X.2. Les ouvrages de notre projet :

Le tracé rencontre un grand nombre d'obstacles et infrastructure, pour cela nous avons projeté les ouvrages suivants :

Type d'ouvrage	Obstacle à franchir	Localisation	LONGEUR (m)
Viaduc	**Route N1**	**PK 140 +643**	**374 .16**
Pont rail	**piste**	**PK 141 +850**	**50**
Viaduc	**Vallée**	**PK 146 +897**	**150**
Viaduc	**Vallée**	**PK 149 +383**	**555.61**
Pont rail (Passage inférieur)	**Chemin wilaya 33**	**PK 152 +1681**	**93.23**

Tableau X1- : Liste des ouvrages d'art pour mon projet



Figure X3- : Intersection de notre trace avec RN 01

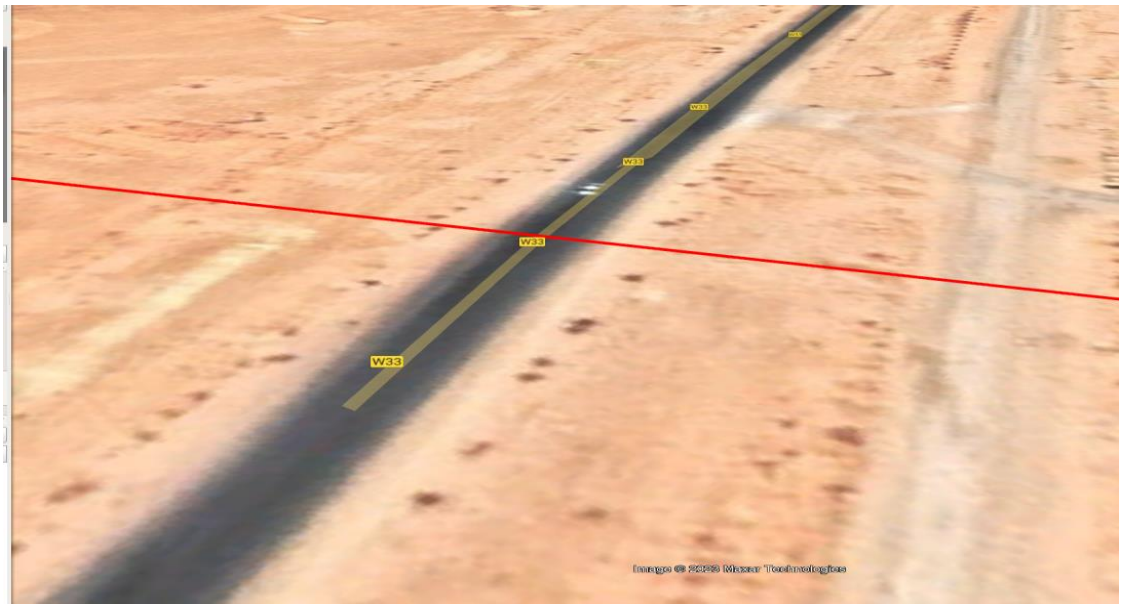


Figure X4- Intersection de notre trace avec CW 33

X.3. LES TERRASSEMENTS

X.4. INTRODUCTION :

Les travaux de terrassement consistent à préparer un terrain à accueillir une infrastructure, de sorte à ce que celle-ci soit stable, sans aucun risque de tassement, glissement ou effondrement du sol , Avant d'effectuer les terrassements, il faut commencer par une inspection préliminaire du terrain afin d'identifier les contraintes essentiellement liées au réseaux divers. Par la suite une étude de la stabilité ainsi que de l'équilibre du sol s'impose.

Les terrassements rapportent des modifications au relief du terrain, les travaux sont réalisés par l'exécution de déblais et de remblais :

- Les déblais consistent à abaisser le niveau du train par enlèvement des terres appelés aussi fouilles ou extraction.
- Les remblais consistent à rapporter des terres afin de relever le niveau appelés aussi Remblaiement

X.5. Pente de talus :

Les pentes de talus principalement utilisées selon le référentiel technique de SNTF chapitre 07.2.2 « OUVRAGES EN TERRE », et exprimées en fraction base (V) sur hauteur (H), sont :

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

La pente de notre talus est $2/1 = \tan\alpha$ c'est à dire $\boldsymbol{\alpha = 26{,}56}$ °

Les principaux paramètres géotechniques employés dans les analyses de stabilité des déblais remblais sont les suivants :

- Poids spécifique γ .
- Cohésion c' .

- Angle de frottement interne φ' .

D'après programme de reconnaissance géotechnique établi sur la base du profil longitudinal, ces précédent paramètres (γ,c', φ') sont déterminés pour chaque lithologie affecter. Pour les calculs des stabilités, les facteurs de sécurité globaux, à prendre en considération :
Fs ≥ 1.3 à court terme.
Fs ≥ 1.5 à long terme.

$$Fs = \frac{\Sigma \text{ forces de résistances}}{\Sigma \text{forces actives}}$$

Les conditions de stabilité des remblais ont été évaluées par l'analyse des surfaces de glissement pour un talus de remblai dépassant les 8m de hauteur .

Le cas défavorable au PK 154 +225 avec une pente de 2H/1V. L'analyse selon la méthode simplifiée de Bishop a été effectuée en utilisant le Logiciel GEOSTUDIO SOLPE 2018 R2 .
Cette Méthode de BISHOP simplifiée (1954) on considère que :
• La ligne de glissement est toujours de forme circulaire.

X.6. STABILITE EN RUPTURE CIRCULAIRE D'UN TALUS

Les ruptures ont, d'une façon générale, l'allure de glissements rotationnels circulaires. On distingue : Les cercles de talus, Les cercles de pied, Les cercles profonds.

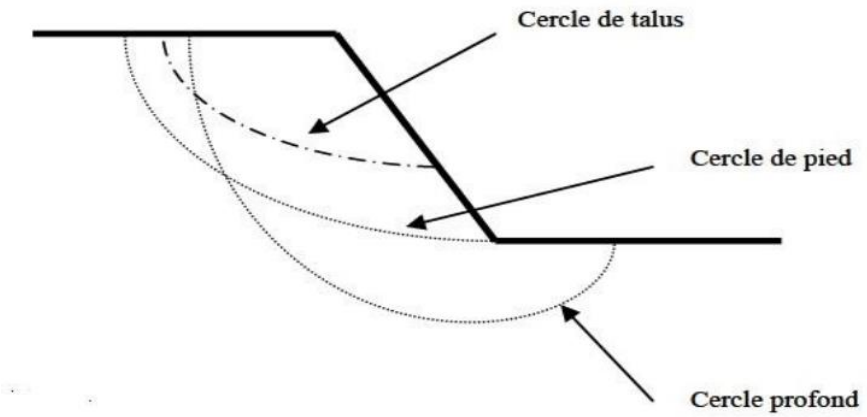


Figure X5-: Différents types de rupture circulaire

Lithologie	γ (kN/m3)	c' (kPa)	φ' (°)
Remblai	**20**	**5**	**30**

Tableau X-2 : Les paramètres géotechniques employés dans de calcul de stabilité des remblais

Dans les graphiques suivants on peut observer les résultats de calcul de stabilité effectué :



Figure X-6 : Calcul de stabilité à long terme (Remblai)

X.7. Conclusion :

La vérification de stabilité du talus en utilisant le logiciel SLOPE RD a donné un facteur de securit Fs = 1,655 ≥ 1.5 (à long terme) .

Ce qui signifie que le talus est stable vis-à-vis les facteurs extérieurs .

CHAPITRE XI :
CONCEPTION DE LA GARE BERRIANE

XI. Conception et aménagement de la gare

XI.1. INTRODUCTION :

Une gare ferroviaire est le lieu d'arrêt des trains. Une gare comprend diverses installations qui ont une double fonction : permettre la montée et la descente des voyageurs, ou le chargement et le déchargement des marchandises ainsi que pour certaines d'entre elles, assurer des fonctions de sécurité dans la circulation des trains.

XI.2. CATEGORIES DES GARES :

On distingue plusieurs types des gares :

- **Gare de voyageur :**

Les gares de voyageurs sont généralement implantées dans les grandes villes, et dans les lieux de grandes populations, ces gares sont chargées de tous installations pour recevoir les voyageurs

- **Gare marchandise :**

Les gares de marchandise sont implantées dans les lieux industriels, agricoles et commerciaux importants, à proximité des grandes villes, des ports, des mines, des raffineries de pétrole et des grands laboratoires. Les gares marchandise sont chargées de toutes les installations pour le chargement, le déchargement et le stockage des marchandises. Émis et reçus par eux.

- **Gare mixte :**

Ces gares seront implantées dans la ville industrielle, agricole et commerciale, et elles seront chargées de plusieurs installations pour recevoir les passagers et pour charger, décharger et stocker les marchandises délivrées par la gare.

- **Gare de croisement :**

C'est l'une des plus petites gares, Ces gares sont implantées généralement sur les chemins de fer à voie unique, et elles sont chargées d'effectuer le travail de réception des trains des deux côtés de la gare en toute sécurité après l'arrêt de l'un des deux (ou sans arrêt).

- **Gare de triage :**

Une gare de triage est spécialisée où les wagons de marchandises isolés de leur rame initiale sont triés pour être incorporés dans de nouveaux trains de marchandises (fret).

XI.3. Etude du plan de masse de la gare :

La conception de la gare s'effectue en tenant compte des fonctions de toutes les installations de base qui la constituent. Dans ce stade (03) éléments sont nécessaires pour l'étude du plan de masse :

1. **Catégories de la voie** : elle permet de déterminer le rôle et les constituants de la gare.

2. **Le trafic** : c'est un élément très important pour estimer et évaluer l'importance de la gare afin de l'aménager d'une manière convenable.

3. **L'emplacement de la gare** : généralement, c'est l'élément qui définit et détermine les deux éléments précédents.

XI.4. Aménagement d'une gare

Une gare ferroviaire s'aménage différemment selon son type, on peut donc distinguer plusieurs installations :

- **Bâtiment à voyageurs :**

Le BV est l'élément central d'une gare à voyageurs, ce dernier est principalement destiné à l'accueil des voyageurs, il comporte des halls d'attente des guichets de billetterie et une partie administrative.

- **Halle à marchandise :**

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

- **Les Abords :**

Ils permettent de faciliter le passage du voyageur au transport ferroviaire depuis un autre mode et vice-versa. (TAXIS , parcs de stationment , PMR …)

- **Les bâtiments à usages divers (B.U.D) :**

C'est un espace de service réservé aux agents de chemins de fer, tels que cabine de signalisation, magasin, magasin des colis, bureaux, etc.

- **Les passages sous terrain et les passerelles :**

ils sont construits dans les gares afin de permettre aux voyageurs de traverser la voie et de changer le quai en pleine sécurité.

- **Les Quais. :**c'est une bande parallèle à la voie ferrée qui permet l'accès aux trains.

- **Les Abris de quais** (protection des voyageurs contre les intempéries).



Figure XI1- : Abris de quais

XI.5. CONCEPTION DE LA GARE DE BERRIANE :

XI.5.1. L'emplacement de la gare :

La gare de Berriane est située au Nord-Est de la ville de Berriane, wilaya de Ghardaïa. Elle est accessible par le chemin de wilaya N° 33, Exactement Au PK 153 de notre trace .

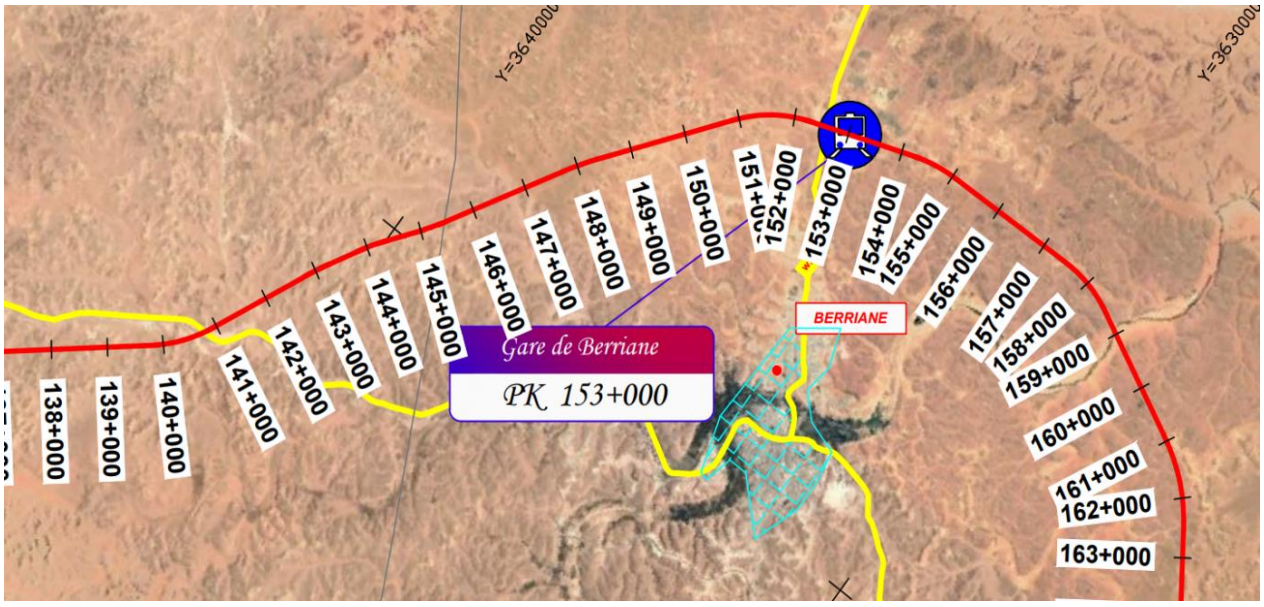


Figure XI2- : Emplacement de la Gare de Berriane

XI.5.2. LES CARACTERISTIQUES DE LA GARE DE BERRIANE :

XI.5.2.1. NOMBRE DE VOIES :

Le nombre de voies requises pour la Gare de berriane est de 3 voies, 1 voie principale et 2 voies d'évitement destinées au stationnement des trains

XI.5.2.2. Marge de glissement à l'aval des signaux :

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

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

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

XI.5.2.3. Les heurtoirs :

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





Figure XI3- : heurtoirs fixes et patinant

XI.5.2.4. GARAGE FRANC :

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

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

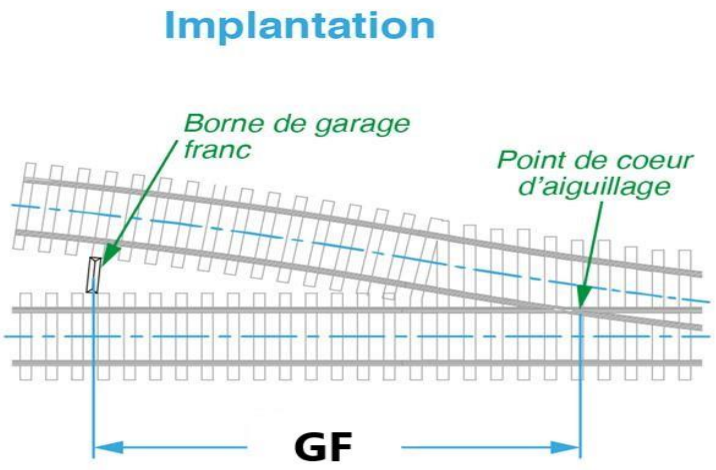


Figure XI4- : Implantation de Garage franc

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



Figure XI5- : Marque de garage franc

Pour notre projet, on prend les longueurs :

• Les appareils encadrant la gare avec une vitesse de franchissement de 65 km\h : appareils de voie UIC 60: 500 : 1\12 $Gth = 3{,}57$

$$\text{On a : } tan\,\alpha = \frac{3.57}{F} \Rightarrow F = 3.57 \times tan\,\alpha$$

$$\boldsymbol{Gf = F + 1}$$

$$Gf = 3.57 \times 12 + 1 = 43.84\,m$$

• Les appareils à la proche des quais ou la vitesse est de 50 km/h : appareils de voie UIC60 : 300 : 1 / 9

$$Gf = 3.57 \times 9 + 1 = 33.13\,m$$

XI.5.2.5. La longueur utile d'une voie de stationnement :

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

Pour la gare de Berriane Lu = 750 m

XI.6. Caractéristiques géométriques des gares :

XI.6.1. Déclivité dans les gares :

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

XI.6.2. Quai :

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

Longueur des quais :

L = 225 m ce qui correspond à 3 fois un wagon de 75 m.

Largeur des quais :

- Pour le quai A extérieur L = 6 m
- Pour le quai B intermédiaire L = 8 m

Hauteur des quais :

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

La distance à l'axe de la voie :

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

$$\boldsymbol{L\,(mm) = 1650 + S.}$$

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

- R : le rayon de la voie (m) = 0 (Allignement droit)
- I : l'écartement de la voie (mm) = 1435 mm

$$\Rightarrow S = 0,\ Donc\ \boldsymbol{L = 1650\ mm}$$

L'entre axe des quais :

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

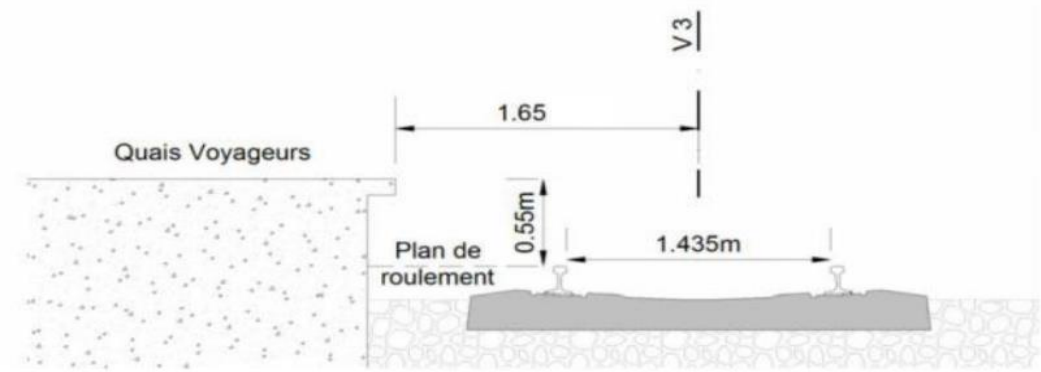


Figure XI7- : la hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie

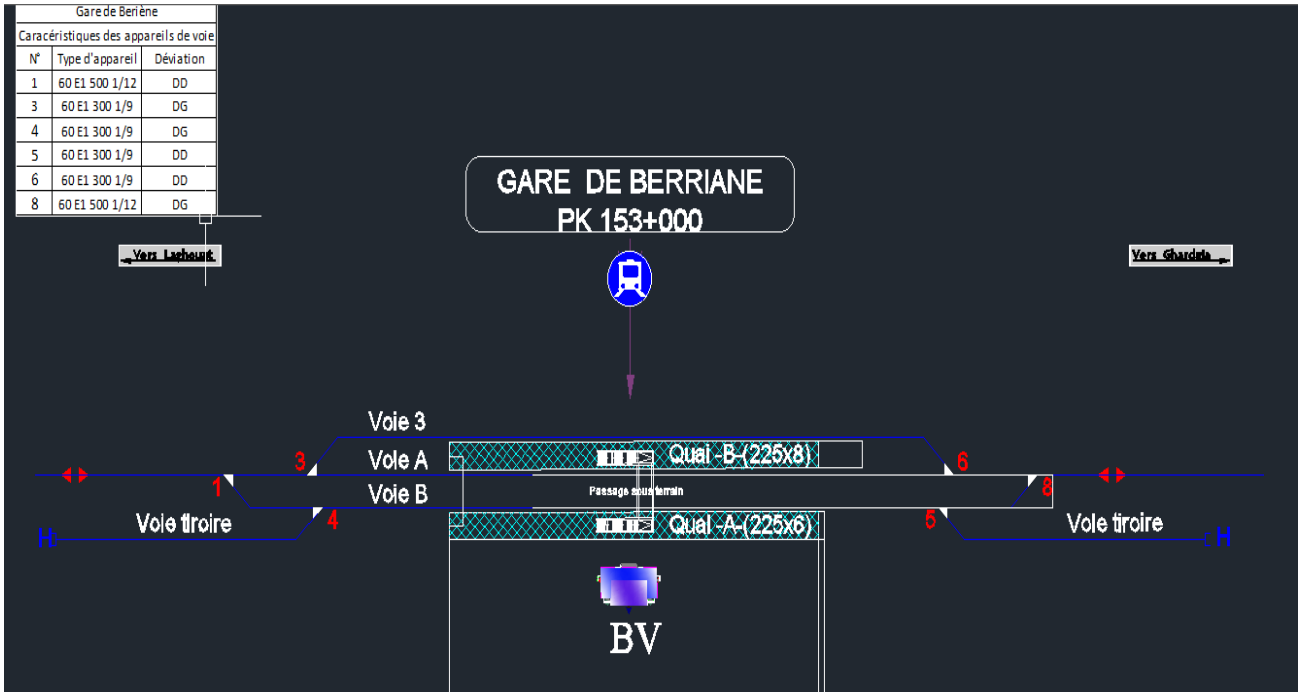


Figure XI6- : Schéma principale de la gare de Berriane

XI.6.3. Vitesses des lignes :

-La linge principale A permet la vitesse maximale de 220 km/h (Trains de voyageurs)

-Les voies B et C sont conditionnés par une vitesse maximale à pratiquer de 50 km/h puisqu'elles détournés par des appareils de changement de voie de type 1 /9 .

XI.7. Assainissement dans les gares :

XI.7.1. Assainissement transversale :

Pour faciliter le ruissellement des eaux pluviales dans les gares, les quais doivent avoir une pente de 2% en toit de telle sorte à évacuer ces eaux vers les voies ensuite ces eaux sont évacuées grâce aux pentes transversales des plates-formes de 4%

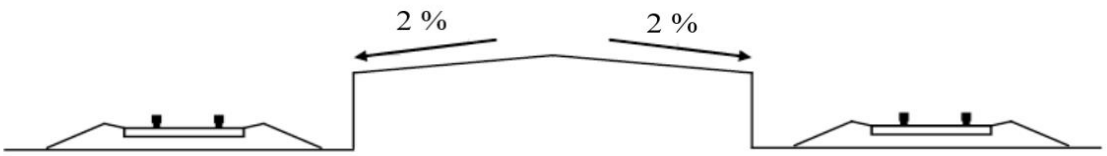


Figure XI8-: Evacuation des eaux du quai intermédiaire

XI.7.2. 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.

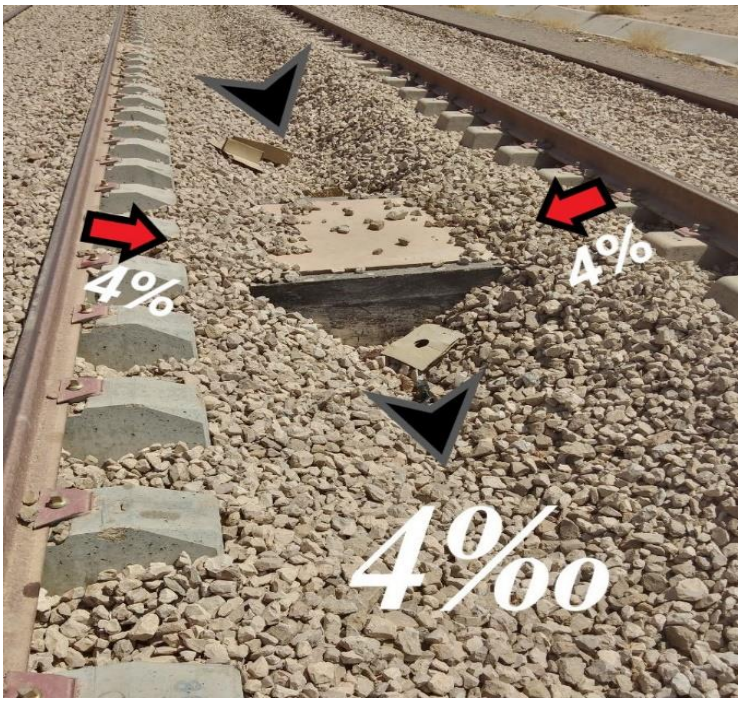


Figure XI9- : Drain et sa pente

XI.8. Configuration de la place de la gare :

Lors de la configuration des places devant les gares, le raccordement à la circulation des bus et du trafic individuel a été pris en considération ainsi qu'une orientation des courants de piétons sans croisement dans la zone de la place devant la gare.

Aménagement	Unité
Parkings	
Stationnement publics	45
Stationnement du personnel	13
Stationnement pour les personnes à mobilité réduite	02
Stationnement pour taxis et dépose minute	08
Arrêt de bus	04

XI.9. CONCLUSION :

L'aménagement de la Gare de BERRIANE a été fait d'une manière à satisfaire les besoins de la région que ça soit le transport des voyageurs et les besoins commerciaux et économiques de cette région .

CHAPITRE XII :
SIGNALISATION FERROVIAIRE

XII. Signalisation ferroviaire

XII.1. INTRODUCTION :

La signalisation ferroviaire regroupe l'ensemble des signaux conventionnels et des équipements techniques du réseau ferré conçus pour assurer la sécurité des usagers du rail et d'en diminuer les conséquences. Elle est gérée depuis différents postes d'aiguillage répartis sur l'ensemble du réseau ferré .

XII.2. OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION :

La signalisation ferroviaire est un moyen de donner des ordres au conducteur d'un véhicule et a pour objectif d'éviter :

- Les risques inhérents à la circulation ferroviaire :
  - ❖ Le « nez à nez », quand deux trains se retrouvent face à face sur la même voie .
  - ❖ Le « rattrapage », quand le train suiveur rattrape celui qui le précède .
  - ❖ La « prise en écharpe », quand un train arrive sur un aiguillage déjà occupé par un train venant d'une autre direction .
  - ❖ la collision avec un obstacle .

- Les risques de déraillement (limitation de vitesse dans les courbes, les zones d'aiguillage et de travaux) .

La signalisation ferroviaire permet aussi d'optimisé les circulations et d'augmenter le débit d'une ligne ferroviaire.

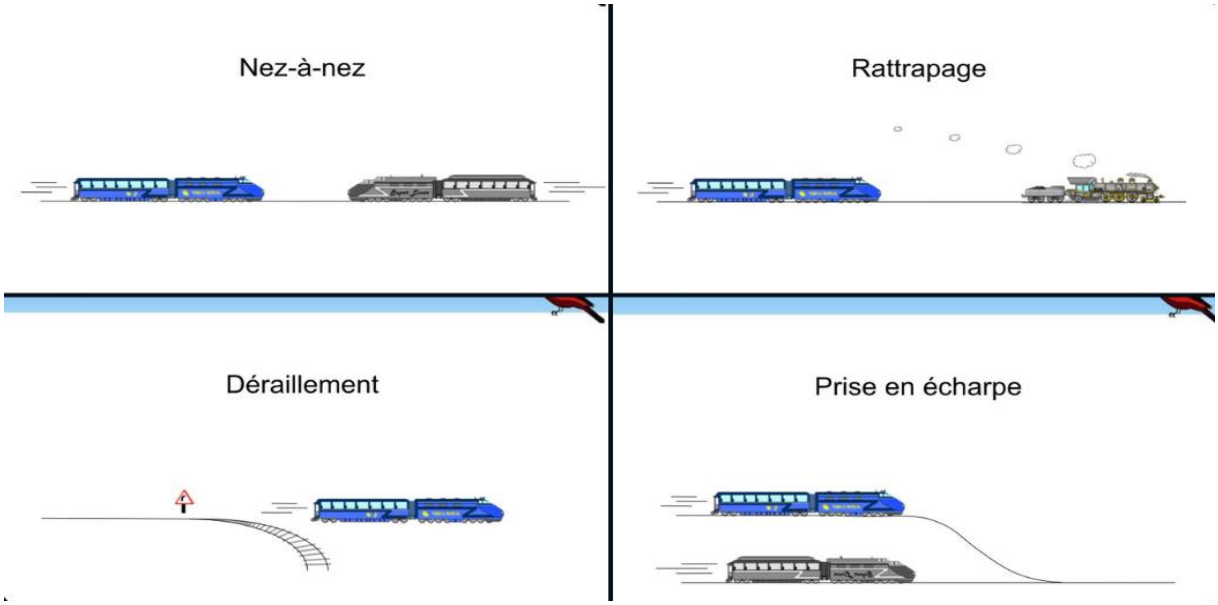


Figure XII1- : Les déférents risques ferroviaires

XII.3. FONCTIONS DES SIGNAUX

Les signaux sont essentiellement utilisés pour assurer les fonctions suivantes :

- Signalisation d'arrêt .

- Signalisation de limitation de vitesse .
- Signalisation de direction.

Chacune de ces fonctions comprend habituellement une signalisation d'annonce et une signalisation d'exécution ou de rappel. L'usage veut que la signalisation d'arrêt (exécution et annonce) soit explicitée séparément, alors que les deux dernières forment un tout.

XII.4. Type de signalisations :

La signalisation peut être mécanique ou lumineuse.

XII.4.1. Signalisation mécanique ;

Il est fait usage de signaux réalisés au moyen d'une aile ou d'une cocarde de couleur.



Figure XII2- : Signalisation mécanique

XII.4.2. Signalisation lumineuse :

Il est fait usage de panneaux portant un ou plusieurs feux de couleur, généralement disposés sur un écran noir bordé d'un liseré blanc de forme oblongue ou circulaire



Figure XII3- : Signalisation lumineuse

la signalisation peut comporter en outre:

- des tableaux lumineux,
- des tableaux mécaniques fixes ou effaçables,
- des tableaux ou pancartes réflectorisés,
- des guidons d'arrêt, ...

XII.5. IMPLANTATION DES SIGNAUX

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

Afin de permettre au mécanicien de s'arrêter devant un signal d'arrêt (au point à protéger) ou de respecter une limitation de vitesse dans une zone délimitée, il est nécessaire de le prévenir à une distance suffisante pour que le freinage puisse être mis en œuvre dans les conditions normales, c'est le rôle des signaux d'annonce à distance Nous devons donc connaître les distances d'arrêt et de ralentissements, et ces dernières se calculent en prenant en compte différents paramètre régissant la réaction du conducteur :

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

Les signaux localisés sont situés du côté de la voie du sens de circulation des trains. Ils sont fixés sur des mats. Les mats sont fixés sur une base en béton dont la taille doit être calculée de manière à assurer une très bonne fixation pour tenir compte des conditions climatiques particulières et de la force du vent. Les matériaux utilisés devront de préférence être du type inoxydable, sinon ils devront être traités pour être résistants à la corrosion. Les signaux seront équipés d'écrans de couleur noire entourant les unités lumineuses. Les écrans seront fixés d'une manière rigide sur le mat pour que la force du vent ne puisse pas modifier la direction du rayon lumineux d'un angle supérieur à 20 minutes.

Les unités lumineuses du signal seront équipées de LED (signaux à diodes électroluminescentes). L'extinction d'un des feux sera détectée par le système de contrôle de courant.

XII.6. Le système de signalisation ERTMS :

L'ERTMS (Européen Railways Traffic Management System) est un système de contrôle/commande assurant un trafic ferroviaire standardisé et interopérable, ses caractéristique seront développé dans ce qui suit :

L'interopérabilité :

Capacité de plusieurs systèmes, ou bien organisme, dont les structures, les procédures et les relations respectives autorisent une aide mutuelle qui les rend aptes à opérer de conserve. L'interopérabilité ferroviaire vise à créer un système ferroviaire européen capable de permettre la circulation sûre et sans rupture de charge des trains en accomplissant les performances requises pour les lignes .

Cela permet d'augmenter la capacité des lignes assurant une plus grande rentabilité pour les opérateurs et est composé de deux composantes fondamentales :

- Le système ETCS (Européen Train Control System), qui permet de gérer le trafic ferroviaire

• Le système GSM-R (Global System for Mobiles- Railways), qui permet aux trains de communiqué avec les postes de signalisation .

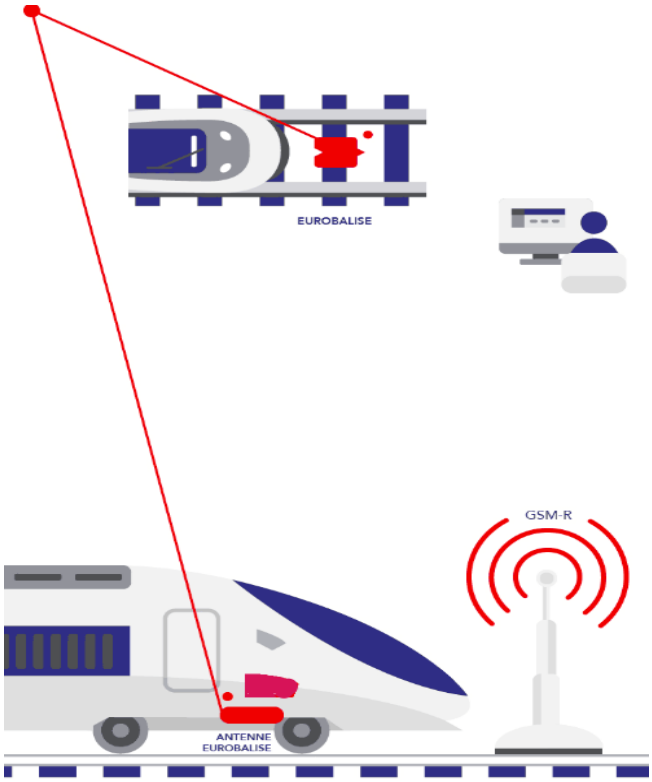


Figure XII4- : Principe de Système ERTMS

Les eurobalises :

Passives elle sont alimentées par l'antenne de train , à son passage elles transmettent des informations fixes ou dépendantes de la signalisation .

XII.7.Les différents types de blocks :

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

-Le block manuel (B.M) :

Est utilisé sur des lignes peu fréquentées, L'entrée sur une voie en BM est réglementée par un signal de block ouvert manuellement par un agent-circulation.

-Le block automatique à permissivité restreinte (B.A.P.R) :

Est utilisé sur les lignes à moyenne fréquentation. C'est un système d'espacement par signaux en partie ou totalement automatiques.

-Le block automatique lumineux (B.A.L) :

Il est utilisé sur les lignes principales, c'est un système d'espacement par signaux automatiques permissifs, c'est-à-dire pouvant être passés à l'état fermé, sous certaines conditions

Les lignes à voie multiple sont habituellement divisées en plusieurs secteur que l'on appelle des cantons, ce qui permet d'envoyer plusieurs trains sur le même block. Chaque canton est précédé d'un signal de cantonnement, entièrement automatique, commandant l'entrée sur le canton suivant et assurer l'espacement des trains circulant dans le même sens sur une même voie .

Le canton est une portion de voie ferrée alimente par une énergie électrique qui est la base du système permettant l'espacement des trains, ce qui permet d'éviter les rattrapages.

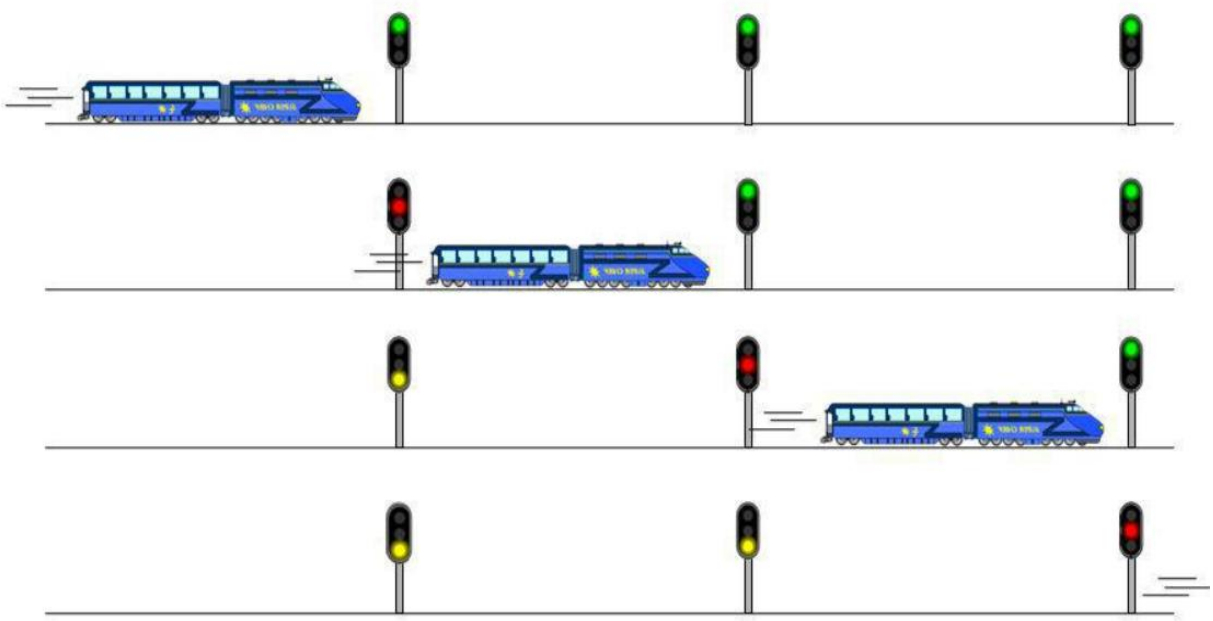
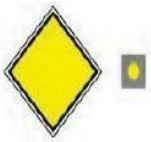
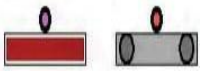
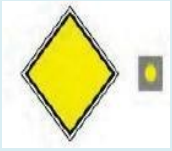
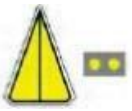
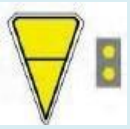
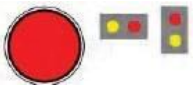


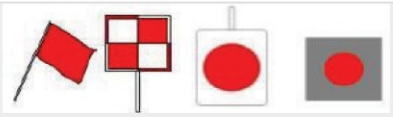
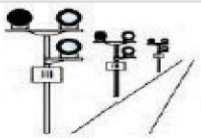
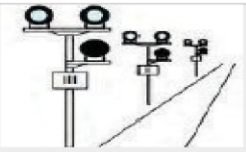
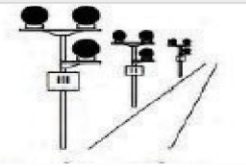
Figure XII5- : Le cantonnement en lumières

Tableau XII-1: Les principaux signaux ferroviaires et leur indication

Signal	Indication	Signalisation Lumineuse	Signalisation mécanique
Signal ouvert Voie libre	Le Voie Libre indique au conducteur que la circulation en marche normale est autorisée		
Le feu vert Clignotant (VL)	Il commande au Mécanicien de réduire la vitesse à 160 km/h		

Carré fermé + Feux de nuit	Le carré commande l'arrêt et ne doit en aucun cas être franchi.		
Feu violet ou Carré Violet fermé + Feux de nuit	Commande l'arrêt, il est installé sur les voies de service, son ouverture seule.		
Guidon d'arrêt			
Sémaphore / Feu x rouge	Il commande au mécanicien de s'arrêter avant le signal		
Feu rouge clignotant	Marche sans dépasser la vitesse de 15 km/h au franchissement de ce signal		
Feu blanc	Il commande ou confirme au conducteur l'observation de la marche en manœuvre		
Feu blanc Clignotant	Il interdit dans tous les cas le départ en ligne d'un train		
L'avertissement/ feux jaune	Il commande au mécanicien de pouvoir s'arrêter avant les signaux suivants : Carré, sémaphore, carré violet, un rouge clignotant		
Le feu Jaune Clignotant (A)	Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avan le signal annoncé à distance réduite par le signal suivant.		

Les feux de heurtoir	Ils servent à repérer de nuit, ou en gare, les heurtoirs de fin de voie		
L'avertissement/ feux jaune	Il commande au mécanicien de pouvoir s'arrêter avant les signaux suivants : Carré, sémaphore, carré violet, un rouge clignotant		
Le ralentissement 30 Fermé	Limiter la vitesse à 30 km/h Pour franchir une aiguille		
Le rappel 30 fermé	Limiter la vitesse à 30 km/h Pour franchir une aiguille		
Le disque D	Il commande au mécanicien de marquer l'arrêt au premier signal ou aiguillage rencontré		
La bande lumineuse Jaune horizontale	Il commande au conducteur d'être en mesure de s'arrêter à quai sur une distance réduite		
Le ralentissement et rappel 60 km/h	Limiter la vitesse à 60 km/h Pour franchir une aiguille		

Signal	Indication	Signalisation
Le signal d'arrêt à main	Il commande l'arrêt immédiat	
Signal lumineux de manœuvre type S.N.C. F	L'allumage alterné de deux feux blancs sur uneligne Verticale	
	Refouler par l'allumagealterné de deux feux blancs sur une ligne horizontale	
	Arrêter par l'extinction complète des feux présentés.	
Le signal fin de caténaire	**Fin de caténaire**	

Plaque d'identification	Indication
Nf	**Un signal carré**
F	**Un sémaphore de B.A.L ou d'un feu rouge clignotant**
PR	**Un sémaphore de B.A.P. R**
BM	**Un sémaphore commandant l'entrée d'un canton de B.M**
D	**Un disque**
A	**Un avertissement**

Remarque:

Dans la nouvelle ligne Laghouat – Ghardaïa Le type de système de signalisation choisi par le maitre d'ouvrage est ERTMS .

XII.8. Conclusion :

Avec l'apparition des outils informatique de plus en plus performante, le domaine de la signalisation ferroviaire s'est beaucoup développé ces derniers années, contribuant ainsi avec une grande part dans la diminution des accidentes et la facilité de circulation du matériel roulant.

CHAPITRE XIII : ÉLECTRIFICATION

XIII. ÉLECTRIFICATION

XIII.1. INTRODUCTION :

La traction électrique a toujours été un choix populaire pour les réseaux ferroviaires de transport collectif. Plus récemment, cette technologie prend de l'importance au sein des systèmes de transport en commun, en raison des préoccupations grandissantes envers le réchauffement planétaire et la durabilité de l'environnement.

Le nombre et la puissance des sous-stations de traction seront calculées pour assurer le trafic sous conditions normales et dégradées pour qu'on puisse attendre les critères d'exploitation exigées . . on peut diviser un système d'électrification en cinq grands ensembles :

- Lignes de haute tension pour l'alimentation des sous stations (Lignes HT SONELGAZ) .
- Sous station de traction abaisseurs et ces équipements .
- Lignes d'alimentation du matériel mobile qui transportant l'énergie .
- Matériel mobile (trains)
- Courant de retour .

Afin de garantir l'alimentation en énergie , deux systèmes d'électrification sont proposé :

1- Le système 1X25 Kv /50Hz .

2- Le système 2X25 Kv /50Hz.

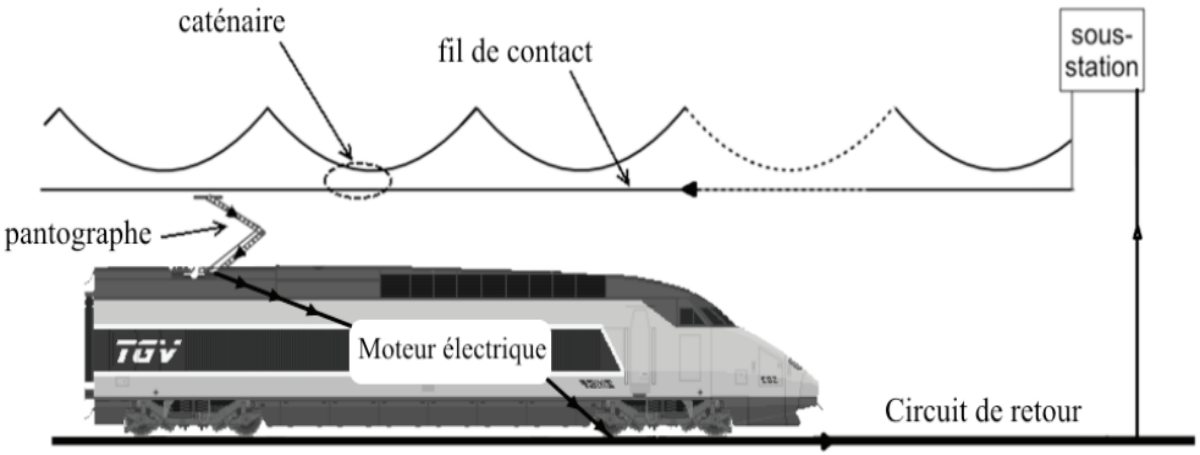


Figure XIII1- : Schéma de circulation du courant électrique

Les caténaires :

La caténaire est un ensemble de câbles permettant l'alimentation électrique des trains. Elle est composée de câbles porteurs en bronze ou en aluminium, et de câbles conducteurs en cuivre. L'énergie est transmise au train par le pantographe, ce bras articulé qui frotte la caténaire avec son archet pour capter l'électricité. La caténaire est située à une hauteur de 5,20 mètres en moyenne. Elle peut descendre à 4,31 mètres, sous les ponts-routes et les tunnels, et atteindre 6,20 mètres sur les passages à niveau hauteur constante minimale est de 5m.

Les Support :

Le support est fréquemment en H en acier galvanisé, l'ancrage au sol est réalisé par une fouille bétonnée par des tiges. Généralement les supports utilisées pour la caténaire 25Kv sont de type HE-A, HE-B ou parfois jumelées (JHE-A, JHEB) fixés au sol par un massif en béton à une profondeur qui dépend de la nature du sol et de la force qu'exerce la caténaire sur le poteau .

Le volume du massif déponds de

1- Les caractéristiques géotechnique du sol .
2- La charge du support .
3- La force du vent .

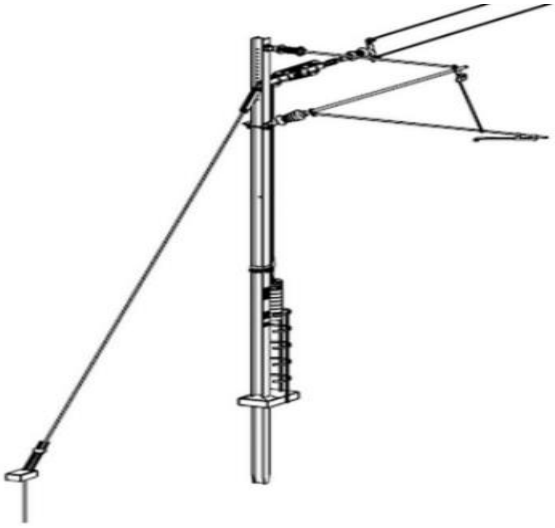


Figure XIII2- : Le Support de caténaire

Le pantographe : est le dispositif articulé qui permet à une locomotive électrique de capter le courant par frottement sur une caténaire .

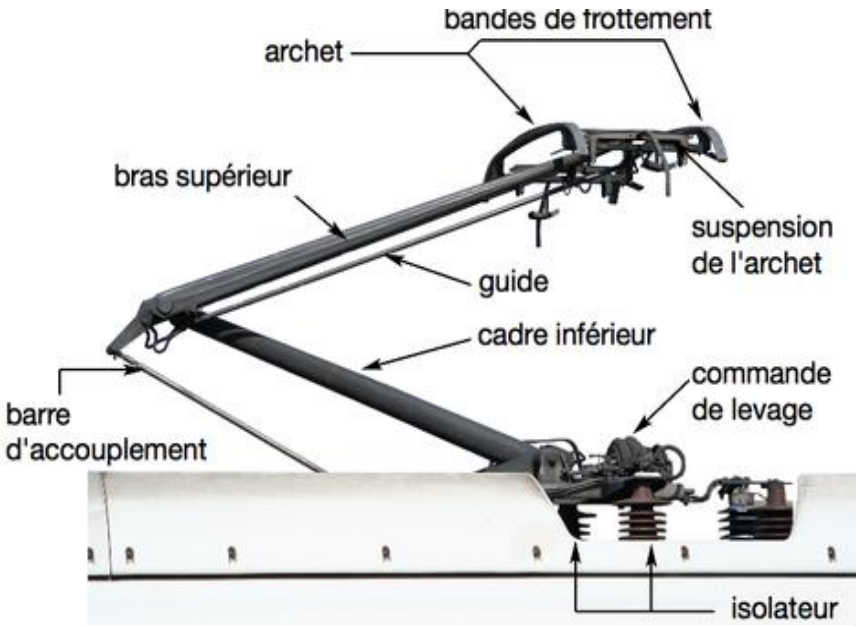


Figure XIII3- : Le pantographe

Le fil de contact :

Le fil de contact rainuré fait partie du sous-système caténaire pour pouvoir transmettre l'énergie électrique aux locomotives .

Sa section circulaire comprend deux rainures pour la prise des griffes de suspension, suivant la tension d'alimentation et la puissance demandée, la section varie de 107mm² à 150mm².

Pour le système d'alimentation 1X25 KV, le fil du contact recommandé est de 107mm² de section en cuivre dur électrolytique de 98% de conductibilité .

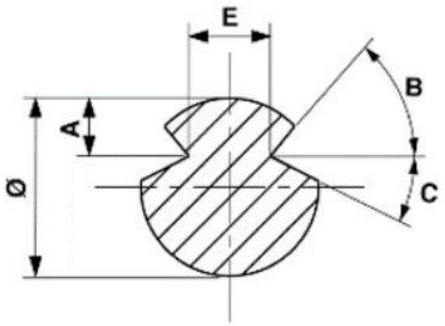




Figure XIII4- : Le fil de contact

❖ **Sous-station :** étant un ensemble des équipements groupés dans un bâtiment ou à l'air libre permettent de transformer l'énergie fournie par les centrales sur un réseau public, ou un réseau spécial en énergie utilisable par les engins de traction.

Elles sont généralement raccordées à un réseau électrique alternatif à haute tension. Leur fonction est d'abaisser cette tension à une valeur utilisable par les engins moteurs .

XIII.2. SYSTEME D'ELECTIFICATION :

XIII.2.1. Le Système 1X25 KV :

Dans le système 1X25Kv ,l'alimentation est faite par l'intermédiaire de transformateurs monophasé (ou plusieurs) , le courant industrielle HT est reçu coté primaire ,donnant coté secondaire une tension de 25 KV-50Hz .

L'énergie est donc transporté par les caténaires jusqu'à son point d'utilisation , qui va être capté par le pantographe ensuite transformé sur la machine pour alimenter les moteurs de traction .

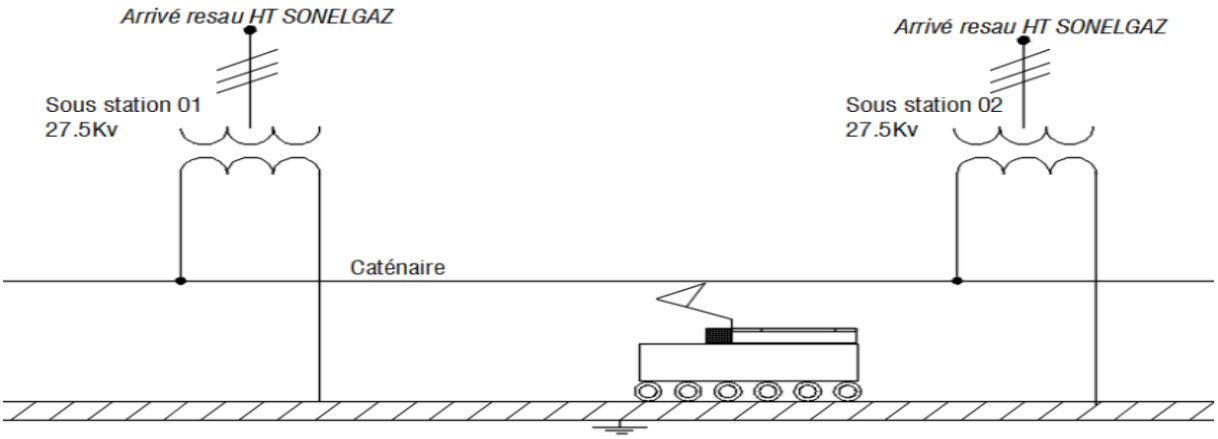


Figure XIII5- : Schéma exemplaire d'une alimentation avec le système 1X25KV

Il rejoint les rails par l'intermédiaire des essieux et des roues et retourne à la sous-station , à la fois par le sol et par les rails qui eux même sont reliés à la sous station par des câbles constituant l'arrière de retour .

XIII.2.2. Architecture du système 1x25 pour l'électrification de la ligne :

L'électrification de la ligne sera adopté à la circulation des trains voyageurs à une vitesse de 220Km/h , et ainsi les trains marchandise avec les critères mécanique et électrique appropriées .

La distance de séparation entre les sous stations varie de 30 à 45 Km selon les caractéristiques du tracé , vitesse maximale , trafic , tonnage transporté , et le type du matériel roulant .

XIII.2.3. Système 2X25Kv :

Dans le système 2X25Kv, les autotransformateurs sont utilisé pour fournir une tension double par rapport la tension d'alimentation du matériel roulant.

L'avantage de ce système est que la tension du pantographe reste à 25Kv, mais la potentialité est supérieure puisqu'en fournissant de l'énergie à 50KV, les courants sont partagé à deux, et donc les chutes de tension sont inférieurs, ce qui nous permet d'augmenter la longueur des sections avec, et par conséquence, une réduction du nombre des sous stations .

XIII.2.4. Architecture 2X25Kv pour l'électrification de la ligne :

Le système d'électrification 2x25KV nécessite à des intervalles réguliers de postes autotransformateurs permettant de minimiser les chutes de tension ce qui permet d'augmenter notablement l'intervalle entre sous-stations de traction.

Dans le système 2x25 kV, on peut estimer une distance de séparation maximale entre sous-stations d'approximativement 55 – 90 km. Ces valeurs peuvent varier en fonction du trafic, caténaire employée, vitesse de la ligne, etc

CHAPITRE XIV :
ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XIV. Impact sur l'environnement

XIV.1. INTRODUCTION :

L'étude d'impact sur l'environnement décrit le contexte d'insertion et de justification du projet, elle présente une description des différentes composantes du milieu récepteur. Cette étude est un instrument privilégié dans la planification du développement et d'utilisation des ressources et du territoire. Dans le cadre des projets de tracé des voies ferrées, l'étude d'impact sur l'environnement suit les différentes phases de la conception du projet .

En général, l'étude d'impact sur environnement comprend trois parties importantes. La première est de présenter le projet sur la situation initial 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 .

XIV.2. Délimitation de la zone d'étude :

XIV.2.1. Aperçu générale :

La wilaya de Ghardaïa est située dans la partie centrale de l'Algérie du nord saharien, au point de rencontre des deux grandes « boucles » sahariennes. Elle englobait la vallée du Mzab .
la Wilaya est à 600 km au sud d'Alger Elle englobait la vallée du Mzab ,elle est comprise entre 3,6° et 4,2° de longitude Est et entre 32° et 33° de latitude nord .

XIV.2.2. Situation de la zone d'étude :

située à 44 km au nord de Ghardaïa (chef-lieu de wilaya) , 272 km à l'est de El-Bayadh et 170 km à l'ouest de Ouargla et de 151 km au nord de Laghouat .

XIV.3. Description de l'état initial de la zone d'étude :

XIV.3.1. Milieu naturel :

Les éléments décrits ci-après sont regroupés en deux sections traitant respectivement des composantes physiques et biologiques du milieu récepteur.

XIV.3.2. Environnements physiques :

Dans cette section, on décrit les caractéristiques principales de la zone d'étude

XIV.3.3. Le relief :

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

XIV.3.4. Hydrologie :

Ghardaïa a un climat désertique chaud, hyper aride avec une moyenne de 60 mm d'eau de pluie par ans avec des étés extrêmement chauds et des hivers doux. La région est marquée par de grandes différences de température entre le jour et la nuit, et l'été et l'hiver.

XIV.4. Environnements biologiques :

XIV.4.1. Espèces faunistiques :

La faune est variée. Elle est typique des zones sahariennes et de le grand Erg oriental : oiseaux, lézard , vipères , renards , Grand corbeau.

XIV.4.2. Espèces floristiques :

La région de Ghardaïa caractérisée par le palmerai , Eucalyptus , Tamarix ..

XIV.5. Milieu humain :

XIV.5.1. Population :

La population, avec une densité de peuplement très faible en moyenne (4,98 habitants/km2), se caractérise par une répartition très inégale de la population de la Wilaya à travers son territoire, avec une forte concentration dans les agglomérations chefs-lieux 95,33% .

XIV.5.2. Agriculture :

La wilaya de Ghardaïa dispose de 1 370 911 ha de surface agricole totale, cette surface est composée comme suite : La superficie totale de la Wilaya s'étend sur 8466012 hectares et se répartit comme suit :

- La superficie agricole utile (S.A.U) : 32 745 Ha .
- Les pacages et parcours : 1 337 994 Ha .
- Les terres improductives des exploitations agricoles : 172 Ha .

Le secteur de l'agriculture est caractérisé par deux systèmes d'exploitation : oasien de l'ancienne palmeraie et la mise en Valeur .

XIV.5.3. Profil socio-économique :

La Wilaya de Ghardaïa dispose aujourd'hui d'infrastructures et d'équipements de base nécessaires à un développement harmonieux et intersectoriel . C'est une région très active où le secteur tertiaire est prépondérant avec le commerce, le tourisme et l'artisanat mais aussi l'agriculture et l'industrie.

Le tissu industriel de la Wilaya est composé de 196 unités industrielles dans les branches d'activité (Matériaux de construction, céramique et verre, Textile …)

XIV.6. Identification et description des impacts

XIV.6.1. Les impacts positifs du projet :

La réalisation de cette nouvelle ligne, emmènera à la wilaya de Ghardaïa un développement sur le plan sécuritaire, économique, et touristique. Les retombées de cette voie :

- Le développement du réseau ferroviaire de la wilaya .
- Une réponse aux besoins de confort, et de la sécurité dans le déplacement .
- Une contribution au développement touristique de la wilaya .
- Le développement et la croissance économiques des régions traversées par le projet .
- Des emplois seront créés de façon temporaire pendant les travaux de construction et

durablement après leur achèvement.

XIV.6.2. Les impacts négatifs :

Effets sur les ressources naturelles et sur les écosystèmes:

Les ressources naturelles concernées par les effets du tracé sont :

- L'air.
- L'eau
- La faune et la flore.

L'air : La pollution résultant du fonctionnement des moteurs à combustion interne diesel est caractérisée par des émissions de polluant gazeux et l'évaporation d'hydrocarbures

• Effets sur la santé : Il s'agit de nuisances sensorielles (bruit, odeurs) de l'irritation des voies respiratoires, des yeux et de tous les effets toxiques

• Effets sur l'environnement : Ils concernent principalement La partie Nord de la zone d'étude se trouve sur une réserve importante de gisement pétrolifère et aquifère dont les travaux peuvent provoqués un risque de pollution pour les réserves aquifères et une contrainte d'exploitation de la réserve pétrolifère.

La présence de base de vie et de chantiers doit avoir son propre système d'irrigation d'eau usée pour ne pas provoquer la pollution des zones naturelles, cours d'eau et eau d'irrigation.

L'effet sur la végétation

L'effet sur le patrimoine L'eau Le risque peut provenir de tous les engins utilisés sur les chantiers (fuites de gasoil, d'huile, sans parler de vidanges sauvages), mais aussi d'équipements comme les centrales à béton utilisées pour la fabrication des travers, bâtiments pour les gare ….etc.

La faune et la flore :

Parmi les nombreux types d'atteintes au patrimoine, nous n'aborderons que celui de la faune sauvage. Les animaux utilisent des cheminements bien précis reliant des zones où ils trouvent de la nourriture et de l'eau à des endroits où ils peuvent se réfugier et se reproduire. Lorsqu'une nouvelle infrastructure ferroviaire vient perturber ces cheminements, les animaux cherchent à les rétablir et n'hésitent pas à traverser la voie ce qui occasionne des accidents.

Effets sur les activités humaines:

La nouvelle ligne ferroviaire Bellil Berriane à des effets sur l'occupation des sols et les déplacements des personnes permet ces effet on cite :

- Une perte de l'espace agricole
- Une coupure de l'espace agricole
- Une interruption des circulations agricoles
- Une coupure des réseaux de drainage et d'irrigation .

XIV.7. Identification des contraintes environnementales sur le projet :

XIV.8. Contrainte et Risques Géologiques :

XIV.8.1. Inondation :

La région d'étude située dans le Sahara algérien est très susceptible au risque d'inondation ; le relief plat, le réseau hydrographique dense et le climat aride connue par des pluies irrégulières et torrentielles favorise ce phénomène

la région de Ghardaïa présente une vulnérabilité très élevée face aux risques d'inondations, surtout dans les secteurs où les constructions et les activités économiques se sont développées, tels que la palmeraie et le lit majeur de la vallée de l'Oued M'zab.

Elle est connue pour ces nombreuses oasis éparpillées le long des principaux oueds à savoir : l'Oued Bellouh, l'oued Zeghrir, l'oued Soudane et l'Oued N'sa.



Figure XIV1- : Forte turbidité des eau

❖ **Les ouvrages de protection :**

Pour se prémunir des dangers relatifs aux inondations et assurer la recharge de la nappe phréatique destinée à l'irrigation des périmètres agricoles, un ensemble de dispositifs mécaniques a été installé le long de l'oued Bellouh :

Cinq digues (Fig.2) de rétention et de régulation ont été réalisées sur tout le long du réseau hydrographique afin de diminuer la vitesse des crues et pour conforter ces dernières des systèmes de gabionnage linéaire (Fig.3) ont été introduites au niveau des zones de débordement



Figure XIV3- : Digue de rétention et de régulation



Figure XIV2- : systèmes de gabionnage linéaire

Ces actions mécaniques dressées ont pour rôle principal d'atténuer la vitesse et la compétence des eaux de crues et pour rôle secondaire de réguler la crue tout le long de son parcours.

XIV.8.2. L'Ensablement :

La région d'étude est située entre le grand erg oriental et le grand erg occidental. De par sa situation géographique très délicate, le vent met en mouvement d'importantes quantités de sable qui encombrent les infrastructures et particulièrement les routes et les voiries qui constituent un moyen de communication vital pour cette région. Une voie ferrée à niveau, en déblai ou en remblai, peut créer une zone locale de turbulence qui entraine des dépôts de sable éolien, parfois très importants .



Figure XIV4- : L'Ensablement en voie ferrée

Il existe 3 types d'ensablement :

- ❖ Le déplacement des particules fines .
- ❖ Les déplacements des sables des dunes .
- ❖ Le déplacement des particules causé par les grands vents .

XIV.8.3. Protection contre l'ensablement :

Pour lutter contre l'ensablement, on propose les méthodes suivantes :

a) Stabilisation chimique :

Des moyens chimiques colloïdes organiques et anorganiques, offrent une protection temporaire contre le transport du sable .

Le traitement chimique de la surface des dunes de sable et des surfaces limitrophes du tracé est possible à l'aide de dispersions polymères, de polyuréthanes ou de verre solubles. Quand aux surfaces limitrophes du tracé, il serait aussi pensable de procéder à une stabilisation à l'aide de ciments rapides spéciaux.

b) Stabilisation à l'aide de produits pétrolifères :

Une stabilisation de sables de dunes par la création d'une croute en fuel lourd. La pulvérisation superficielle avec de l'huile lourde est possible dans cette région et à recommander à partir de différents points de vue, par exemple en relation avec la plantation ultérieure.

c) Plantation :

stabilisation des dunes de sables par plantation notamment des oyats si les conditions climatiques s'y prêtent

d) Stabilisation par des recouvrements face au vent (cailloux, pierrailles).

e) Stabilisation par des revêtements en mailles de 2m × 2m de tresse d'herbes séchées.

f) Transformer les dunes de sable en boue .



Figure XIV6- : Pin d'Alep



Figure XIV5- : Cyprès vert



Figure XIV8- : Parcelle d'Eucalyptus



Figure XIV7- : Parcelle de Tamarix

❖ **Création d'écrans :**

Ces écrans placés le long de la voie ferrée, à environ 100m de celle-ci, face au vent, créeront une zone privilégiée d'accumulation du sable, qui protègera la voie ferrée pendant un certain temps. Ces écrans peuvent être constitués :

❖ **Technique de palissade :**

La palissade est un obstacle linéaire opposé au vent dominant pour en diminuer la vitesse et provoquer à son niveau l'accumulation du sable en mouvement. Cette accumulation aboutit à la formation d'une dune artificielle « dune d'arrêt » qui constitue la première phase de la lutte contre l'ensablement et qui joue souvent le rôle de brise-vent et d'obstacle physique freinant le mouvement des sables. La nature de la palissade diffère selon les matériaux utilisés, elle peut être d'origine synthétique ou végétale comme la palme, Tamarix …

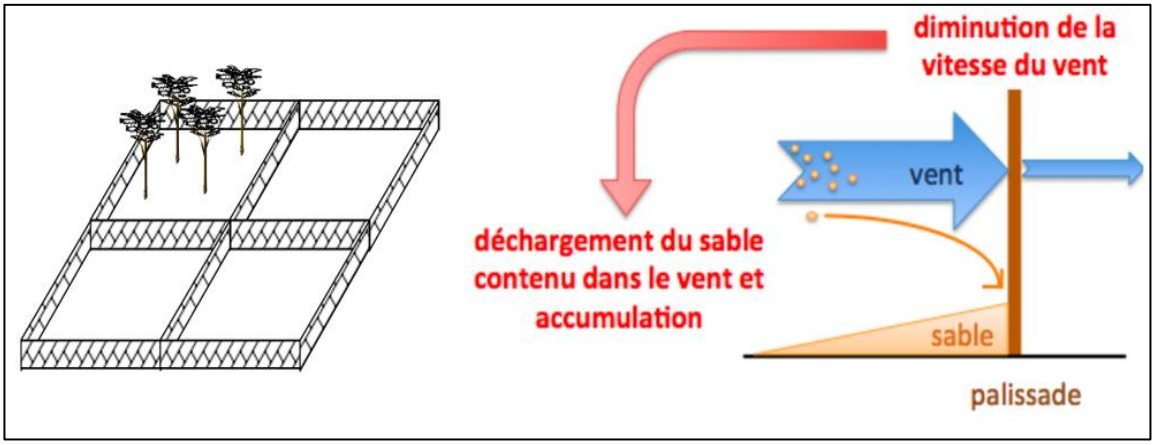


Figure XIV9- : Technique de palissade

❖ **Désensablement**

L'opération de désensablement quand elle est possible reste la meilleure de tous les procédés de lutte mécanique. Cependant, les menaces renouvelables de ce phénomène naturel défient la majorité des méthodes et techniques de désensablement utilisées seules , par le nettoyage des dunes de sable au moins une fois par semaine par engins lourds .

XIV.9. CONCLUSION :

De façon générale, les actions de lutte contre l'ensablement demeurent ponctuelles, dispersées et Portent sur des cas d'urgence où les fronts dunaires sont devenus menaçants. Elles s'inscrivent Rarement dans le cadre d'un plan de protection globale préétabli et déterminé en fonction de la Dynamique éolienne et des types de modelés éoliens en présence, prenant en compte aussi bien les Sources de sable, les zones de transport et de dépôt.

CHAPITRE XV :
DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

XV . Devis estimatif et quantitatif

N°DES PRIX	DESIGNATIONS DES TRAVAUX	UNITE	PRIX UNITAIRE	QUANTITÉ	MONTANT
1 - INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER					
1 .1	Amenée du matériel et installation général du chantier	F	1	350000000,00	350000000,00
1 .2	Repli du matériel et des installations du chantier	F	1	60000000,00	60000000,00
1 .3	Repliement de laboratoire de chantier	F	1	5 450 000,00	5450000,00
TOTAL INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER					415450000,00
2 - ETUDES D'EXECTION					
2 .1	Études d'exécution des terrassements généraux	F	1	90000000,00	90000000,00
2 .2	Études d'assainissement	F	1	5299870,00	5299870,00
2 .3	Études d'exécution des Bâtiments voyageurs et aménagement extérieur	F	1	10 867 722,00	10867722,00
TOTAL ETUDES D'EXECTION					106167592,00
3 - TERRASSEMENT GENEREAUX					
3 .1	Décapage de terre végétale	M3	445,22	143125,5	63722335,11
3 .2	Déblais mise en remblai	M3	469,13	1 704 043,74	799418039,7
3 .3	Déblais mise en dépôt	M3	486,18	1136029,16	552314657
3 .4	Préparation des surfaces d'assise des remblais	M2	294,00	3304468,2	971513650,8
3 .5	Mise en remblai des matériaux issus des déblais	M3	309,19	2 585 713,26	799476682,9
3 .6	Couche de forme	M3	778,32	78230,6	60888440,59
3 .7	Sous ballast	M3	3341,8	31553,1	105444149,6
TOTAL TERRASSEMENT GENEREAUX					3352777955,70
4 - DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT					
4 .1	Buses de tuyaux en béton armé diamètre 1200mm	U	1070144,39	2	2140288,78
4 .2	Buses de tuyaux en béton armé diamètre 1500mm	U	1097600,00	17	18659200,00
4 .3	Buses de tuyaux en béton armé diamètre 2000mm	U	36764,38	2	514701,32
4 .4	Fourniture et mise en œuvre de fosse de 0,60 m de profondeur	ML	11400,00	4 720	53808000,00
TOTAL DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT					75122190,1
5 - TRAVAUX DE VOIE					
5 .1	Ballastage voie nouvelle	M3	6 305,00	31047,4	195753857,00
5 .2	Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60,34 kg/m)	Tonne	121 250,00	1834,336	222413240,00
5 .3	Fourniture des attachés pour rails UIC 60	U	523,80	50666	26538850,80
5 .4	Pose de la voie	ML	5 626,00	15200	85515200,00
5 .5	Fourniture des traverses mono-bloc	U	10 185,00	25333	258016605,00
5 .6	Fourniture et pose Appareil de voie UIC 300 1:9	U	12 350 000	2	24700000,00
5 .7	Fourniture et pose Appareil de voie UIC 500 1:12	U	13 870	2	27740000,00
5 .8	Traverses de Garage Franc	U	9500,00	6	57000,00
5. 9	Soudage aluminothermique	U	9500,00	52	494000,00

5 .10	Soudage électrique	U	9500,00	832	7904000,00
5 .11	Heurtoir	U	936686,56	2	1873373,12
TOTAL TRAVAUX DE VOIE					851006125,92
6 - BATIMENTS GARES ET AMENAGEMENT EXTERIEUR					
6 .1	Réalisation du bâtiment Voyageurs de la gare de Berriane	M2	80 000,00	650,00	52000000,00
6 .2	Réalisation des travaux d'aménagement extérieur de la gare de Berriane	M2	40 000,00	5200,00	208000000,00
TOTAL BATIMENTS GARES ET AMENAGEMENT EXTERIEUR					260000000,00
7- SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION					
7 .1	Électrification 2x25 kV/50 Hz	Km	641 019,49	15,2	9 743 496,20
7 .2	signalisations	F	4 398 750,00		4 398 750,00
TOTAL DE LA SIGNALISATION ET D'ELECTRIFICATION					14 142 246,20
TOTAL GENERAL (DA) HT					**5 074 666 109,9**
TOTAL GENERAL (DA) TTC TVA (19 %)					**6 038 852 671,00**

Montant total du projet en TTC :

Six milliards trente-huit millions huit cent cinquante-deux mille six cent soixante et onze DA .

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

Notre projet de fin d'étude porte sur une étude d'APD de la nouvelle ligne ferroviaire électrifiée sur le tronçon du PK 139 + 500 au PK 154 +700 avec la conception de la gare de BERRIANE.

On a fait le maximum pour concrétiser notre bagage théorique acquis lors de notre formation à l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics, en faveur de bien concevoir les différentes parties de l'étude commençant par la géométrie, la géologie, la géotechnique, l'assainissement et la conception de gare avec d'autre chapitre économique et environnemental.

Cette étude nous a permis de voir l'utilité des projets ferroviaires et que l'existence des réseaux performants d'infrastructures de transport a pour effet d'amplifier les échanges dans l'espace intégré.

Cette étude a été une occasion pour nous de profiter de l'expérience pratique des ingénieurs du terrain d'une part et d'autre part apprendre une méthodologie rationnelle, et le plus occasion pour nous d'approfondir nos connaissances et de mieux maîtriser l'outil informatique en l'occurrence les logiciels : COVADIS 16 , GEOSLOPE 2018 …

LISTE DES ANNEXE

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

Client : **ENSTP** Préparé par : ROUS ABDELLAH

LOGICIEL : COVADIS 16.0D Date : 19/05/2023 à 15:17:49

Axe en plan: la ligne ferroviaire Laghouat – Ghardaïa

Description : étude APD de la ligne de chemin de fer Laghouat – Ghardaïa

Plage d'abscisse : Début : 139+500, Fin : 139+700

AXE EN PLANE						
Date du listing			19/05/2023 à 15:17:49			
Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	152.31gr	474,387	139+500.000	565576,834	3642578,684
Clothoïde 1	Paramètre	663,325	110,000	139+974.387	565899,884	3642231,291
Arc 1	Rayon	4000.000 m	1481,704	140+084.387	565975,160	3642151,083
	Centre X	568866.626 m				
	Centre Y	3644915.033 m				
Clothoïde 2	Paramètre	-663,325	110,000	141+566.092	567171,864	3641291,805
Droite 2	Gisement	126.98gr	1933,357	141+676.092	567271,925	3641246,115
Clothoïde 3	Paramètre	-774,597	100,000	143+609.449	569034,271	3640451,126
Arc 2	Rayon	-6000.000 m	1039,563	143+709.449	569125,311	3640409,754
	Centre X	566612.644 m				
	Centre Y	3634961.221 m				
Clothoïde 4	Paramètre	774,597	100,000	144+749.013	570026,991	3639895,006
Droite 3	Gisement	139.07gr	6090,641	144+849.013	570108,903	3639837,645
Clothoïde 5	Paramètre	-616,441	190,000	150+939.653	575088,165	3636330,103
Arc 3	Rayon	-2000.000 m	1135,081	151+129.653	575241,728	3636218,250
	Centre X	574013.611 m				
	Centre Y	3634639.729 m				
Clothoïde 6	Paramètre	616,441	190,000	152+264.734	575897,740	3635310,592
Droite 4	Gisement	181.25gr	2350,669	152+454.734	575955,767	3635129,689
				154+805.403	576638,217	3632880,266
Longueur totale de l'axe 15305.403 mètre(s)						

Annexe B : Listing de la géométrie de profil en long

Client :	**ENSTP**	Préparé par :	ROUS ABDELLAH
LOGICIEL : COVADIS 16.0D		Date :	19/05/2023 à 15:17:49

Profil en plan: la ligne ferroviaire Laghouat – Ghardaïa

Description : étude APD de la ligne de chemin de fer Laghouat – Ghardaïa

Plage d'abscisse : Début : 139+500, Fin : 139+700

Profil en long				
Date du listing	19/05/2023 à 15:33:12			
Elts Caractéristiques			Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon	Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	**Pente** **-0.80 %**	2191,493	139+500.000	621,700
Cercle 1	**Rayon** **48836.735 m**	977,117	141+691.493	604,120
	Sommet Absc. 142+083.247 m			
	Sommet Alt. 602.548 m			
Pente 2	**Pente** **1.20 %**	1255,507	142+668.610	606,057
Cercle 2	**Rayon** **-24955.394 m**	673,407	143+924.117	621,106
	Sommet Absc. 144+223.235 m			
	Sommet Alt. 622.899 m			
Pente 3	**Pente** **-1.50 %**	1590,374	144+597.524	620,092
Cercle 3	**Rayon** **40000.000 m**	750,023	146+187.898	596,237
	Sommet Absc. 146+787.831 m			
	Sommet Alt. 591.737 m			
Pente 4	**Pente** **0.38 %**	1561,968	146+937.921	592,019
Cercle 4	**Rayon** **-50000.000 m**	584,090	148+499.889	597,880
	Sommet Absc. 148+687.502 m			
	Sommet Alt. 598.232 m			
Pente 5	**Pente** **-0.79 %**	2584,815	149+083.979	596,660
Cercle 5	**Rayon** **-38116.251 m**	204,553	151+668.794	576,163
	Sommet Absc. 151+366.549 m			
	Sommet Alt. 577.361 m			
Pente 6	**Pente** **-1.33 %**	392,363	151+873.347	573,992
Cercle 6	**Rayon** **18000.000 m**	239,330	152+265.710	568,774
	Sommet Absc. 152+505.040 m			
	Sommet Alt. 567.183 m			
Pente 7	**Pente** **0.00 %**	1494,960	152+505.040	567,183
Cercle 7	**Rayon** **-30808.722 m**	805,403	154+000.000	567,183
	Sommet Absc. 154+000.000 m			
	Sommet Alt. 567.183 m			
			154+805.403	556,654
Longueur totale de l'axe 15305.403 mètre(s)				

Annexe C : Canalisation circulaires partiellement remplie

Q / Q p s	V / V p s	h / D	Q / Q p s	V / V p s	h / D
0, 0 0 1	0,1 4	0,0 2	0, 5 3 4	1, 0 2	0, 5 2
0, 0 0 3	0,2 2	0,0 4	0, 5 6 8	1, 0 3	0, 5 4
0, 0 0 7	0, 2 9	0,0 6	0, 6 0 3	1, 0 5	0, 5 6
0, 0 1 3	0, 3 5	0,0 8	0, 6 3 7	1, 0 6	0, 5 8
0, 0 2 1	0, 4 0	0,1 0	0, 6 7 2	1, 0 7	0, 6 0
0, 0 3 1	0, 4 5	0,1 2	0, 7 0 6	1, 0 8	0, 6 2
0, 0 4 2	0, 5 0	0,1 4	0, 7 4 0	1, 0 9	0, 6 4
0, 0 5 6	0, 5 4	0,1 6	0, 7 7 3	1, 1 0	0, 6 6
0, 0 7 1	0, 5 8	0,1 8	0, 8 0 6	1, 1 1	0, 6 8
0, 0 8 8	0, 6 2	0,2 0	0, 8 3 7	1, 1 2	0, 7 0
0, 1 0 6	0, 6 5	0,2 2	0, 8 6 8	1, 1 3	0, 7 2
0, 1 2 6	0, 6 8	0,2 4	0, 8 9 8	1, 1 3	0, 7 4
0, 1 4 8	0, 7 2	0,2 6	0, 9 2 6	1, 1 4	0, 7 6
0, 1 7 1	0, 7 5	0,2 8	0, 9 5 3	1, 1 4	0, 7 8
0, 1 9 6	0, 7 8	0,3 0	0, 9 7 7	1, 1 4	0, 8 0
0, 2 2 2	0, 8 0	0,3 2	1, 0 0 0	1, 1 4	0, 8 2
0, 2 4 9	0, 8 3	0,3 4	1, 0 2 1	1, 1 4	0, 8 4
0, 2 7 7	0, 8 6	0,3 6	1, 0 3 9	1, 1 4	0, 8 6
0, 3 0 7	0, 8 8	0,3 8	1, 0 5 4	1, 1 3	0, 8 8
0, 3 3 7	0, 9 0	0,4 0	1, 0 6 6	1, 1 2	0, 9 0
0, 3 6 8	0, 9 2	0,4 2	1, 0 7 3	1, 1 2	0, 9 2
0, 4 0 0	0, 9 4	0,4 4	1, 0 7 6	1, 1 0	0, 9 4
0, 4 3 3	0, 9 6	0,4 6	1, 0 7 1	1, 0 9	0, 9 6
0, 4 6 6	0, 9 8	0,4 8	1, 0 5 7	1, 0 6	0, 9 8
0, 5 0 0	1, 0 0	0,5 0	1, 0 0 0	1, 0 0	1, 0 0

Annexe D : Classes de qualité des sols selon le code UIC 719R.

Classe de qualités des sols	**Classification des sols (identification géotechnique)**
QS0 : Sols impropres	0.1 sols organiques. 0.2 sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonné, humides et donc non compactables. 0.3 sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse) 0.5 sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels par exemple). 0.6 sols mixtes « minéraux organique ».
QS1 : Sols médiocres	1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (sauf sols0.2). 1.2 Roches très évolutives par exemple : - Craies de ρd <1.7t/m^3 et de friabilité forte – Marnes - Schistes altérés. 1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (sauf sols 0.2). 1.4 Roches évolutives par exemple : - Craies de ρd < 1.7 <t/m3 et de friabilité faible - Schistes non altérés. 1.5 Roches tendres par exemple : Si Microdeval en présence d'eau (MDE)>40 et Los Angeles LA>40.
QS2 : Sols moyens	2.1 Sol comportant de 5 à 15% de fines. 2.2 Sols comportant moins de 5% de fines mais uniformes (Cu≤6). 2.3 Roches moyennement dures par exemple : Si 25<MDE≤40 et 30<LA<40.
QS3 : Bons sols	3.1 Sols comportant moins de 5% de fines 3.2 Roches dures par exemples : Si MDE≤25 et LA≤30

Client : **ENSTP** Préparé par : ROUS ABDELLAH

LOGICIEL : COVADIS 16.0D Date : 19/05/2023 à 16:22:52

Récapitulatif des Cubatures des Matériaux

Description : étude APD de la ligne de chemin de fer Laghouat – Ghardaïa

Plage d'abscisse : Début : 139+500, Fin : 139+700

Récapitulatif des Cubatures des Matériaux	
Matériau	**Volume cumulé (m3)**
BALLAST	31047,4
SOUS BALLAST	31553,1
TOUT_VENANT	78230,6