République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية_فرنسيس جانسون
École Nationale Supérieure des Travaux Publics Francis Jeanson

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme ingénieur d'Etat
Filière : travaux publics
Spécialité : infrastructure de base et matériaux de structure

Thème

Etude APD : la construction de la nouvelle ligne ferroviaire Ain-Beida -Khenchela (51 km) du Pk 20 m au Pk 30 m, avec l'aménagement de la gare de fekirina.

Réalisé par :

DJAALEB Abdelmoumen.
LARBI Manal.

Encadré par :

Mr. DERRADJI Ayachi.

2022/2023

Remerciements

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

Tout d'abord je tiens à remercier mes enseignants et mes encadrants académiques pour leur conseil et leur disponibilité constante qui m 'ont permis de développer mes compétences et définir mes objectifs.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude envers tous ceux qui m'ont aidé à élaborer ce projet, et plus particulièrement envers mon frère et mon encadrant, M. DERRADJI AYACHYE, pour sa disponibilité constante, son assistance précieuse et ses conseils éclairés tout au long de ce projet.

Je remercie chaleureusement mes frères Mr. KHELIFI Ayoub et HAMMADI IMAM et Boumamche Abed star pour leurs soutiens, ses remarques pertinentes et leurs encouragements, tout le long de ce projet

Je tiens également à exprimer ma gratitude envers le groupe de Cosider T148 et T125 pour leur soutien et leurs remarques tout au long de la période du stage. Je souhaite particulièrement remercier Bedjil Faouzi, Said, Tayeb, Asma, Meriem, Ismail, Djamal Topo et Adnan Topo pour leur contribution.

De plus, je voudrais adresser mes sincères remerciements à M. MORSLI ainsi qu'à l'ensemble du personnel de L'ENSTP pour leurs précieux conseils et leurs efforts. Je tiens à mentionner spécifiquement Mme. Bourebia, Mme. Makoudi et Mme. Boumehraz pour leur soutien exceptionnel.

Mes sincères 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.

A la fi je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers ttes les personnes qui m'ont soutenu et qui ont contribué de près ou de loin afin de réaliser ce mémoire

Mon parcours n'aurait jamais été possible sans leur précieuse gratitude.

Dédicace

À mes chers parents,

En souvenir de mon regretté mon père, DJAALEB Said, qui nous a quittés prématurément (Allah Yarhmou), À celui qui a dévoué sa vie à me voir devenir la personne que je suis aujourd'hui, J'aurais tant souhaité que tu puisses être à mes côtés en ce moment crucial de ma formation, mais la volonté divine est inébranlable, ce travail est le résultat de ton esprit de sacrifice, de tes encouragements, de ton soutien et de l'amour constant que tu m'as prodigué
Aujourd'hui,
J'aspire à réaliser l'un de tes rêves et je sais que tu seras fier de moi

Un grand merci à ma mère la plus belle femme au monde , pour leur amour, leur conseil ainsi que leur soutien inconditionnel, à la fois moral et économique, qui m'a permis de réaliser les études que je voulais et par conséquent ce mémoire.

À mes frères Nacer et Abdelhakim et Mokhtar et mes sœurs je te souhaite le bonheur, la réussite. Aucun langage ne saurait exprimer mon respect et ma considération pour votre soutien et encouragements.

À toute ma famille, Djaaleb et Aiche

À mes meilleurs amis :

Mohamed Ilyas,Bennabi Abdellatif ,Dhia ,Anis ,Abednour ,Haroun ,abedel ali Abdallâh ,Aissa ,baba khoyia , Hicham ,Ilyas , Djamal ,Houssem ,Saleh ,Khair-Eddine ,Oussama ,Adel ,Hamza ,karim ,abdou ,Ziad, Zaiouche ,Abdelhak ,Said

Hani, Amjad, Mohamed saddek, Farid, Abederazzak, Omar

ENSH blida: Karim, Adam, Djaroumi ,Drif, Amina , Meriem

Alaa, Nabil ,khaled ,Mahmoudi , Youcef ,Samir sans exception groupe OEAL.

Dédicace

À la mémoire de mon cher grand père, **CHERCHALL ABDELKADER**, qui nous a quittés trop tôt (Allah Yarhmou) ;
À l'homme qui a consacré sa vie entière à me voir devenir ce que je suis ;
J'aurais tellement aimé que tu sois à mes côtés en ce moment important de mon parcours d'études, mais la volonté de Dieu est plus forte ;
Ce travail est le fruit de ton esprit de sacrifice, de ton encouragement, de ton soutien et de l'amour que tu m'as toujours donné ;
Aujourd'hui, j'espère réaliser l'un de tes rêves et je sais que tu seras fier de moi où que tu sois. Je t'aime et je t'aimerai jusqu'à mon dernier souffle, je ne t'oublierai jamais.

À l'homme précieux offert par Dieu, qui a sacrifié sa vie pour moi et a prié pour moi, ainsi qu'à tous ses efforts, ma réussite et tout mon respect : mon cher papa, **(LARBI ABDELKADER)**

À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur. Celle qui m'a accordé ses sacrifices et sa tendresse : mon adorable mère, **(Zora)**

À ma plus belle étoile dans l'univers, ma chère mère **"Sendjasni Fatouma"** (yemma), et aux plus belles tantes du monde, **"Hakima et ghania "**, qui occupe une place spéciale dans mon cœur. Vous êtes la source de mes efforts, ma vie et mon bonheur. Je vous adore et que Dieu tout-puissant vous préserve, vous

accorde santé, longévité et bonheur.

A mes chères tante « **Fouzia et Dalila** les grands professeurs » et mes oncles « **el Bachir** » et « **Hamza** » « **Kamel** et **Mammer** et **Ahmed** » qui m'ont soutenu et encouragé ses prières durant ces années d'étude ;

À ma grande sœur bien-aimée, **Dr LARBI Meriem**, tu as toujours été à mes côtés à chaque étape de ma vie, et pas seulement dans ce travail. Que Dieu te préserve pour nous et renforce notre fraternité.

Un grand merci à mon frère, mon jumeau **(Larbi Sedik),** mon bras droit, qui a toujours été à mes côtés tout au long de mon parcours scolaire. Félicitations pour ta soutenance, je te souhaite le meilleur pour la suite. Que Dieu te préserve pour moi et pour nous. Vous êtes le meilleur cadeau qu'Allah m'ait offert.

À mes chères sœurs **Lynda** et **Sarah Itatahine**, **Larbi Sarah** (best teacher of English) qui n'ont jamais cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leur offre chance et bonheur.

A mon petit frère « Islam » et « Yasser » et ma petite sœur « Yasmine » je te souhaite un avenir radial plein de réussite ;

Un grand remerciement à mon cher professeur **Maghaloui Nadir,** qui a eu confiance en moi et m'a encouragé durant la période du COVID-19. Vous êtes un grand Monsieur.
Je tiens à exprimer ma sincère gratitude envers le Dr Abdeslam pour le soutien moral et intellectuel inestimable qu'il m'a prodigué tout au long de mon parcours. Merci infiniment.

A Mon mon **binôme Moumen** qui a contribué à la réalisation de ce travail, et

pour son soutien, sa patience et sa compréhension, que dieu le protégé.

À ma famille, spécialement mon cousin Rachid, mes proches spécialement, Cry et à ceux qui me témoignent leur amour et leur vivacité,

À mes ami(e)s,

En particulier Zahra, feriel, Rania ingénieure polytechnique, Rihab , Malek , pour l'encouragement et l'aide qu'il m'a toujours accordé ; Au nom de l'amitié qui nous réunit, Et au nom de nos souvenirs inoubliables .

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : ***RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE***

I.1 Introduction 3

I.2 Les paramètres généraux 3

I.3 Conclusion 9

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

II.1 Introduction 10

II.2 Présentation du site 10

II.2.1 Situation géographique *10*

II.2.2 Relief 11

II.2.3 Climat 11

II.2.4 Sismicité 11

II.3 Présentation du projet 11

II.3.1 Les caractéristiques du projet 12

II.3.1.1 Les caractéristiques de la voie 12

II.3.2 Superstructure 13

II.4 Conclusion 14

CHAPITRE *III* : ***SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE***

III.1 Introduction : 15

III.2 Les couches d'assise 15

III.2.1 Le rail 15

III.2.1.1 Assemblage des rails 16

III.2.2 Les traverses 17

III.2.2.1 Rôle des traverses 18

III.2.3 Les attaches travers-rail : 18

III.2.4 L'appareil de voie 18

III.3 Conclusion 20

CHAPITRE V : TRACE EN PLAN

IV.1 Introduction 21
IV.2 Conditions a respecté dans le tracé en plan 21
IV.3 Les Elément de tracé en plan 22
IV.3.1 L'alignement 22
IV.3.2 Arc de cercle 22
IV.3.2.1 Devers Théorique 22
IV.3.2.2 Dévers réel ou pratique 23
IV.3.2.3 Insuffisance de divers 23
IV.3.2.4 Excès de devers 24
IV.3.2.5 Rayon minimum de l'arc de cercle 24
IV.3.3 Courbe de raccordement 25
IV.3.3.1 Variation de dévers dans le raccordement 26
IV.3.3.2 Variation de l'insuffisance de divers dans le raccordement 27
IV.4 Application au projet 28
IV.5 Etude des contraintes 31
IV.6 Conclusion 31

CHAPITRES VI : PROFIL EN LONG

V.1 Introduction 32
V.2 Définition 32
V.3 Eléments de composition du profil en long 32
V.3.1 Choix des alignements droits 33
V.3.2 Choix des cercles 38
V.4 Application au projet 34
V.5 Conclusion 35

CHAPITRE I : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

VI. Introduction 36
VI.2 Etude hydrologique 37
VI.2.1 Caractéristiques morphologiques des bassins versants 38
VI.2.1.1 Le temps de concentration 39

VI.2.2 Caractéristiques climatiques et pluviométriques..... 39
VI.2.2.1 Climat 39
VI.2.2.2 Les précipitation… 39
VI.2.2.3 Pluie annuelles 39
VI.2.2.4 Calcul de l'intensité de pluie 40
VI.2.3 Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) 40
VI.2.3.1 Résultats de calcul des débits par la méthode rationnelle : 43
VI.2.3.2 Résultats de calcul des débits par la méthode de Turazza 43
VI.3 Etude Hydraulique 43
VI.3.1 Introduction 43
VI.4 Ouvrages d'assainissement longitudinaux..... 46
VI.4.1 Eléments de drainage longitudinal 46
VI.5 Critère de dimensionnement de base 46
VI.6 Application du projet 47
VI.7 Conclusion 48
CHAPITRE VIII : ETUDE GEOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE
VII.1 L'étude Géologiques..... 50
VII.1.1 Introductions..... 50
VII.1.2 Aperçu Géologique Régionale..... 50
VII.1.3 Contexte Géologique De Ce Tronçon..... 50
VII.1.4 Risques Géologiques 51
VII.2 Etude Géotechnique..... 52
VII.2.1 Introduction..... 52
VII.2.2 Programme D'investigation Géotechnique..... 52
VII.2.2.1 Lot Tracé..... 52
VII.2.2.2 Lot Ouvrage 57
VII.2.3 Campagne De Reconnaissance Géotechnique..... 57
VII.2.3.1 Les Résultats Des Essais In-Situ..... 58
VII.2.3.2 Reconnaissance Au Laboratoire 65
VII.3 Vérifications De La Stabilité Remblais Déblais 66
VII.3 .1 Talus En Déblais..... 67
VII.3.2 Talus En Remblais 68

VII.3.2.1 Justification de la stabilité au poinçonnement 69
VII.3.2.3 Calcul de tassement de plate-forme 68
VII.4 TERRASSEMENTS 73
VII.5 matériaux de gites d'emprunt 73
VII.5 matériaux de gites d'emprunt 74
VII.6 Conclusion 75

CHAPITRE VIII : ASSISE FERROVIAIRE

VII.1Introduction 76
VIII.2 Le ballast 76
VIII.3 Caractéristique de ballast 77
VIII.4 Sous couche 77
VIII.4.1 Rôle de la sous couche 77
VIII.5 La plate-forme 77
VIII.5.1 Classification des sols pour la plateforme 78
VIII.6 Les classes de la portance de la plateforme 79
VIII.7 Dimensionnement De Ballast Et De Sous-Ballast 80
VIII.8 Application au projet 82
VIII.9 Conclusion 83

CHAPITRE IX : PROFILE EN TRAVERSE

IX.1 Introduction 84
IX.2 Profile en travers 84
IX.2.1 Les éléments du profil en travers 84
IX.2.2 Profile en travers type de mon projet 85
IX. 3 Type de profile en traverse 86
IX.3.1 Profile en travers type 86
IX.3.2 Profile en travers type 86
IX.4 Calcul des cubatures 86
IX.5 Conclusion 87

CHAPITRE XII : CONCEPTION DE LA GARE FEKRINA

X.1 Introduction 88

X.2 Type de gare 88
X.3 Etude du plan de masse d'une gare 88
X.4 Aménagement de la gare 88
X.4.1 Installations d'une gare à voyageur 88
X.4.2 Marge de glissement à l'aval des signaux 89
X.4.3 Garage franc 90
X.4.4 La longueur utile d'une voie de stationnement : 90
X.4.5 Heurtoir 91
X.5 Caractéristiques géométriques des gares 91
X.5.1 Déclivité dans les gares 91
X.5.2 Quais 91
X.5.3 Les appareils de voie 92
X.6 Application Au Projet 94
X.7 Assainissement dans les gares 95
X.7.1 Assainissement transversale 96
X.7.2 Assainissement longitudinal 96
X.8 Conclusion 96

CHAPITRE XIII : SIGNALISATION FERROVIAIRE

XI.1 Introduction 97
XI.2 Les principaux risques ferroviaires 97
XI.3 Les objectifs de la signalisation 97
XI.4 Implantation des signaux en Algérie 98
XI.5 Type des signaux 98
XI.6 Catégories des signaux 98
XI.7 Principe de signalisation ferroviaire 99
XI.7.1 Principe de base de cantonnement 99
XI.8 Signalisation moderne 106
XI.9 Conclusion 107

CHAPITRE XII : IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XII.1 Introduction..... 108
XII.2 Analyse De L'état initial..... 108
XII.3 présentations du projet..... 108
XII.3 présentations de la zone d'étude 109
XII.4 Description de l'état initial du site et de son environnement..... 110
XII.4.2 Environnement physique 110
XII.4.1.1Géomorphologie 110
XII.4.1.2 Géologique et lithologie 110
XII.4.1.3 Climatologie 110
XII.4.1.4 Hydrologie et Hydrogéologie 110
XII.4.2Milieu biologique..... 110
XII.4.2.1 La Faune 111
XII.4.2.1 La Faune 111
XII.4.3 Milieu humain..... 111
XII.4.4 Activités économiques..... 112
XII.4.4.1 L'Agriculture 112
XII.4.4.2 L'industrie 113
XII.5 Identification et description des impacts 113
XII.5.1 Les impacts positifs du projet :..... 113
XII.5.2 Les impacts négatifs : 114
XII.5.2.1 L'air 114
XII.5.2.2 L'eau 113
XII.5.2.3 La faune et la flore :..... 114
XII.6 Mesures d'insertion et d'atténuation proposées 115
XII.6.1 Phase Construction 115
XII.6.2 Phase d'exploitation..... 117
XII.7 Conclusion 118

Chapitre XIII : devis estimatif et quantitatif

Conclusion général ……121

Résumé

Le présent projet vise principalement à réaliser une étude détaillée de l'avant-projet (A.P.D) d'une section de la nouvelle ligne ferroviaire khenchla-Ain Beida, du Pk20+00 au Pk30+00, comprenant l'aménagement de la gare Fekrina

L'identification des caractéristiques techniques les plus appropriées pour la ligne ferroviaire projetée sera basée sur les recommandations et les pratiques suivies par la SNTF (Société Nationale des Transports Ferroviaires) ainsi que d'autres systèmes ferroviaires plus avancés, conformément aux normes de l'UIC (Union Internationale des Chemins de Fer). La modélisation géométrique du projet a été réalisée à l'aide du logiciel COVADIS 17.0f.

مـــلخـــــص

تتعلق هذه المذكرة بدراسة تفصيلية أولية لما قبل المشروع (D.P.A) لجزء من خط السكة الحديدية الجديد الرابط بين خنشلة- عين البيضاء المقطع من(Pk 20+00 إلى PK30 +00) مع تهيئة **محطة فكرينة.**

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 تطورا UIC، معايير (الاتحاد الدولي للسكك الحديدية) وقد تم تنفيذ النمذجة الهندسية للمشروع تحت برنامجCCOVADIS f17.0

Summary

This project is mainly to study detailed design (ODA) of a section of the new railway line Khenchla–Ain Beida (the section from Pk 20+000 to Pk 30+00), with development of the station Fekrina.

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 17.0f software

Liste des figures

Figure I. 1: Fissure Head check (défaut de rail) 4
Figure I. 2: Altération de la table de roulement (ondulation) **5**
Figure I. 3: progression des dommages en surface par fatigue de contact roulant dans les roulements **5**
Figure I. 4: Les Squats (défauts isolés du rail) **6**
Figure I. 5: Empreinte de patinage **7**
Figure I. 6: Poinçonnements **7**
Figure I. 7 : Défauts de traitement **8**

Figure II. 1: Plan de situation de la 〖Zone〗 ……..….**10**
Figure II. 2 : Zone de situation de projet **11**

Figure III. 1: les constituant de la section transversal de 〖rail〗^4 …….. **16**
Figure III. 2: Profil rail du type UIC60 〖E1〗^5 ..... **16**
Figure III. 3: Traverse Bibloc **17**
Figure III. 4: les composantes d'attache type nabla **18**
Figure III. 5: Un branchement et ses éléments constitutifs. **19**
Figure III. 6: schéma illustrative de l'appareil de voie **19**

Figure IV. 1: Les éléments de tracé en plan **21**

Figures VI. 1: Zone d'étude dans les hauts plateaux constantinoise et sous-bassin Garret el taref (code ANRH : 0707). **36**
Figures VI. 2: Capture d'écran de la délimitation des bassins versants d'études sur le fond de cartes 1/25 00 ..... **37**
Figures VI. 3: Réalisation de fossé au godet trapèze **40**

Figures VII. 1: Les chaines montagneuse en Algérie **55**
Figures VII. 2 : portion Carte géologique de la zone d'étude **55**
Figures VII. 3 : présentent les résultats de l'analyse de stabilité du déblai pour les situations court terme, long terme et sismique respectivement **55**
Figures VII. 4: présentent les résultats de l'analyse de stabilité du remblai pour les situations cout terme, long terme et sismique respectivement **69**
Figures VII. 5: Schéma représentant le phénomène d'affaissement la perte de matière provoquée par la dissolution (a) est directement compensée par l'abaissement des terrains sur incombèrent (b) **71**
Figures VII. 6: Traitement des zones gypseuses 72
Figures VII. 7 : Extrait de plan entre M'toussa et Fekrina 73
Figures VII. 8: Géotextile anticantaminante 73

Figures VIII. 1:Les épaisseurs des couches d'assise **81**

Figure X. 1: Schématisation de la marge de glissement **89**
Figure X. 2: Schéma illustratif de garage franc **90**
Figure X. 3: longueur utile **90**
Figure X.4 : un heurtoir…… **.91**
Figure X.4 : Schéma illustratif……..**93**

Figure XI. 1: Schéma illustratif de canton **99**

Figure XII. 1: Zone d'implantation du projet. **109**
Figure XII. 2: Tracé de la ligne ferroviaire. **109**
Figure XII. 3: Etages bioclimatiques de la zone d'étude. **110**
Figure XII. 4: Vu général du milieu humain. **112**
Figure XII. 5: Répartition des surfaces agricoles par communes **113**

Liste des Tableaux

Tableau III- 1: les constituant de la section transversal de 〖Rail〗^4 ..... **16**
Tableau III- 2: les caractéristiques d'appareils de voie qui j'utilise pour mon projet..... **19**

Tableau IV- 1: Valeurs limites du dévers……**23**
Tableau IV- 2: Valeurs limites de l'insuffisance de dévers..... **23**
Tableau IV- 3: Valeurs limites de l'excès de dévers **23**
Tableau IV- 4: Les valeurs de la courbure..... **25**
Tableau IV- 5: Limitation de la courbure **23**
Tableau IV- 6: Le calcule Pour le projet **23**
Tableau IV- 7: Limite de la variation de devers par rapport à la longueur **27**
Tableau IV- 8: Limite de la variation de devers par rapport au temps **27**
Tableau IV- 9: Limite de variation de divers en fonction de rayon et devers de la courbe.... **27**
Tableau IV- 10: Limite de variation de l'insuffisance de devers dans les raccordements **28**
Tableau IV- 11: récapitulatif des lignes affectées par le projet. **28**
Tableau IV- 12: récapitulatif des conduites de gaz affectées par le projet. **28**

Tableau V- 1: les longueurs minimales des éléments de profile en long……**33**

Tableau V- 2: Valeurs de Rayon vertical minimal **36**
Tableau V- 3: Valeurs des paramètres de profil en long **36**

Tableau VI- 1: Caractéristiques morphologiques des bassins versants……..... **38**
Tableau VI- 2: Pluies annuelles en (mm) **40**
Tableau VI- 3: Coefficient C1 ..... **42**
Tableau VI- 4: Coefficient C2 ..... **40**
Tableau VI- 5: Coefficient C3 ..... **40**
Tableau VI- 6: Résultats de calcul des débits par la méthode rationnelle **40**
Tableau VI- 7: Résultats de calcul des débits par la méthode Turazza **40**
Tableau VI- 8: Liste global des ouvrages à projeter..... **45**
Tableau VI- 9: Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblais et déblais **48**

Tableau VII-1: Programme d'investigation géotechnique en section remblai et déblais…. .**53**
Tableau VII-2: Programme d'investigation de Lot ouvrage **57**
Tableau VII-3: Les résultats des puits (PR) effectués **58**
Tableau VII-4: Synthèse des résultats des essais d'identification physique (sondage carotté) **59**
Tableau VII-5: Synthèse des résultats des sondages pressiométriques **61**
Tableau VII-6: Synthèse des résultats essais au pénétromètre dynamique……**65**
Tableau VII-7: Les résultats des essais physiques sont présentés dans les tableaux récapitulatifs **65**
Tableau VII- 8: résume les talus en déblais de (H> 5m) **67**
Tableau VII- 9: résume Les sondages carottés effectués entre le pk 20+00 et 30+00 ..... **67**
Tableau VII-10: résume les résultats de calcul de stabilité des talus en déblais à l'aide de logiciel slide 0.6..... **67**
Tableau VII- 11: Justification au poinconnement a la base des remblais **69**
Tableau VII- 12: Justification de la stabilité au glissement rotationnel **69**

Tableau VII- 13: Récapitulatif des calculs du tassement H remblais **70**
Tableau VII- 14: Récapitulatif des Temps de consolidation **71**
Tableau VII- 15: Récapitulatif des calculs du tassement apres la purge **71**
Tableau VII-16 : Les groupes géologiques affectés par le tracé d'étude…… **75**

Tableau VIII- 1:la classe la portance de la plate-forme (normes UIC 719R p.34) **80**

Tableau VX- 1: Tableau suivant représente les résultats de calcul automatique ……..…..**87**

Tableau X- 1:longueurs minimales de tracé **92**
Tableau X- 2:les branchements..... **94**

Tableau XI- 1: Les principaux signaux ferroviaires et leur indication..... **101**
Tableau XI- 2:résume les caractéristiques de la signalisation moderne **107**

Tableau XII- 1 : Répartition de la production agricole de Fekrina**.** **113**
Tableau XII- 2: Les différents impacts négatifs sur le tronçon étudié en phase de constructions et les diverses solutions proposées**.**..... **115**
Tableau XII- 3: Les différents impacts négatifs sur le tronçon étudié en phase de constructions et les diverses solutions proposées.**.**..... **117**

Introduction générale :

L'homme s'est toujours intéressé au développement de son environnement. Depuis des millénaires, les humains ont exploité les ressources naturelles pour répondre à leurs besoins, tels que la nourriture, le logement, le transport et les loisirs.

Au fil du temps, les infrastructures ont évolué pour répondre aux besoins de plus en plus complexes de la société. Des routes et des ponts ont été construits pour faciliter les déplacements, des barrages et des canaux ont été créés pour gérer l'eau, et des réseaux de communication ont été développés pour connecter les gens.

L'Algérie accorde une grande importance au développement en raison de sa vaste superficie et de ses besoins croissants en infrastructures telles que le transport, l'énergie, l'eau, les télécommunications et le logement. Parmi les projets d'infrastructures majeurs en cours de développement en Algérie, on peut citer la construction de nouvelles autoroutes, la modernisation des aéroports, l'extension du réseau ferroviaire et la construction de nouveaux barrages.

Les infrastructures de transport en Algérie comprennent les routes, les chemins de fer, les ports et les aéroports. Les routes constituent le principal moyen de transport dans le pays, avec un réseau routier de plus de 108 000 kilomètres. Cependant, le réseau routier présente souvent des problèmes tels que des accidents fréquents et des embouteillages.

En raison du développement économique croissant du pays, il est nécessaire d'améliorer le réseau ferroviaire afin de répondre à la demande croissante du marché. L'Algérie lance donc de nouveaux projets pour développer son réseau ferroviaire, en suivant des programmes de développement bien étudiés.

Dans le cadre de ces programmes, l'État prévoit la réalisation de la ligne ferroviaire Ain-Beida-Khenchela, qui s'étendra sur 51 km. Cette ligne fait partie de la réalisation de la rocade des hauts plateaux et de ses interconnexions avec la rocade ferroviaire EST et la ligne minière.

Structure de projet de fin d'études :

Le projet Ain Beida - Khenchela a une longueur de 51 km. Allant du pk 0+530 (raccordement de la gare de Ain -Beida) comme point de départ à la future gare voyageuse de khenchela (Site d'El-Hamma) au pk 51+675 m.

Notre étude est définie du Pk 18 m au Pk 30 m, avec l'aménagement de la gare de Fekrina. Après l'introduction générale.

Une présentation de projet tel que relief, 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.

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Recherche bibliographique

I.1 Introduction :

Les rails sont soumis à des fortes sollicitations, telles que les charges à l'essieu, la vitesse de circulation, les accélérations et les freinages (particulièrement fréquents sur les réseaux urbains). Outre l'usure normale, ces sollicitations peuvent générer différents types de défauts, qui sont généralement classés en quatre catégories : usure (perte de matière due au frottement), déformation, fissuration et défauts liés à l'utilisation. Pour déterminer le procédé d'entretien approprié (meulage ou fraisage), il ne suffit pas de connaître le type de défaut, il faut également en évaluer la gravité. La quantité de matière à enlever dépend de la profondeur de la détérioration, et pour la déterminer avec précision, il est nécessaire d'effectuer des mesures sur les rails.

Des opérations de maintenance régulières et préventives, telles que le meulage à grande vitesse (High Speed Grinding), permettent d'entretenir les rails et d'empêcher l'aggravation des défauts. De cette façon, il est possible d'augmenter considérablement la durée de vie des rails et de réduire de manière significative les coûts de maintenance sur l'ensemble de leur cycle de vie. Nos engins de meulage seront bientôt équipés d'une technologie de mesure qui déterminera l'état des rails lors de leur passage. Les données collectées seront utilisées pour alimenter notre concept innovant de maintenance intelligente (lien), qui vous permettra de mettre en place votre propre gestion de l'entretien grâce à une application. Ce système permet d'augmenter considérablement la durée de vie des rails et de réduire notablement les coûts de maintenance.

I.2 Les paramètres généraux :

Quelle que soit la nature de la voie (ligne classique ou à grande vitesse), la circulation des trains entraîne l'apparition de défauts de voie. Ces défauts sont essentiellement de nature géométrique, résultant de problèmes de nivellement. Ils se caractérisent par un inconfort pour les voyageurs et mettent en jeu la sécurité des circulations. S'ils sont trop importants, ces défauts sont identifiés à l'aide d'une rame spéciale appelée Voiture Mauzin (figure I-1), qui enregistre la géométrie de la voie et permet donc de localiser les défauts et déformations des voies ferrées. Voici une présentation des défauts de rail les plus courants :

- **Fissures « Head check »**

Les défauts les plus courants sont les fissures "Head check". Il s'agit de fissures fines et très serrées, résultant de la fatigue au contact de roulement (RCF) qui apparaissent en premier lieu sur le congé de roulement des rails avant de progresser vers le champignon. Si ces fissures ne sont pas éliminées à temps, elles peuvent devenir de plus en plus profondes à l'intérieur du rail, fusionner et entraîner des ébréchures ainsi qu'un affaiblissement du rail. À un stade avancé, la seule alternative pour supprimer ces défauts est de remplacer le rail. Si aucune mesure n'est prise, l'évolution de ces fissures peut provoquer des ruptures multiples et mettre en cause la sécurité des circulations.

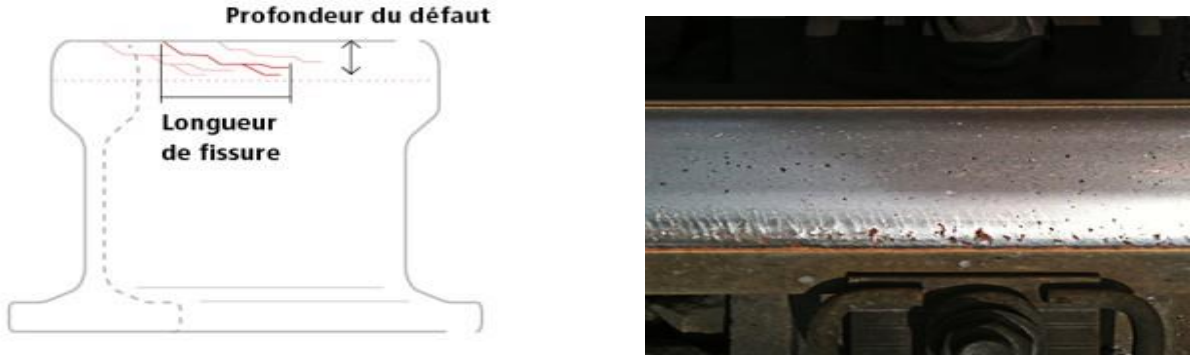


Figure I. 1: fissure Head check (défaut de rail)

À un stade initial, les fissures "Head check" peuvent être éliminées par meulage. Cependant, si l'évolution du défaut est trop avancée, une plus grande quantité de matière devra être retirée. Dans ce cas, il est recommandé de procéder à un fraisage conventionnel ou HPM.

- **Altération de la table de roulement (ondulation)**

La déformation ondulatoire de la surface du rail est due au contact de roulement et à un traitement inadapté. L'ondulation est la principale cause d'émission de bruit. Les vibrations résultant de ce défaut constituent une charge pour la voie et les trains, qui peuvent à leur tour subir des dommages. Les défauts ondulatoires sont classés en trois catégories selon la longueur de l'ondulation : usure ondulatoire à ondes courtes, empreintes de patinage (moyennes) et usure ondulatoire à ondes longues.



Figure I. 2: Altération de la table de roulement (ondulation)

Sur les lignes à grande vitesse, les ondulations à un stade avancé peuvent entraîner l'apparition de fissures. On parle alors de défaut « Belgrospi » : il s'agit d'un réseau de fissures apparaissant au sommet des ondulations. En évoluant, ce type de défaut peut provoquer des squats (voir point suivant).

Les ondulations de patinage surviennent dans les virages serrés sur le rail intérieur (branche interne). Ce défaut est dû à des effets de patinage au niveau des essieux résultant d'une différence de rayon de roulement entre la roue interne au virage et la roue externe.

Les ondulations longues sont plutôt rares. Lorsqu'elles apparaissent, il est difficile de les différencier des défauts de géométrie de la voie.



Figure I. 3: progression des dommages en surface par fatigue de contact roulant dans les roulements.

- **Squats**

Les squats sont généralement des défauts isolés, bien qu'ils apparaissent parfois en série. Ils se caractérisent par un enfoncement de couleur foncée et, à un stade avancé, ils ressemblent à des fissures en forme de V ou semi-circulaires pointant vers le côté de roulement des rails. Différentes hypothèses permettent d'expliquer ce défaut. Certaines sources évoquent des écrasements latéraux du matériau, d'autres considèrent que les squats sont la conséquence de dommages préalables tels que des ondulations et des enfoncements, ou encore de défauts de meulage tels que la formation de martensite résultant d'un bleuissement par meulage. L'apparition de squats a fortement augmenté ces dernières années, certaines sources estimant qu'ils constituent les défauts les plus préoccupants pour la sécurité des circulations ferroviaires.



Figure I. 4: Les Squats (défauts isolés du rail)

- **Empreinte de patinage**

Les empreintes de patinage sont des marques d'usure causées par le frottement et le patinage des roues des véhicules lors du démarrage. Si une roue patine, le profil du rail peut se déformer et l'augmentation de la température peut entraîner une modification de la structure du matériau, qui peut alors se durcir à certains endroits.

Les empreintes de patinage peuvent être facilement distinguées des squats, car elles apparaissent toujours en même temps et de façon opposée sur les rails gauche et droit.



Figure I. 5: Empreinte de patinage

- **Poinçonnements**

Les poinçonnements se situent sur la surface de roulement du rail. Ils sont la conséquence de la présence de corps étrangers durs sur le rail lors du passage des roues. Deux causes sont possibles. Si le défaut est ponctuel et ne se répète pas, il s'agit d'un corps étranger présent sur le rail qui est écrasé par les roues (par exemple, l'empreinte de ballast). Si un corps étranger s'est logé dans une roue, un poinçonnement périodique appelé "billage" se produit à chaque tour de roue, endommageant le tronçon de façon répétée sur de grandes longueurs. Ces poinçonnements peuvent être le point de départ de fissures.



Figure I. 6: Poinçonnements

- **Ebréchures**

Lorsque les défauts sont très avancés, il peut arriver que la surface du rail subisse des ébréchures. Cela se produit, par exemple, lorsque des fissures "head check" ou des fissures internes n'ont pas été traitées par un meulage ou un fraisage. Avec le temps, ces fissures peuvent croître exponentiellement dans les champignons de rails et devenir des points faibles. Lorsqu'il reste suffisamment de réserve d'usure, il est possible de fraiser le rail de quelques millimètres afin d'éliminer ces fissures (fraisage conventionnel ou HPM).

Si les ébréchures sont trop profondes pour être éliminées par un simple enlèvement superficiel de matière, le rail doit être remplacé.

- **Défauts de traitement**

Outre l'usure causée par le passage des trains, des défauts de traitement peuvent également raccourcir la durée de vie des rails. Un traitement inadapté, tel qu'un meulage agressif, peut endommager le matériau. L'augmentation de la pression de contact et de la vitesse de rotation des meules entraînent une quantité importante d'enlèvement de matière, mais peut également provoquer une surchauffe du rail, entraînant un bleuissement et des durcissements avec formation de martensite.

Cependant, un enlèvement de matière insuffisant peut également causer des problèmes. Les défauts restants ne sont pas complètement éliminés, et peuvent être masqués, conduisant à l'apparition de nouvelles détériorations. Par exemple, si les ondulations n'ont pas été suffisamment fraisées ou meulées, de nouvelles ondulations se formeront rapidement à ces endroits.



Figure I. 7 : Défauts de traitement

I .3 conclusion :

La maintenance de la voie est d'une grande importance pour définir les seuils d'intervention en matière de maintenance, limiter la vitesse pour garantir la sécurité et le confort des voyageurs. Dans un second temps, les critères de maintenance des voies et les principales causes de problèmes liés à la tenue de la géométrie de la voie ont été présentés. On peut en conclure que le nombre de problèmes affectant la structure d'assise est légèrement supérieur à celui de la superstructure.

De plus, la qualité du sol de support a un impact sur la dégradation des voies. En effet, il existe une forte corrélation entre la vitesse de dégradation du niveau de la voie et la proportion de particules fines dans le sol de support. Il est donc important d'étudier le comportement du rail dans différentes températures afin de réduire les contraintes dans les rails.

CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET

II. Présentation du projet :

II.1 Introduction :

Le projet de la voie ferrée Khenchela-Aïn Beida (OUM-EL-BOUAGHI) compte parmi les grands chantiers lancés dans la wilaya de Khenchela en 2022. Il est inscrit au programme complémentaire de développement du secteur des transports, compte tenu de son impact sur le développement local et l'emploi dans la région.

II .2 Présentation du site :

La zone d'étude se situe à la limite des deux (02) wilayas, KHENCHELA et OUM EL BOUAGHI. Elle est limitée au nord par la wilaya d'OUM EL BOUAGHI, plus précisément dans la commune de FKIRINA, et au sud par la commune de KHENCHELA, plus précisément par la commune de M'TOUSSA. À l'est, elle est limitée par la commune de AIN TOUILA et à l'ouest par la commune de BAGHAI.



Figure II. 1:Plan de situation de la 〖Zone〗 [1]

II.2.1 Situation géographique :

La zone du projet est située à l'Est du pays, Elle est délimitée par les wilayas suivantes :

- Au nord, par la wilaya d'Oum El Bouaghi;
- Au sud, par la Khenchela ;
- À l'ouest, par les wilayas de Batna ;
- À l'est, par la wilaya de Tébessa

[1] https://fr.wikipedia.org/wiki/Fekirina#/media/Fichier:Dz_-_04_-_Fkirina.svg

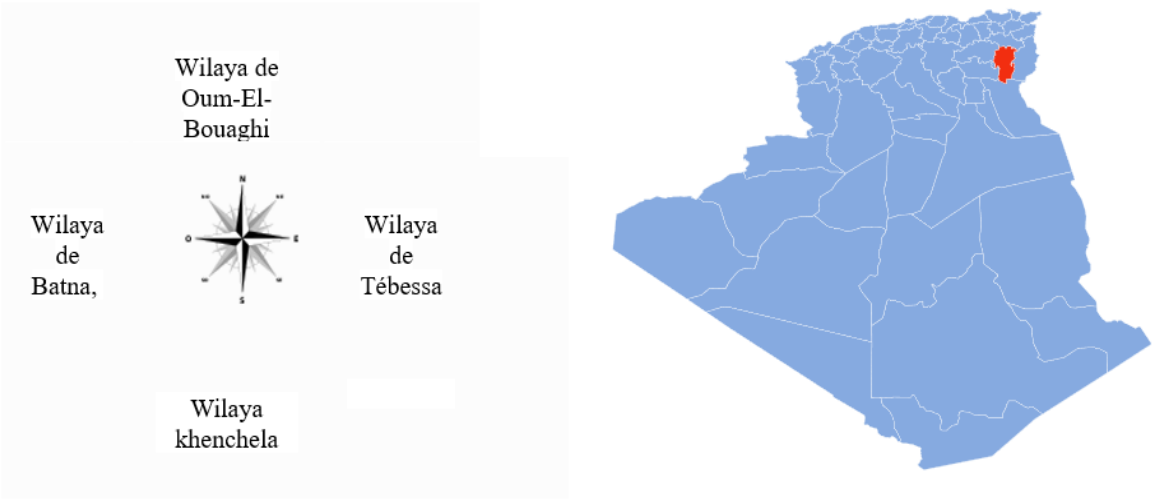


Figure II. 2 : Zone de situation de projet[2]

II.2.2 Relief :

La zone d'étude se situe dans la région de la montagne des Aurès et les vastes plaines de FKIRINA et OUM EL BOUAGHI, à une altitude moyenne de 880 mètres.

II.2.3 Climat :

La région du projet possède un climat tempéré méditerranéen avec une température moyenne est de 23°C et une précipitation moyenne de 145.8mm d'eau de pluie par ans.

II.2.4 Sismicité :

D'après le Règlement parasismique Algérien "RPA 99/version 2003", le territoire national est divisé en cinq (05) régions sismiques. Le projet est situé dans les hauts plateaux où cette zone est classée en faible activité sismique. Il est pris en compte l'accélération sismique de 0,12 g, c'est-à-dire en zone 1.

II.3 Présentation du projet :

Le présent projet a pour objet la construction de la nouvelle ligne ferroviaire Ain-Beida-Khenchela (51 km) dans le cadre de la poursuite de la réalisation de la rocade des hauts plateaux et de ses interconnexions avec la rocade ferroviaire EST et la ligne minière. Le projet Ain-Beida-Khenchela a une longueur de 51 km, allant du pk 0+530 (raccordement de la gare d'Ain-Beida) comme point de départ jusqu'à la future gare voyageurs de Khenchela (site d'El-Hamma) au pk 51+675 m.

[2] https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya_de_Khenchla #/media/Fichier :DZ-04_(2019).svg

Notre étude est définie du Pk 20 m au Pk 30 m, avec l'aménagement de la gare de Fekrina.

II.3.1 Les caractéristiques du projet :

- **Conditions de Base :**

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

- **Caractéristiques de Base :**
- Longueur du tronçon : 10 km
- Caractéristiques géométriques selon les recommandations de la SNTF et les standards
- UIC
- Ligne à voie unique posée sur plate-forme
- Pont rail et pont-route prévus pour double voie
- Trafic mixte voyageurs et marchandises.
- Traction actuellement diesel, avec possibilité de future électrification.
- Ligne sans passage à niveau
- Ligne clôturée de bout en bout.

II.3.1.1 Caractéristiques de la Voie :

- **Ecartement :**

La voie normale sera construite à écartement normal e = 1435 mm sans écartement dans les courbes.

- **Gabarit** : le gabarit à dégager est le gabarit GC l'UIC (y compris future catenaire en 25 KV).
- **Vitesses**

- Vitesse maximale 160 km/h.

- Trafic marchandises en plaine et en zone montagneuse 100 km/h

-Vitesses de branchement dans les appareils de voie :

* UIC-60 300-1:9 50 km/h

* UIC-60 500-1:12 60 km/h

➢ **Charges à l'essieu :**

- Pleine voie : 22.5 t.
- Ouvrages d'art : 25 t.

➢ **Entraxes des voies :**

-L'entraxe des voies est de 4.20 m (sans obstacles dans l'entrevoie), la voie unique étant réalisée à son emplacement définitif ; l'axe de la deuxième voie sera place ultérieurement à 4.20 m de la voie unique.

- **L'entraxe des voies :**

* Voies en gares voyageurs 4.20 m
* voies dans les gares des marchandises 5 m

➢ **La Gare :**

- La longueur utile de la ligne détournée est de 1200 m, tel qu'elle recommander par la SNTF.

II.3.2 Superstructure :

➢ **La Rails :**

En pleine voie et en gares, rail UIC 60 E1.

➢ T**raverse** :

- Traverses bi-bloc en pleine voie et dans voies de gare.
-Traverses en bois pour les appareils de voie.
-traverses bi-bloc pour les tiroirs et voies de service.

➢ **Attache :**

Attaches élastiques type de 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 E1 300-1 :9 avec une vitesse de 50 km/h
- UIC-60 E1 500-1 :12 avec une vitesse de 60 km/h

II .4 Conclusion :

Le pays réalise actuellement un investissement majeur pour la relance de ce secteur, ceci va permettra l'émancipation de nombreuse région qui va sortir en même temps de leur isolement géographique.

III : Superstructure de la voie

III : Superstructure de la voie

III.1 Introduction :

Une voie ferrée est conçue pour assurer un transport sécurisé dans le cadre du développement durable. Pour cela, elle doit supporter le poids des véhicules et répartir cette charge sur le sol, tout en assurant le guidage des roues par les rails. Afin d'atteindre cet objectif, les différents composants du système doivent remplir des fonctions spécifiques au sein de la structure de la voie. Celle-ci se compose de deux sous-structures : les couches d'assise et la plate-forme.

III.2 Les couches d'assise :

Les couches d'assise sont constituées de plusieurs éléments :

III.2.1 Le rail :

Les rails sont des poutres en acier mises bout à bout et posées sur les travers en deux Lignes parallèles afin de constituer la voie ferrée,

Pour favoriser le centrage des roues de traine, Les rails sont généralement inclinés par Rapport au plan de roulement avec une pente de 1/20

Le rail doit assurer les fonctions suivantes :

- Supporter les efforts provoqués par la charge roulante, La voie donc reprend les efforts Verticaux (poids) et horizontaux (force centrifuge) transmis par le train.
- Elle est Également soumise à des efforts longitudinaux (la dilation ou la rétractation des rails, Action d'accélération et de freinage)
- Réaliser le guidage des roues et ces mouvements
- Transmet le courant électrique, pour assurer la signalisation et pour la traction des Traines sur les lignes électrifier.

Les caractéristiques mécaniques et géométriques de la section transversale de rail sont spécialement conçues pour remplir 1,2,3

Pour cela en présente le profil de rail utilisé actuellement (rail VIGNOLE) UIC 60 E1 :

Pour une section transversale d'un rail du type Vignole on distingue :

- 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 au patin Dans notre projet on utilise le rail Vignole du type 60 E1

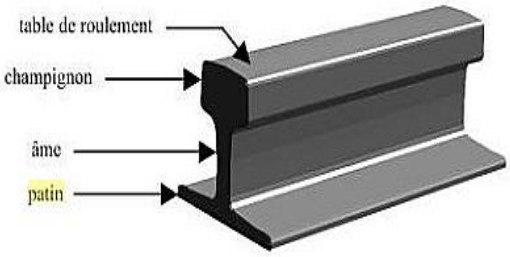


Figure III. 1: les constituant de
La section transversale de 〖rail〗[3]

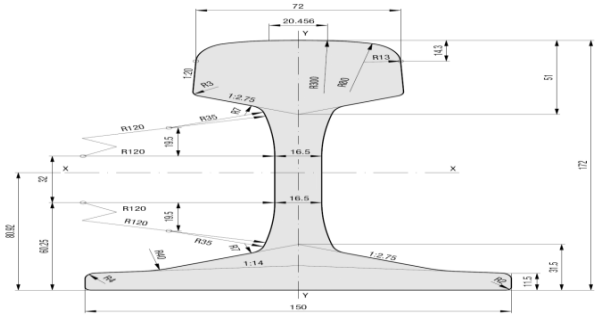


Figure III. 2:Profil rail du type UIC60 〖E1〗[4]

Tableau III- 1:les constituant de la section transversal de 〖Rail〗^4

Caractéristique	Valeur
Masse	60.21 kg/ml
Surface de la section	76.7 cm^2
Hauteur de 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 ≥ 880 N/mm^2
Allongement	R ≥ 10%
Dure dureté au milieu de la table de roulement	260-300 HBW

III.2.1.1 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 reliées solidement à leur extrémité, pour effectuer cette liaison on emploie des éclisses et des soudures

[3] Construction de la LGV V.2 - FreeLUG

[4] Vignole-rail profile (60 E1) [www.voestalpine.com] | Download Scientific Diagram (researchgate.net

1. **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.

2. **Soudures :** Il y a deux types de soudures à savoir :

- La soudure électrique utilisée en atelier ou bien sur place aux niveaux De chantier qui permet de réaliser des longues barres soudées.
- La soudure aluminothermique réalisé en voie par réaction chimique très Exothermique sur une charge de métal d'apport.

Les rails de notre projet sera fourni en barres de 18 m, lesquelles seront soudées électriquement sur chantier pour permettre l'obtention d'une barre continue de longueur de 288 m (dites « LRS »).

Les barres avec 288 m seront transportées et seront liées entre elles par des soudures aluminothermiques en voie.

III.2.2 Les traverses :

En voie ferrées, les rails reposent sur un plancher constituer par les travers, cette dernière Pièce est posée en travers de la voie.

Il ne sera question que des traverses les plus utilisées en Algérie :

- **Les traverses en bois** : utilise généralement au niveau des appareils de voie
- **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).

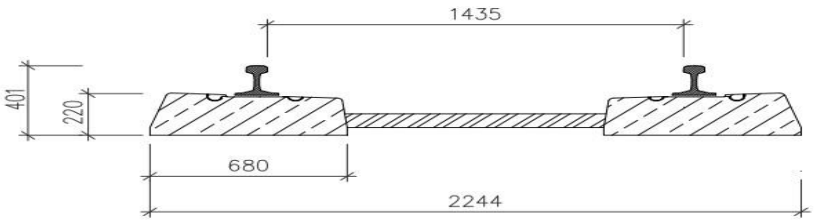


Figure III. 3:Traverse Bibloc[5]

[5] AGENCE NATIONALE D'ETUDES ET DE SUIVI DE LA REALISATION DES INVESTISSEMENTS FERROVIAIRES DIRECTION VOIE OUVRAGE BATIMENT

III.2.2.1 Rôle de traverse :

La transmission des efforts entre le rail et le ballast se fait par cette pièce qui assure en même temps le maintien de l'écartement et l'inclinaison du rail à 1/20.

III.2.3 Les attaches travers-rail :

Elles permettent la fixation du rail sur la traverse par l'intermédiaire du tire-fond. Elles assurent à la fois une élasticité dans les sens vertical et horizontal. Une semelle d'élastomère cannelée de 9 mm d'épaisseur est posée entre le rail et la traverse afin d'assurer l'absorption des vibrations dans les rails

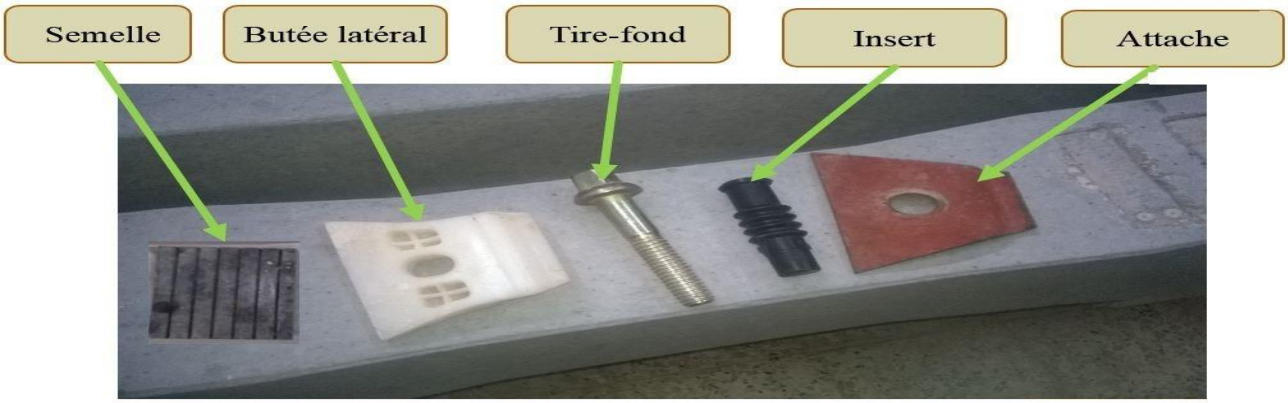


Figure III. 4:les composantes d'attache type nabla[6]

III.2.4 L'appareil de voie :

Pour passer d'une voie à l'autre, il faut implanter des branchements à commande électrique ou manuelle ; ils sont caractérisés par leur angle de déviation au cœur. L'appareil de voie ne peut pas être posé en dévers, et aucune courbe de raccordement n'est possible pour la voie déviée. Le rayon minimum de l'appareil de voie doit être déterminé en fonction de la vitesse souhaitée. Celui-ci est constitué de rails spéciaux (croisement de rail) 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.

[6] http://www.railfasteners.fr/big_img.html?etw_path=http://www.railfasteners.fr/1-4-elastic-railclip.html&big_etw_img=1-rail-fastening/4-4-1b.jpg

- La traversée jonction (qui peut être simple ou double) ou combinaison des deux dernières.
- UIC-60 500-1 :12 avec une vitesse de 60 km/h.

Pour mon projet j'utilise :

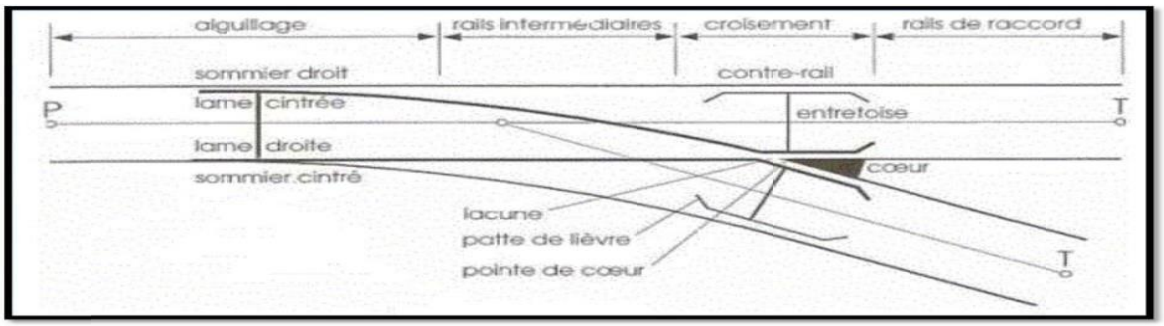


Figure III. 5:Un branchement et ses éléments constitutifs.[7]

Tableau III- 2:: les caractéristiques d'appareils de voie qui j'utilise pour mon projet

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
	190	10.523	17.805	17.805	40

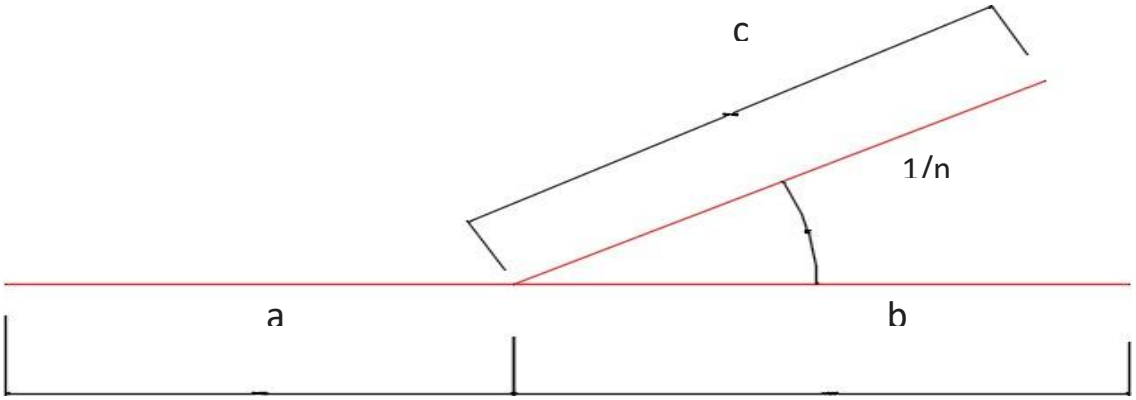


Figure III. 6:schéma illustrative de l'appareil de voie

[7] SNCF 2003, IN2915

Remarque :

Dans le chapitre structure d'assise. Nous allons voire la plateforme, la sous couche, la couche de fondation et le ballast

II.3 Conclusion :

Les couches d'assise de la voie ferrée sont composées de plusieurs éléments importants. Le premier élément est le rail, qui constitue le point de contact initial entre le véhicule et la voie. Sa section géométrique est conçue de manière à assurer une répartition adéquate des contraintes. Le rail a pour rôle principal de guider le train et de répartir la charge sur plusieurs traverses.

Ensuite, nous avons les traverses, qui jouent un rôle essentiel dans la transmission des forces entre le rail et le ballast. Les traverses permettent de transférer efficacement les efforts du rail au ballast, assurant ainsi la stabilité et la résistance appropriées de la voie.

Il est important de souligner que chaque élément des couches d'assise de la voie ferrée joue un rôle spécifique dans le bon fonctionnement de l'ensemble du système. Une conception et une maintenance appropriées de ces éléments sont nécessaires pour assurer la sécurité et l'efficacité du transport ferroviaire.

CHAPITRE IV : TRACE EN PLAN

IV : Tracé en plan

IV.1 Introduction :

La trace en plan d'une voie ferrée est la représentation graphique de sa trajectoire horizontale vue de dessus. Elle est déterminée par la position des rails, leur écartement, le rayon des courbes et la position des aiguillages. La trace en plan permet de situer les voies, les aiguillages, les signaux et autres équipements ferroviaires les uns par rapport aux autres. Elle permet aussi de calculer les distances entre les gares et les temps de parcours. La précision de la trace en plan est essentielle pour assurer la sécurité et l'efficacité de l'exploitation ferroviaire.

Notre projet est caractérisé par deux vitesses :

Vr : vitesse des trains rapides (voyageurs)

Vl : vitesse des trains lents (marchandises)

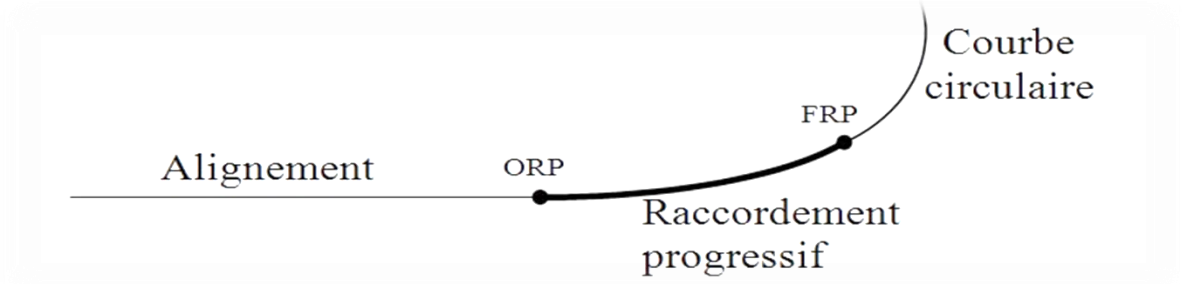


Figure IV. 1: Les éléments du tracé en plan

- Alignement : R = ∞.
- Courbe circulaire (Arc de cercle) : R = Constante.
- Raccordement progressif (Courbe de raccordement) : R =variable.

IV.2 Conditions a respecté dans le tracé en plan :

Pour faire un tracé économique et technique, on doit analyser les facteurs les plus déterminants et respecter les règles suivantes :

- Comme c'est une étude en APD, on ne doit pas sortir du couloir choisi Raccordement à la voie existante au début et fin du projet
- Respecté Le rayon et les longueurs minimum recommandé par la SNTF
- Utiliser le maximum d'alignement.

- Suivre les courbes de niveau afin de diminuer les terrassements
- Eviter le franchissement des oueds et des routes dans la mesure du possible pour éviter les travaux d'ouvrages d'art, dans le cas où on ne peut pas éviter ça, il est préférable que le franchissement se fait perpendiculairement à la ligne d'écoulement des oueds ou bien dans les endroits les plus étroits.
- Eviter les zones où il y a des problèmes géologiques
- Eviter les problèmes des talus :
- Talus en déblai (éviter la présence de nappe, terrains plastiques et la présence de roches fissurées).
- Talus en remblai (éviter les terrains instables et les sols compressibles).

IV.3 Les Elément de tracé en plan

Les éléments de tracé en plan en voie ferrée sont les différentes courbes et lignes droites qui composent la voie. Ils sont conçus pour garantir la sécurité et le confort des trains, en leur permettant de circuler à des vitesses appropriées.

Voici quelques éléments de tracé en plan couramment utilisés en voie ferrée.

IV.3.1 L'alignement :

Un alignement droit est une courbe de rayon infini (R=∞) ; sur le plan technique c'est la meilleure trace qui convient aux voie ferrées (la force centrifuge est nul)

IV.3.2 Arc de cercle :

Comme tout mobile se déplaçant à une certaine vitesse, un train et ses passagers subissent les effets de la force centrifuge Fc= $\frac{mVv^2}{R}$ dans le courbe, cette force peut conduire au déraillement du train et la fatigue de la voie, pour composer cette attraction vers l'extérieur de la courbe, il est nécessaire d'incliner la voie vers l'extérieur, cette différence de niveau entre le Rail extérieur et le rail intérieur d'une même voie s'appelle le divers.

IV.3.2.1 Devers Théorique :

La valeur théorique du dévers qui compense entièrement la force centrifuge est égale à $\frac{11,8V^2}{R}$ mm pour une voie-normale, où 'V est la vitesse en km/h et 'R' le rayon de la courbe en m.

IV.3.2.2 Dévers réel ou pratique :

- **Influence du trafic mixte (voyageurs et marchandises) sur la valeur du dévers :**

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

- **Fixation du dévers Réel :**

  - Une première approche du dévers réel

    0, 5dth <dp <0,7dth

  - La seconde formule pour fixer le dévers réel, prend en considération le coefficient de
  - Divers C.

    Dp= $\frac{1000C}{R}$ <dp (max) ou **C=0 ,006V^2**

    C doit être un multiple de 15

La SNTF a retenu Pour une vitesse V≤200 Km/h

- **Le divers maximal dp(max) en plain courbe :**

  La valeur de divers maximal doit satisfaire la condition suivante :

Tableau IV- 1: Valeurs limites du dévers[8]

Valeur recommandée [mm]	160
Valeur maximale [mm]	180

IV.3.2.3 Insuffisance de divers

Le dévers théorique qui assure l'équilibre de train rapide est supérieur aux dévers pratique, ce qui donne des efforts transversaux non compense qui peuvent présenter un danger au-delà D'une certaine vitesse (déplacement ou dégradation de la voie ou déraillement), Donc on limite la valeur de ces efforts en limitant la valeur de la différence des devers. C'est la limitation de la valeur de l'insuffisance de devers I.

[8] REFERENTIELS TECHNIQUES SNTF

Insuffisance de divers est exprimée par la formule

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

Limitation d'insuffisance de dévers en plain courbe :

La SNTF a retenu pour une vitesse V ≤ 200 km/h

Tableau IV- 2:Valeurs limites de l'insuffisance de dévers[9]

Valeur recommande [mm]	150
Valeur maximale [mm]	160

IV.3.2.4 Excès de devers

Le dévers théorique, qui assure l'équilibre du train à basse vitesse, est inférieur au dévers pratique. Cela entraîne des forces transversales non compensées qui poussent le véhicule vers l'intérieur de la voie. Afin de limiter ces forces, on restreint la différence de dévers. Cela se traduit par une limitation de la valeur de l'excès de dévers E.

Excès de divers est exprimé par la formule :

$$E = dp - dth = dp - \frac{11.8 \times Vm^2 v}{R} < Emax$$

Limitation de l'excès de dévers en plain courbe

La SNTF a retenu Pour une vitesse V≤200 Km/h

Tableau IV- 3:Valeurs limites de l'excès de dévers

Valeur recommande [mm]	**110**
Valeur maximale [mm]	**130**

IV.3.2.5 Rayon minimum de l'arc de cercle :

Pour limiter l'effet de la force centrifuge sur la voie et pour éviter l'usure du rail et assurer le confort des passagers une valeur minimale est admise pour le rayon.

Le divers pour le rayon minimum :

$$d(Rmin) = \frac{Emax.VVoy^2 + Imax.Vmar^2)}{Vvoy^2 - Vmar^2} \leq Dpmax$$

[9] REFERENTIELS TECHNIQUES SNTF

La valeur de rayon minimal est le max entre :

- En fonction de I et Dp ---- (Vitesse voyageurs)

$$Rmin = \frac{11.8 \times Vm^2}{Imax + dp}$$

- En Fonction de E max et Imax

$$\mathbf{Rmin} = \frac{\mathbf{11.8}(\boldsymbol{Vvoy^2 - Vmar^2})}{\boldsymbol{Imax + Emax}}$$

IV.3.3 Courbe de raccordement :

La discontinuité de courbure au point de contact entre une ligne droite et une courbe provoque une accélération transversale instantanée. Ce changement brusque n'est pas souhaitable en termes de confort des passagers et de stabilité du véhicule. Afin de résoudre ce problème, il est nécessaire d'ajouter une transition entre la ligne droite et la courbe, permettant ainsi une variation graduelle de l'accélération.

La clothoïde est l'une des courbes mathématiques choisies car elle répond à cette exigence de variation continue de la courbure. Elle permet d'assurer une transition en douceur entre la ligne droite et la courbe circulaire.

On construit des courbes de raccordement entre :

- Un alignement et une courbe
- Entre deux courbes de même sens avec des rayons différents
- Une courbe et contre courbe

L'emploi des courbes de raccordement se justifier par le calcul de la courbure Δc

Tableau IV- 4:les valeurs de la courbure

Alignement-courbe	$\Delta c = \frac{1000}{R}$
Deux Courbe de même sens avecR1≠R2	Δc=1000/R1-1000/R2
Une courbe et contre courbe	Δc=1000/R1+1000/R2

- Les Courbes de raccordement sont recommandés si
  $\Delta c \geq \frac{2000}{Vmax^2}$
- Les courbes de raccordement sont obligatoires si

Tableau IV- 5: limitation de la courbure

V < 100km/h	$\Delta c \geq \frac{2000}{\text{vmax}^2}$
V ≥ 100km/h	$\Delta c \geq \frac{2000}{\text{Vmax}^2}$

Le calcule Pour mon projet :

Tableau IV- 6: Le calcule Pour le projet

Raccordement recommandé si	$\mathbf{R} \leq \frac{\mathbf{100 \times 160^2}}{\mathbf{2000}} = 12800\text{m}$
Raccordement obligatoire	$\mathbf{R} \leq \frac{\mathbf{100 \times 160^2}}{\mathbf{7000}} = 3657.1\text{m}$

IV.3.3.1 Variation de dévers dans le raccordement :

Pendant son déplacement sur les raccordements, un véhicule subit une rotation progressive autour d'un axe parallèle à celui de la voie, ainsi qu'une flexion limitée grâce à l'action des ressorts de suspension. Par conséquent, il est essentiel de limiter la flexion et la vitesse de rotation afin d'assurer un roulement régulier sur les raccordements.

Dans le cas du raccordement parabolique, le dévers varie progressivement de 0 à dp.

La variation de divers Δd sur la longueur Δl est exprimé par :

$$\frac{\Delta d}{\Delta l} \text{ En (mm/m)}$$

Limite da la variation de divers :

La variation de divers doits satisfaire aux deux conditions suivantes

- **1ère condition :** fonction de la vitesse du mouvement le plus rapide.

Cette torsion ne peut pas dépasser les valeurs ;

Limite da la variation de divers :

La variation de divers doits satisfaire aux deux conditions suivantes

- **1ère condition :** fonction de la vitesse du mouvement le plus rapide.

Cette torsion ne peut pas dépasser les valeurs ;

Tableau IV- 7:Limite de la variation de devers par rapport à la longueur[10]

Valeur maximal normal	**180/Vmax (mm/m)**
Valeur maximal exceptionnelle	**216/Vmax(mm/m)**

Tableau IV- 8:Limite de la variation de devers par rapport au temps[11]

Valeur maximal normal	**50 (mm/s)**
Valeur maximal exceptionnelle	**60(mm/s)**

- **2ème condition :** fonction des valeurs du devers et du rayon de la plein courbe adjacente aux raccordements considérés :

Tableau IV- 9:Limite de variation de divers en fonction de rayon et devers de la courbe

Valeur de dévers en plein courbe	Valeur limite de la variation de dévers
$\mathbf{(R-100)/2 \geq dp \geq (R-150)/2}$	$\frac{\Delta d}{\Delta l} \leq 2\ mm/m$
$\mathbf{(R-150)/2 \geq dp \geq (R-250)/3}$	$\frac{\Delta d}{\Delta l} \leq 3\ mm/m$
$\mathbf{(R-250)/3 \geq dp}$	$\frac{\Delta d}{\Delta l} \leq 4\ mm/m$

Il en résulte pour la longueur de raccordement Lmin :

$Lmin = \frac{dp \times Vmax}{180}$ Et exceptionnellement Lmin = $\frac{dp \times Vmax}{216}$

IV.3.3.2 Variation de l'insuffisance de divers dans le raccordement :

Lorsque le train dépasse sa vitesse d'équilibre, le voyageur ressent l'effet de la force centrifuge non compensée en raison du manque de dévers.

Dans le raccordement parabolique, cette force augmente progressivement et le voyageur s'adapte progressivement, de préférence de manière inconsciente, à l'insuffisance constante de dévers dans la courbe.

[10] REFERENTIELS TECHNIQUES SNTF

[11] REFERENTIELS TECHNIQUES SNTF

Cette variation d'insuffisance, notée ΔI, est mesurée en mm/s par rapport à Δt.

$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{\Delta I}{\frac{\Delta l}{v}}$ en m/s .

V=v/3.6 V en km/h

D'où : $\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{\Delta I}{\Delta L} * \frac{V}{3.6}$

Limite da la variation de l'insuffisance de divers :

Tableau IV- 10:Limite de variation de l'insuffisance de devers dans les raccordements[12]

Valeur limite normale	**75 mm/s**
Valeur limite exceptionnelle	**90m/s**

IV.4 Application au projet :

Application au projet pour R = 1200 m :

- **Dévers théorique** $dth = \frac{11.8 \times vmax^2}{R} = \frac{160^2 \times 11.8}{1200} =$ **251.73 mm.**
- **Le coefficient de dévers :** $C = 0.006 \times V^2_{max} =$ **153.6**

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

$0.5 < \frac{c}{0.0118 \times Vmax^2} \leq 0.7$, alors dans ce cas on prend **c = 165**

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

Dp = 1000× $\frac{C}{R} = 1000 \times \frac{165}{1200} =$ **137 .5 mm.**

On prend **dp = 140 mm**

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

- **Insuffisance de dévers :** $I = dth - dp = 251.73 - 140 =$ **111.73 mm.**
- **Excès de dévers :** $E = dp - \frac{11.8 \times vmar^2}{R} = 110 - \frac{11.8 \times 100^2}{1500} =$ **31.33 mm.**

[12] REFERENTIELS TECHNIQUES SNTF

- **La longueur de clothoïde : Lrp =** $\frac{dp}{\frac{dd}{dl}} = \frac{dp}{\frac{180}{Vmax}} = \frac{140}{1.125} =$ **124.44 mm**

On prend **L_{rp} = 130 mm**

- **Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur :** $\frac{dd}{dl} = \frac{140}{130} =$ **1.07 mm /m**
- **La variation d'insuffisance de dévers :** $\frac{dl}{dt} = \frac{dl}{lrp} \times \frac{Vmax}{3.6} = \frac{111.73 \times 160}{140 \times 3.6} =$ **24.88 mm/s**

Pour R = 1500 m :

- **Dévers théorique** $dth = \frac{11.8 \times vmax^2}{R} = \frac{160^2 \times 11.8}{1500} =$ **201.39 mm.**
- **Le coefficient de dévers :** $C = 0.006 \times V^2_{max} =$ **153.6**

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

$$0.5 < \frac{c}{0.0118 \times Vmax^2} \leq 0.7$$, alors dans ce cas on prend c = 165

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

$Dp = 1000 \times \frac{C}{R} = 1000 \times \frac{165}{1500} =$ **110 mm**

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

- **Insuffisance de dévers :** $I = dth - dp = 201.39 - 110 =$ **91.38 mm**
- **Excès de dévers :** $E = dp - \frac{11.8 \times vmar^2}{R} = 110 - \frac{11.8 \times 100^2}{1500} =$ **31.33 mm**
- **La longueur de clothoïde : Lrp =** $\frac{dp}{\frac{dd}{dl}} = \frac{dp}{\frac{180}{Vmax}} = \frac{110}{1.125} =$ **97.77 mm**

On prend **L_{rp} = 130 mm.**

- **Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur :** $\frac{dd}{dl} = \frac{110}{130} =$ **0.84 mm /m**
- **La variation d'insuffisance de dévers :** $\frac{dl}{dt} = \frac{dl}{lrp} \times \frac{Vmax}{3.6} = \frac{91.38 \times 160}{130 \times 3.6} = 31.24\ mm/s$

Pour R = 1 3000 m :

- **Dévers théorique** $dth = \frac{11.8 \times vmax^2}{R} = \frac{160^2 \times 11.8}{13000} =$ **23.24 mm**

- **Le coefficient de dévers :** $C = 0.006 \times V^2_{max} =$ **153.6**

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

$$0.5 < \frac{c}{0.0118 \times Vmax^2} \leq 0.7,$$ alors dans ce cas on prend c = 165

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

$$Dp = 1000 \times \frac{C}{R} = 1000 \times \frac{165}{13000} = \mathbf{12.69\ mm}$$

On prend **dp = 60 mm**

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

- **Insuffisance de dévers :** $I = dth - dp = 23.24 - 60 =$ **- 36.76 mm**

- **Excès de dévers :** $E = dp - \frac{11.8 \times vmar^2}{R} = 60 - \frac{11.8 \times 100^2}{13000} =$ **50.92 mm.**

- **La longueur de clothoïde :** $Lrp = \frac{dp}{\frac{dd}{dl}} = \frac{dp}{\frac{180}{Vmax}} = \frac{60}{1.125} =$ **53.33 mm**

On prend Lrp = **80 mm**

IV.5 Etude des Contraintes

Dans tout projet, avant d'installer un chantier ou de commencer les travaux, il est nécessaire de procéder à une inspection du site afin d'identifier les contraintes liées aux voiries et réseaux divers (VRD). Ces contraintes sont considérées comme des obstacles à éviter ou à contourner dans les cas inévitables,

Afin d'assurer le bon déroulement des travaux. Dans la section du projet située entre le PK 20+000 et le PK 26+175, qui correspond au dernier tronçon de la ligne ferroviaire envisagée, certains réseaux affectés sont présents le long du parcours. Ces réseaux sont les suivants :

- Lignes électriques
- Gaz
- Piste

Tableau IV-11 : récapitulatif des lignes affectées par le projet.

Nom de contrainte	Type	Quantité	Pk	Déblais/Remblais	Observations
Ligne Electrique BT	Poteau BT	1	Pk 20+650	Remblai	- 7.42 m côté gauche à l'axe de la voie
Ligne Electrique MT	Ligne MT	2	Pk 22+018	Déblai	- 67.73 m côté droit à l'axe de la voie - 31.46 côté gauche à l'axe de la voie
Ligne Electrique MT	Ligne MT	2	Pk 22+700	Remblai	- 46.43 m côté gauche à l'axe de la voie - 121.86 m côté droit à l'axe de la voie
Ligne Electrique BT	Poteau BT	1	Pk 23+280	Remblai	- 4.95 m côté droit à l'axe de la voie
Ligne Electrique BT	Poteau BT	2	Pk 23+445	Remblai	-15.83 m côté droit à l'axe de la voie - 27.94 m côté gauche à l'axe de la voie
Ligne Electrique MT	Poteau BT	1	Pk 26+175	Déblai	- 20.84 côtés droit à l'axe de la voie -91.19 m côté droit à l'axe de la voie

Tableau IV-12 : récapitulatif des conduites de gaz affectées par le projet.

Pk de croisement	Conduite gaz	N° de sondage	Endroit	Profondeur Z(m)
23+120	Diamètre 125	S2	Droit	1.161
		S1	Gauche	1.083

IV.6 Conclusion

On peut conclure que L'étude géométrique du tracé de la voie a pour but d'obtenir un bon roulement des trains qui peuvent atteindre une vitesse de 160 km/h.

On a basé dans le calcul sur les paramètres géométriques et techniques recommandés par l'UIC et les règles de la SNTF.

Dans Après la fin de ce chapitre, nous parlons dans le prochain chapitre à propos de Profil en long

Chapitre V : profile en long

V. profile en long

V.1 Introduction :

La construction du profil en long est une étape cruciale dans l'évaluation d'un projet ferroviaire. Elle permet d'estimer les travaux de terrassement (déblais et remblais), les ouvrages d'art, les tunnels, et bien d'autres éléments essentiels du projet. En analysant le profil en long, on peut évaluer son impact économique global. C'est donc une étape incontournable pour assurer la réussite et la viabilité du projet.

V.2 Définition :

- **Le profil en long du terrain naturel :** est une représentation graphique de la topographie du terrain le long d'un axe vertical donné.

- **Déclivité :** La déclivité est une mesure de la pente d'un terrain. Elle représente l'inclinaison d'une surface par rapport à l'horizontale et est exprimée sous forme de pourcentage, de degré ou en fraction. En cartographie, la déclivité est souvent représentée en utilisant des courbes de niveau.

V.3 Eléments de composition du profil en long :

V.3.1 Choix des alignements droits :

Le profil en long de la voie ferrée est caractérisé par de faibles valeurs de déclivité afin d'assurer des vitesses de circulation appropriées et garantir la sécurité lors des freinages en pente ainsi que le confort au démarrage des véhicules en rampe. La déclivité des sections droites est donc limitée à une valeur maximale fixée par la SNTF.

De plus, pour l'implantation des gares, on utilise généralement des paliers d'une longueur supérieure à 800 m. Dans ce cas, les déclivités maximales suivantes sont généralement adoptées :

- La déclivité de longueur inférieure à 3000 m, ne doit pas dépasser 16‰ et 18 ‰
- La déclivité de longueur comprise entre 3 000 m et 15 000 m, 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 pasdépasser 13‰ et exceptionnellement 15‰

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

- Eviter les terrassements inutiles
- Equilibrer les remblais-déblais
- Minimiser le mouvement des terres
- Eviter d'introduire une pointe basse du profile en long dans une partie de déblais, qui risque de crées de contraintes à savoir :

Celles qui sont liées aux difficultés de terrassement et à l'évacuation des eauxpluviales.

La solution est soit de relever ce point au-dessus du terrain naturel soit d'atténuer les déclivités arrivant de chaque cote de ce point bas.

- Dans les zones inondables, il est obligatoire de passer avec un profil en remblais dont la hauteur est supérieure à NPHE + 0.5m.
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en Déclivité.
- Respecter la longueur minimale des éléments de profile ont en long, Afin d'éviter les

Oscillations des véhicules dues aux variations successives des déclivités.

- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.

Tableau V- 1:les longueurs minimales des éléments de profile en long[13]

Valeur maximal normal	V/2=80
Valeur maximal exceptional	V/2,5=64

Ces éléments de droites font apparaitre des angles dits « saillants » ou « rentrants » qui correspondent aux zones de raccordement par cercle.

V.3.2 Choix des cercles :

Lorsqu'un véhicule rencontre un changement de déclivité, il est soumis à une accélération verticale brusque aux points de transition, ce qui entraîne des oscillations dans la suspension du véhicule et perturbe le confort des passagers Cette accélération est donnée par la formule suivante :

[13] REFERENTIELS TECHNIQUES SNTF

$$Av = \frac{(V/3.6)^2}{3.6 \times Rv}$$

Pour une vitesse inférieure à 220 km/h, la valeur maximale de cette accélération est de 0.22 m/s² (Av ≤ 0.05 g) (exceptionnellement 0.31 m/s²), ce qui est une valeur de confort acceptable. On remplace les valeurs de Av dans la formule :

$$Rv = \frac{(V/3.6)^2}{3.6 \times AV}$$

On trouve :

Tableau V- 2:Valeurs de Rayon vertical minimal[14]

Valeur normal	0.35 V^2
Valeur exceptional	0.25 V^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.4 Application au projet :

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

[14] REFERENTIELS TECHNIQUES SNTF

	Valeur Maximal Normal	Valeur Maximal Exceptional
Vitesse (Km/h)	160	/
Rayon de raccordement en profil minimum (m)	9000	6400
Longueurs minimales des pentes/rampes	80	64
Déclivité maximum des pentes/rampes en pleine voie	16%	
Déclivité maximum des pentes/rampes en gare et évitement	0 ‰	0‰

V.5 Conclusion :

On peut conclure que la construction du profil en long est une étape cruciale pour évaluer un projet ferroviaire, que ce soit du point de vue économique ou technique. Elle permet d'examiner les déclivités, la coordination entre le tracé en plan et le profil en long, ainsi que l'emplacement des gares.

Dans le prochain chapitre, nous aborderons l'étude hydraulique et hydrologique.

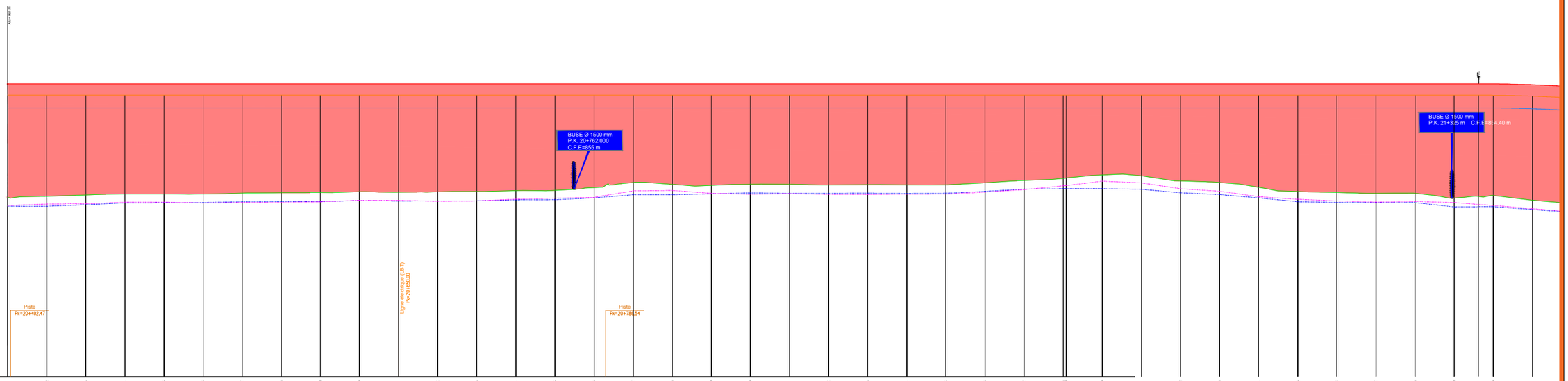
COVADIS

Axe : Axe

Echelle en X : 1/1000

Echelle en Y : 1/100

PC : 843.00 m



Numéro de profils en travers	P01 P02 P03 P04 P05 P06 P07 P08 P09 P10 P11 P12 P13 P14 P15 P16 P17 P18 P19 P20 P21 P22 P23 P24 P25 P26 P27 P28 P29 P30 P31 P32 P33 P34 P35 P36 P37 P38 P39 P40 P41
Altitudes TN	854.48 854.53 854.48 854.48 854.48 854.48 854.48 854.72 854.79 854.77 854.81 854.79 854.79 854.81 854.80 854.79 854.79 854.81 854.79 854.79 854.79

VI : Etude Hydrologique Et Hydraulique

VI. Etude Hydrologique Et Hydraulique

VI.1 Introduction

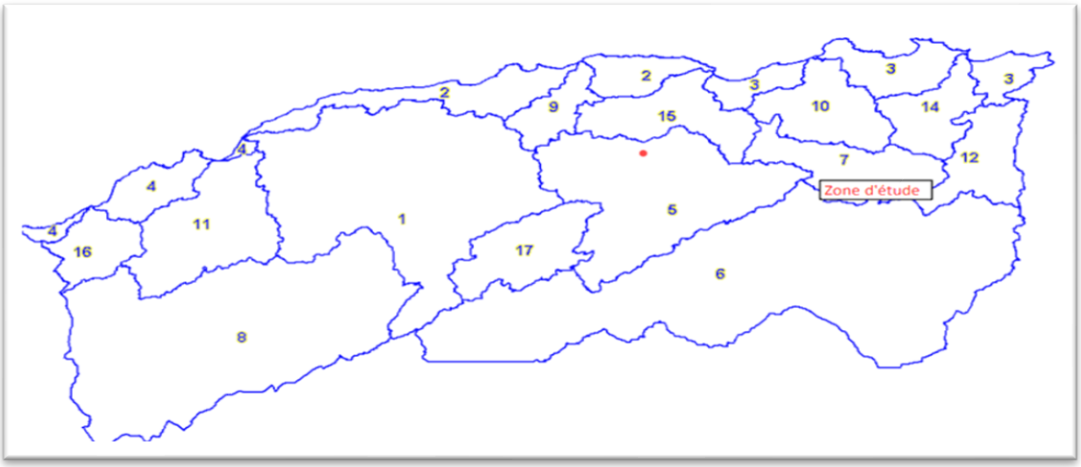
La voie ferrée est une infrastructure linéaire qui modifie les écoulements d'eau naturels existants, provenant des précipitations atmosphériques et des affleurements d'eaux souterraines, en raison des travaux de déblaiement et de remblaiement. Pour protéger la plateforme, il est essentiel d'assurer un bon drainage et une évacuation adéquate des eaux pluviales afin d'éviter les inondations et les accumulations d'eau après les averses.

L'objectif principal de l'étude hydrologique est de fournir les informations hydrologiques nécessaires à la conception de la ligne ferroviaire. Cela implique de délimiter les sous-bassins versants le long du tracé et de comprendre le cours des cours d'eau traversant la zone d'étude. L'étude comprend également une analyse statistique des données pluviométriques disponibles pour la zone d'étude.

En résumé, l'étude hydrologique vise à assurer un bon drainage et une gestion efficace des eaux pluviales le long de la voie ferrée, en prenant en compte les caractéristiques des cours d'eau et les précipitations dans la région.

VI.2 Etude Hydrologique

La nouvelle ligne ferroviaire Ain Beida - Khenchela traverse le grand bassin versant des hauts plateaux constantinois et le sous-bassin Garret et Taraf (Code ANRH : 0707). Ce sous-bassin couvre une superficie de 2 429 km². Il est caractérisé par des hautes plaines qui s'étendent sur de vastes terrains plats. La topographie générale de la région donne une impression de planéité



Figures VI. 1:Zone d'étude dans les hauts plateaux constantinoise et sous-bassin Garret el taref (code ANRH : 0707).

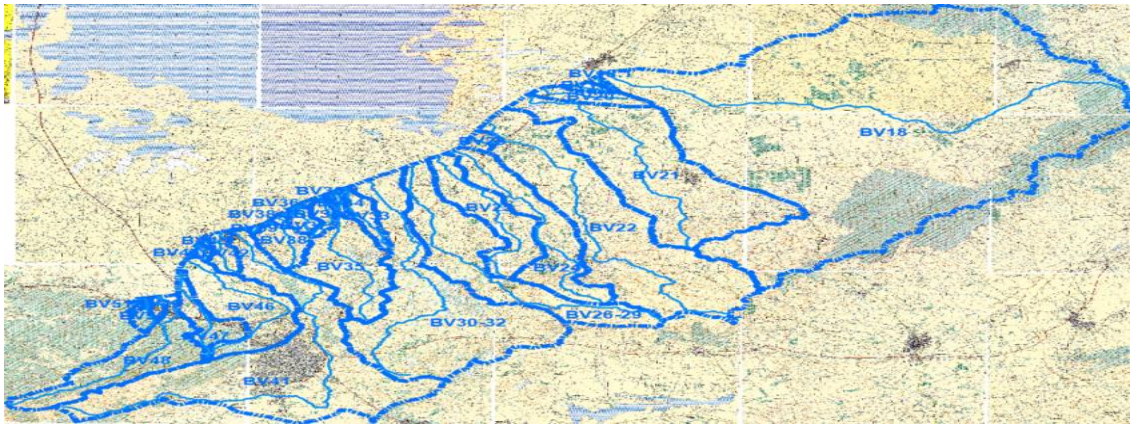
VI.2.1 Caractéristiques morphologiques des bassins versants :

Le bassin versant, situé au niveau d'une section de mesure, correspond à la surface topographique drainée par un cours d'eau et ses affluents en amont de cette section. Chaque bassin versant est séparé des autres par la ligne de partage des eaux, qui est déterminée sur une carte topographique. L'axe du tracé représente la limite opposée du bassin versant.

Pour évaluer les débits de crues, il est nécessaire de déterminer les caractéristiques morphologiques des sous-bassins versants en calculant ou en estimant les paramètres explicatifs. Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques des paramètres des bassins versants des oueds traversant la nouvelle voie ferrée.

Avec :

- S (km^2) : Surface.
- P (km) : Périmètre
- L (km) : Longueur du cours d'eau principal
- K_C : Indice de compacité
- T_C (h) : Temps de concentration en heures
- H_{max} (m) : Altitude max
- Hmin (m) : Altitude min
- H_{moy} (m) : Altitude moyenne
- P (%) : Pente du talweg principal en %.
- C : Coefficient de ruissellement



Figures VI. 2:Capture d'écran de la délimitation des bassins versants d'études sur le fond de cartes 1/25 00

Tableau VI- 1:Caractéristiques morphologiques des bassins versants

N°	BV	PK	Surface km²	Périmètre Km	kc	L Km	Hmax m	Hmin m	Hmoy m	Dh m	PENTE m/m
1	BV18	PK 20+333	320	95.3	1.49	30.78	1388.0	859.4	1124	528,6	0.017
2	BV18.1	PK 20+762	0.579	4.17	1.54	1.507	865.0	859.5	862	5,5	0.004
3	BV19	PK 22+342	1.20	6.28	1.61	1.902	865.0	858.2	862	6,8	0.004
4	BV20	PK 23+537	5.30	12.3	1.49	4.375	872.0	854.1	863	17,9	0.004
5	BV21	PK 24+534	68.7	46.7	1.58	19.39	1210.0	853.9	1032	356,1	0.018
6	BV22	PK 27+510	80.3	58.7	1.83	25.9	1402.0	860.0	1131	542	0.021
7	BV23	PK 29+225	2.01	5.65	1.11	1.44	950.0	858.6	904	91,4	0.063
8	BV24	PK 30+704	28.9	38.7	2.01	18.5	1284.0	859.7	1072	424,3	0.023

VI.2.1.1 Le temps de concentration « tc » :

Le choix des formules de détermination du temps de concentration se fait en fonction de la superficie du bassin versant :

A. Superficie inférieure à 5 km² :

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

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

- **Tc :** Temps de concentration en heure
- **S :** Surface du bassin versant en km²
- **P :** Pente moyenne du bassin versant en (m/m)

B. Superficie comprise entre 5 et 25 Km :

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

$$t_c = 0.11 \frac{\sqrt[3]{S \times l}}{\sqrt{p}}$$

- **L** : Longueur du cours d'eau principal en km
- **S** : Surface du bassin versant en km²
- **P** : Pente moyenne du bassin versant en (m/m).

C. Superficie Supérieur à 200 Km² :

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

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5\,L}{0.8\sqrt{H}}$$

- **L :** Longueur du cours d'eau principal en km
- **S :** Surface du bassin versant en km²
- **H** = hmoy-hmin

VI.2.2 Caractéristiques climatiques et pluviométriques :

VI.2.2.1 Climat :

La région est caractérisée par un climat chaud en été et humide en hiver. Juillet et août sont les mois les plus chauds.

VI.2.2.2 Les précipitations :

Les données de la région d'étude ont été collectées auprès de l'Agence Nationale des Ressources en Eau (ANRE) et de l'Office National de la Météorologie (ONM). Dans cette partie, nous nous concentrons spécifiquement sur :

- Aux pluies annuelles des pluies et ses fluctuations temporelles.
- Aux pluies journalières maximales en tant que facteur déclenchant des crues.

VI.2.2.3 Pluie annuelles :

La pluie annuelle moyenne dans la région est comprise entre 300 et 350 mm d'après la carte Des pluies de l'Algérie du nord de l'ANRH.

Dans le tableau suivant nous présentons les pluies annuelles des stations disponibles dans la région pour différentes fréquences.

Tableau VI- 2:pluies annuelles en (mm)

Période de retour	Fréquence	Khenchela 070703
10ans	0.90	682
20ans	0.95	749
50ans	0.98	830
100ans	0.99	887

VI.2.2.4 Calcul de l'intensité de pluie :

- $\mathbf{I} = \frac{p\,(t)}{t_{c\,(h)}}$
- I : Intensité de la pluie (mm/h).
- T$\boldsymbol{c}$: Temps de concentration(h)
- P(t) : Hauteur de la pluie de durée T$\boldsymbol{c}$, (mm).

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

$I = A T c^{b}$

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

VI.2.3 Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) :

En l'absence de données d'observations suffisantes pour évaluer les débits aux emplacements des passages, des formules empiriques sont utilisées en fonction des précipitations et des caractéristiques physiques des bassins versants. Le débit de conception utilisé pour les calculs hydrauliques afin de déterminer les ouvrages est le débit correspondant à la plus grande crue connue ou d'une fréquence d'au moins cent ans.

A. La méthode rationnelle :

Le débit de crue pour les bassins versants d'une superficie inférieure à 200 km² a été calculé en utilisant la méthode rationnelle, qui s'exprime de la manière suivante :

QA = 0.278 C.I. A

Dans laquelle :

- 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 (km^2).

B. La méthode de TURAZZA :

Cette formule utilise les pluies de courte durée calculée une période de retour et un temps de concentration donnés. On l'utilise pour calculer les débits des bassins versants dont la superficie supérieure à 200 km².

$$Qmax\% = Ptc\ \% * A * C / (3{,}6 * tc)$$

- **Qmax % :** débit de crue de période de retour voulue (en m3/s)
- **Tc :** temps de concentration du bassin (en heures)
- **Ptc % :** pluie de durée **tc** et de période de retour voulue en mm
- **C :** coefficient de ruissellement du bassin.
- **A :** superficie du BV en Km².

- **Le coefficient de ruissellement :**

Le coefficient de ruissellement C signifie le pourcentage des eaux écoulées sur la terre saturée de pluies par rapport à la quantité totale des eaux courantes, il dépend de :

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

$$C = \frac{\text{Hauteur d'eau ruisselèe en (mm)}}{\text{Hauteur d'eauprécipité en (mm)}} \times 100$$

- **Choix du coefficient de ruissellement :**

Le coefficient de ruissellement est estimé par la méthode préconisée de KENESSEY qui est la somme de trois (03) coefficients partiels :

Coefficient C1 : dépendant de la pente du bassin versant.

Tableau VI- 3:Coefficient C1

Pente	C1		
≤ 3,5 %	0,01	0,03	0,05
Entre 3,5 et 11 %	0,06	0,08	0,10
Entre 11 et 35 %	0,12	0,16	0,20
> à 35 %	0,22	0,26	0,30

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

Tableau VI- 4:Coefficient C2

Nature du sol	C2		
Imperméable	0,22	0,26	0,30
Peu perméable	0,10	0,15	0,20
Permeable	0,06	0,08	0,10
Très perméable	0,03	0,04	0,05

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

Tableau VI- 5: Coefficient C3

Couverture végétale	C3		
Rocheux	0,22	0,26	0,30
Prairie	0,17	0,21	0,25
Labors champs	0,07	0,11	0,15
Forte et territoires sableux	0,03	0,04	0,05

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

VI.2.3.1 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 dont la superficie est inférieure ou égale à 200 Km² sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI- 6:Résultats de calcul des débits par la méthode rationnelle

BV	PK	AIRE Km^2	Coefficient de Ruissellement	L Km	DH m	P %	tc h	I100 mm/h	Q100 m^3/s
BV18.1	PK 20+762	0.579	0.61	1.507	5.5	0.004	1.60	26.4	2.6
BV19	PK 22+342	1.2	0.61	1.902	6.8	0.004	2.33	19.9	4.1
BV20	PK 23+537	5.3	0.61	4.375	17.9	0.004	4.57	11.4	10.2
BV23	PK29+225	2.01	0.67	1.44	91.4	0.063	0.72	51.3	19.3
BV24	PK 30+704	28.9	0.61	18.5	424.3	0.023	4.23	13.3	65.1

VI.2.3.2 Résultats de calcul des débits par la méthode de Turazza :

Tableau VI- 7: Résultats de calcul des débits par la méthode Turazza

BV	PK	Ptc (100) (mm)	A(Km^2)	C	Tc (h)	Q100 (m^3/s)
BV18	PK 20+333	22.2	320	0,61	9,05	133.06
BV21	pk 24 +534	22.2	68,7	0,61	5,83	44,3
BV22	pk 27+510	22.2	80,3	0,61	5,67	53,2

VI.3 Etude Hydraulique

VI.3.1 Introduction :

L'eau est un élément qui peut avoir des effets dégradables sur le projet, car il menace le comportement et la vie de la voie ferrée donc le tracé ferroviaire projeté perturbe les écoulements naturels d'eau.

Il est nécessaire pour cela de ne pas leur faire barrage, et de les évacuer vers un exutoire en dehors de l'emprise de la voie.

Méthode utilisée :

- **Méthode de MANNING STRICKLER pour le dimensionnement des dalots :** Les écoulements superficiels interceptés par l'infrastructure ferroviaire seront rétablis par la mise en place d'ouvrages hydrauliques adaptés et réalisés dans les règles de l'art.

Ces ouvrages seront dimensionnés pour un événement pluvieux d'occurrence centennale.
Le calcul de débit de saturation est déterminé par la formule **de MANNING-STRICKLER**

$Qs = V.\ Su$ et $V = Kst\ I^{½}\ Rh^{2/3}$

$$Qs = Kst\ Su\ I^{½}\ Rh^{2/3}$$

- **I :** Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).
- **Rh :** rayon hydraulique $\frac{\text{section mouillé}}{\text{périmetre mouillé}}$
- **St :** Section totale de l'ouvrage (m^2)
- **Su :** Section utile de l'ouvrage b x Hu (m^2).
- **B :** Largeur de l'ouvrage (m)
- **Hu :** Hauteur utile (m)
- **Ks** : Coefficient de rugosité.
  - Ks=**30** en terre
  - Ks=**40** buses métalliques
  - Ks=**50** maçonneries
  - Ks=**70** bétons

Le tirant d'air (différence entre la côte des plus hautes eaux et la côte de l'intrados) doit être ménagé pour laisser le passage des corps flottant détritus, branchages, etc.… qui peuvent au passage sous un ouvrage hydraulique (pont, dalot) s'accrocher et boucher peu à peu les sections d'écoulement.

Pour un canal rectangulaire (dalot), le dimensionnement consiste à déterminer sa section etla profondeur d'eau tout en évitant les ouvrages profonds en tenant compte des contraintes du projet.

- **Pré dimensionnement du dalot :**

$$Rh\ \frac{sm}{sp} = \frac{0.8\ Ht \times l}{1.6\ Ht + L}$$

$$Qa = Qs = Ks\ I^{\frac{1}{2}} \times 0.8\ Ht \times l \times \left(\frac{0.8Ht \times b}{1.6Ht + b}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Ks=70 (béton)

Après calcul itérative. On tire Ht

$$Ht_{i+1} = \left(\frac{Qa}{ks \times I^{\frac{1}{2}} \times L}\right)^{\frac{3}{5}} \times \frac{1+1.6\times\frac{Ht_i}{l}}{0.8}\Big)^{\frac{2}{5}}$$

Le critère d'arrêt $Ht_{i+1} - Ht_i < 10^{-3}$

- **Vérification du régime d'écoulement :**

  Hu=0.8Ht > $\boldsymbol{hc} = \left(\frac{\mathbf{Qa}}{\mathbf{g \times b^2}}\right)^{\frac{1}{3}}$ **;** g=9.81

- **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 < 4 m/s.**

Tableau VI- 8: Liste global des ouvrages à projeter

	exutoire au pk	ouvrage	Ks	Sm	Pm	Rh	I (m/m)	Qs	Débit total à évacuer Qev	Q projet(100) m3/s	Vps = Qs/Sm	Si Q=0.1Qp alors V> 0.6m/s	Si Q=0.01Qps Alors V> 0.3 m/s
BV18	20+333	pont	70	/	/	/	/		287	107			
BV18,1	20+762	buse 1500	70	1,77	4,71	0,38	0,00376	3,96			2,24	1,43	0,72
	21+325	buse1500	70	1,77	4,71	0,38	0,0046	4,38	8,33	2,6	2,47	1,58	0,79
BV19	22+325	2*buse 1200	70	1,13	3,77	0,30	0,0015	1,37	1,09	4,1	1,21	0,78	0,39
BV20	23+719	dalot 3*2	70	4,79	6,19	0,77	0,011	29,65			3,99	2,55	1,28
	23+810	buse 1500	70	1,77	4,71	0,38	0,01	6,45			3,65	2,33	1,17
	23+875	buse1500	70	1,77	4,71	0,38	0,005	4,56	40,66	10,2	2,58	1,65	0,82
BV21	24+038	buse 1500	70	1,77	4,71	0,38	0,01	6,45			3,65	2,33	1,17
	24+220	buse1500	70	1,77	4,71	0,38	0,023	9,79			4,00	2,56	1,28
	24+610	pont	70	/	/		/	/	16,24	44,3	/	/	/
BV22	26+577	buse1500	70	1,77	4,71	0,38	0,0075	5,59			3,16	2,02	1,01
	27+230	buse 1500	70	1,77	4,71	0,38	0,0178	8,61			3,86	2,47	1,24
	27+577	4 dalot 4*2,5	70	8	12	0,67	0,0083	38,93	53,13	53,2	3,99	2,55	1,28
BV23	29+247	2 dalot 3*2	70	4,79	6,19	0,77	0,007	23,65	23,65	19,3	3,98	2,55	1,27

VI.4 Ouvrages d'assainissement longitudinaux

Le drainage longitudinal permet la captation et l'acheminement des eaux qui accèdent à la plateforme de la voie ferrée, venant soit des talus soit des pentes adjacentes. Ce drainage sera formé par fossés et caniveaux qui conduiront les eaux aux ouvrages hydrauliques ou directement aux lignes d'eau existantes.

Pour déterminer les surfaces à drainer on a analysé les profils en travers et les caractéristiques du terrain naturel dans lequel le projet est implanté.

VI.4.1 Eléments de drainage longitudinal

Fossés : En général on peut distinguer trois types de caniveaux en fonction de la situation relative par rapport à la plateforme

-Fossé de pied (remblai / déblai)

-Fossé de crête

VI.5 Critère de dimensionnement de base :

Pour le dimensionnement du drainage longitudinal, nous nous sommes basés sur les critères généraux du Guide Technique Assainissement routier Setra 2006. La période de retour utilisée pour le dimensionnement des éléments de drainage longitudinal est de 10 ans.

Pour calculer le débit, nous avons d'abord calculé le débit de saturation (à pleine section du caniveau), puis le débit nécessaire à évacuer par le caniveau. Pour le premier calcul, nous avons utilisé la formule de Manning-Strickler.

$$Qs = K.\ Rh^{2/3}.\ I^{1/2}.\ Sm$$

Où:

- **Q :** Débit capable en m3/s
- **K :** Coefficient de rugosité ks=70
- **I :** pente du fossé en m/m
- **Rh :** Rayon hydraulique $\mathbf{Rh} = \frac{\mathbf{p_m}}{\mathbf{sm}}$ ($Pm = b+2h.\sqrt{1+z}$)
- **Sm :** Section mouillée en m2 (Sm = (b+2h).h)

Les hypothèses suivantes ont été émises pour le dimensionnement :

- Coefficient de rugosité Strickler Ks = 70 (correspondant à des fossés consolidés, revêtement en béton grossier).

- La déclivité longitudinale des fossés en zone de déblai est identique à celle du profil en long de la voie.
- Forme de construction.
- Profil trapézoïdal avec une pente du talus (H/V) 3/2.
- 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 :

$$Q = 0.278.\ Cr.\ I.\ A$$

- **Q :** Débit de crue correspondant au bassin versant, avec une période de retour T (m^3/s).
- **C :** Coefficient de ruissellement.
- **I :** Intensité de pluie (mm/h).
- **A :** Surface du bassin versant considérer : la plate-forme / les bermes / les talus, en (km^2).

VI.6 Application de notre projet :

Tableau VI- 9:calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblais

		Cas Remblai	Cas déblais
		Le cas plus défavorable : Longueur=1354.28 m Htalus= 6 m Berme = 1.5 m Largeur de la plateforme=6.8 m	**Le cas plus défavorable :** Longueur=1061.26 m Htalus= 4 m Berme = 1.5m Largeur de la plateforme=6.88m
Plateforme	**Cr**	0.85	0.85
	P(m/m)	0.04	0.04
	A(Km^2)	0.0092	0.0080
	Tc(h)	0.279	0.133
	I (mm/h)	67.72	118.05
	Qpf (m^3/s)	0.147	0.224
Talus	**Cr**	0.30	0.30
	P(m/m)	1/2 2/3	2/3
	A(Km^2)	0.01625	0.00795
	Tc(h)	0.311	0.133
	I (mm/h)	62.431	118.055
	QT (m^3/s)	0.085	0.078
BERME	**Cr**	0.30	0.30
	P(m/m)	0.04	0.04
	A(Km^2)	0.0020	0.0016
	Tc(h)	0.109	0.060
	I (mm/h)	137.05	214.46
	P(m/m)	0.023	0.029
Qpf (m^3/s) totale		**Qpf+QB+QT= 0.255**	**Qpf+QB+QT= 0.351**

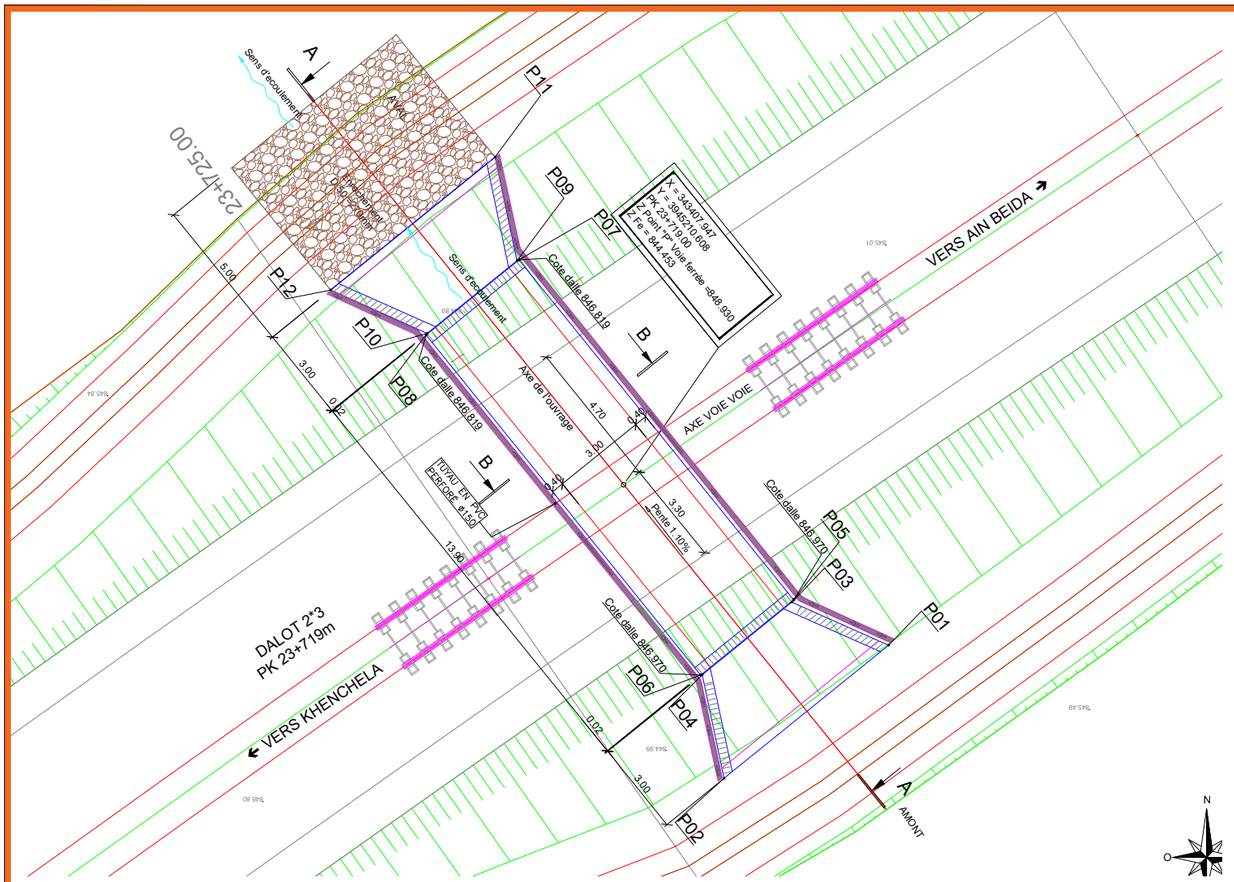




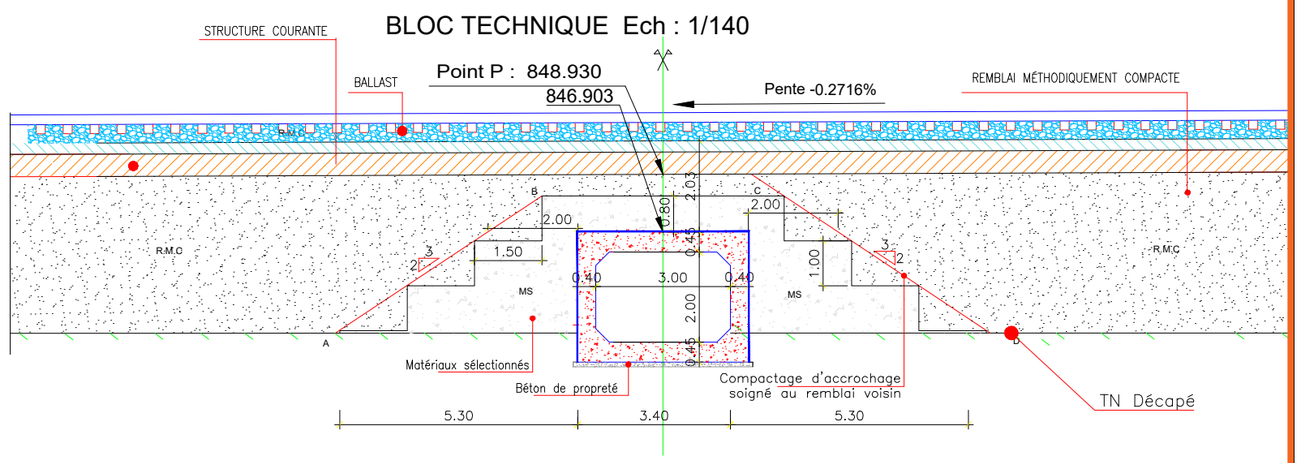
Figures VI. 3:Réalisation de fossé au godet trapèze

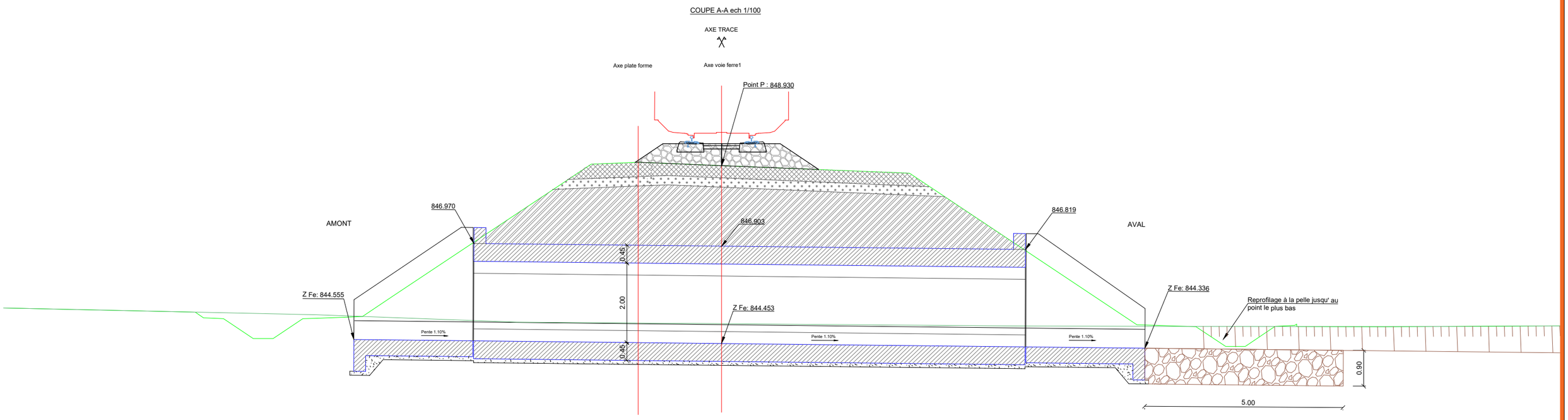
VI.7 Conclusion

Une étude hydraulique approfondie est essentielle dans un projet ferroviaire car elle garantit la durabilité de la voie. En ce qui concerne l'assainissement, les ouvrages hydrauliques ont été conçus avec une marge de dimensionnement supérieure afin de préserver leur longévité et de compenser le manque d'entretien dans notre pays.



COUPE A-A ech 1/100





ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire voie unique Ain bieda-khenchela	DJAALEB larbi	DERRADJI	1/140 1/100	2	2023/2024

Chapitre VII : Etude géotechnique et géologique

VII. Etude géotechnique et géologique

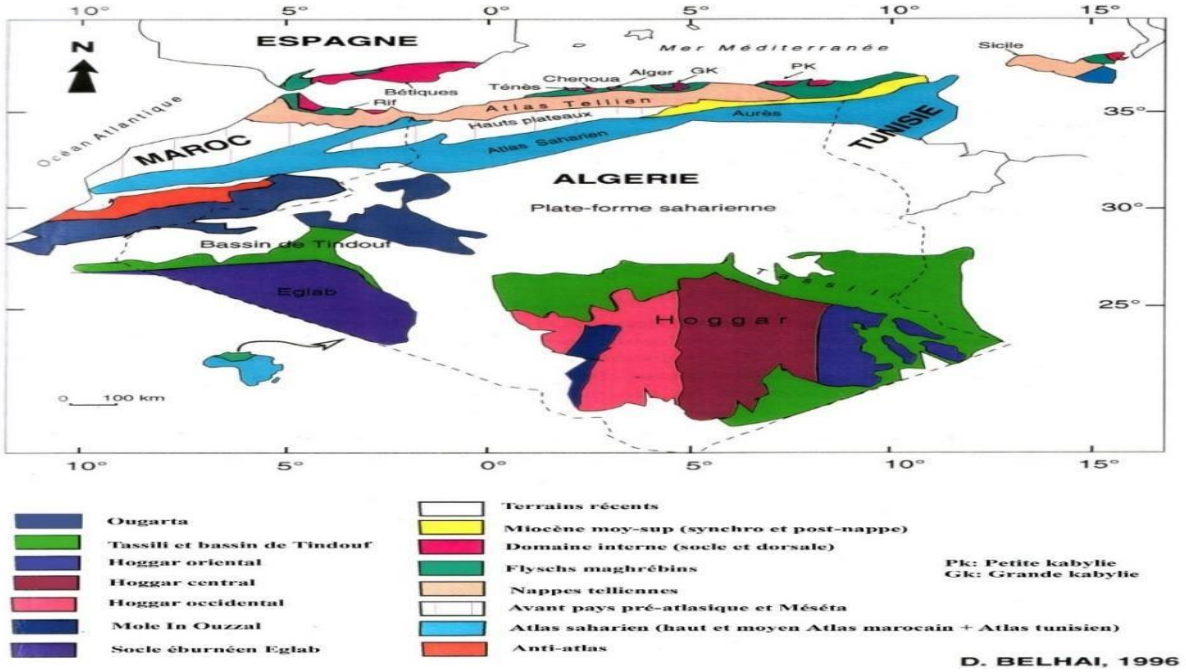
VII.1 L'étude géologiques

VII.1.1 Introductions :

L'étude géologique vise à identifier et à prévenir les risques géologiques potentiels, en mettant l'accent sur l'interaction entre le sol de fondation et la structure de l'ouvrage. Elle se conclut par le dimensionnement des ouvrages afin de garantir leur stabilité face à ces risques.

VII.1.2 Aperçu géologique régionale :

Les terrains traversés par le tracé dans son tronçon 2, du PK 20+000 au PK 30+000 sont des terrains Quaternaire appartenant pour la plupart à la partie Nord de la willaya de Khenchela (voir carte géologique).



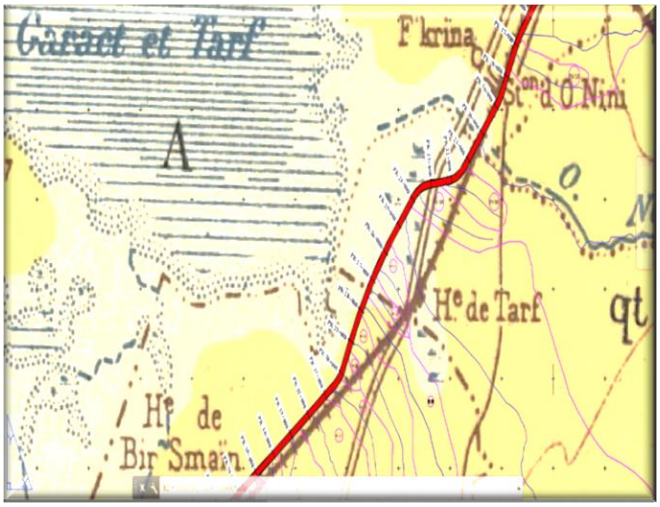
Figures VII. 1: Les chaines montagneuse en Algérie[15]

VII.1.3 Contexte géologique de ce tronçon

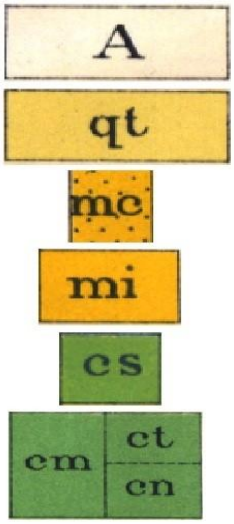
Sur le plan géologique le tracé s'étend généralement sur des roches cohérentes néogènes et des formations quaternaires alluvions actuelle, limons et argiles (sols fins) voir le tableau suivant

[15] La montagne en Algérie : origines, évolutions et disparitions – TRANS Nr. 23 (inst.at)

Cartes géologique Garaet et Taref - F'kirina 1/50000			
Type, Age et symbole de formation			Description lithologique
Terrain sédimentaire	Quaternaire	A	Alluvions actuelles ou récentes
		Q	Limons anciens, Terre arable, Alluvions anciens et Quaternaire indéterminé
		Q^t	Glacé polygénique nappant les reliefs
		Q^c	**Villafranchien** probable : Croûte calcaire massifs
		S	Sebkha



Légende



Alluvions actuelles

Quaternaire continental : alluvions, regs, terrasses

Miocène continental

Miocène inférieur marin (Burdigalien)

Crétacé supérieur marin

cm Crétacé moyen (marin ou lagunaire)
ct Turonien
cn Cénomanien

Figures VII. 2 : portion Carte géologique de la zone d'étude

VII.1.4 Risques géologiques :

- **Séisme :** La carte sismique de l'Algérie indique la répartition des zones sismiques en fonction de l'intensité des tremblements de terre enregistrés. Dans la zone d'étude, le risque sismique est faible (zone I), avec des accélérations sismiques de base variant entre 0,10g m/s2 et 0,25g m/s2.
- **Zone inondable** Les zones les plus problématiques, sujettes à des dommages lors des saisons de crue, ont été identifiées. Ces zones se situent approximativement entre le PK20+000 et le PK21+106, ainsi qu'entre le PK22+000 et le PK24+000, selon l'étude réalisé

➢ **Zone gypseuse :** En se basant sur ces analyses chimiques et sur les visites de site et études géotechniques antérieures (APD), les zones suspectées gypseuses sont les suivantes :

- PK20+355 au 20+365
- PK24+555 au 24+655
- PK26+700 au 26+750.

VII.2 ETUDE GEOTECHNIQUE

VII.2.1 Introduction :

La géotechnique étudie les propriétés physiques et mécaniques des roches et des sols. Elle permet de localiser les différentes couches de sol, d'obtenir des informations sur leurs caractéristiques mécaniques et physiques. Pour réaliser un projet ferroviaire, il est crucial de bien connaître les terrains traversés, ce qui nécessite des études géotechniques.

VII.2.2 Programme d'investigation géotechnique

Après analyse du tracé projeté de la voie ferrée, nous proposons notre plan d'investigation géotechnique le long de la ligne ferroviaire AIN BIEDA-KHENECHELA dont les objectifs sont :

Lot Tracé :

La connaissance des caractéristiques géotechniques et morphologiques du sol est essentielle pour choisir la structure de base appropriée. Il est donc important de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques du sol sur place afin de :

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

Lot Ouvrage :

Il est nécessaire de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques du sol pour la construction d'ouvrages, en particulier pour définir les fondations.

VII.2.2.1 Lot Tracé :

➢ **Reconnaissance de portance de la plate-forme :**

- Puits de reconnaissance :

Les puits de reconnaissance sont des forages qui permettent d'observer directement la nature des formations souterraines, d'évaluer l'épaisseur de la couche de terre végétale à

Enlever et de prélever des échantillons pour une analyse géotechnique en laboratoire.

- **Essai au laboratoire**
- Pour les échantillons prélevés, différents essais sont prévus :
- Des essais d'identification tels que la granulométrie, la sédiment métrie, les limites d'Atterberg, la teneur en eau naturelle, la densité spécifique et l'essai au bleu VBS.
- Des analyses chimiques pour mesurer les sulfates et les carbonates.
- Des essais mécaniques tels que le Proctor modifié, le cisaillement rectiligne et l'essai œdométrique.

Tableau VII-1 : Programme d'investigation géotechnique en section remblai et déblais

Localisation	Type D'ouvrage enterre	Profondeur m	Essai géotechnique Essais in situ	Prof	Essais au laboratoire
20+400	Remblais	5.7 m	- 01 puits de reconnaissance - 01 Sondage carotté	4m 8m	-Essais d'identification CBR -Proctor -Analyses chimiques -Essais œdométriques -Essais cisaillement Rectiligne.
20+762	Remblais	5.2 m	- 01 puits de reconnaissance	4 m	- Essais d'identification CBR - Proctor - Analyses chimiques -Essais œdométriques -Essais cisaillement Rectiligne.

21+325	Remblais	5.7 m	-01 puits de reconnaissance	4 m	- Essais d'identification - CBR - Proctor - Analyses chimiques - Essais œdométriques -Essais cisaillement Rectiligne.
22+325	Remblais	4.3 m	- 01 puits de reconnaissance - 01 Sondage carotté	4 m 10m	- Essais d'identification - CBR - Proctor - Analyses chimiques - Essais œdométriques -Essais cisaillement Rectiligne.
23+720	Remblais	7.3m	- 01 puit de reconnaissance - 01 Sondage carotté	4 m 12m	- Essais d'identification - CBR - Proctor - Analyses chimiques - Essais œdométriques - Essais cisaillement - Rectiligne.

23+810	Remblais	7.1 m	- 01 puit de reconnaissance - 01 Sondage carotté	4 m 10m	-Essai d'identification - CBR - Proctor - Analyses chimiques - Essais œdométriques - Essais cisaillement - Rectiligne
24+031	Remblais	6.4m	- 01 puit de reconnaissance - 01 Sondage carotté	4 m 9.5	- Essais d'identification - CBR - Proctor - Analyses chimiques - Essais œdométriques - Essais cisaillement
24+225	Remblais	5.6 m	- 01 puit de reconnaissance - 0 1 Sondage carotté	5m 9m	- Essais d'identification - CBR - Proctor - Analyses chimiques
24+575	Remblais	6.5 m	- 01 puit de reconnaissance -01 Sondage carotté	5m 13m	- Essais d'identification - CBR - Proctor - Analyses chimiques
24+639	Remblais	6.9m	-01 puit de reconnaissance 1 Sondage carotté	4m 13m	- Essais d'identification - CBR - Proctor - Analyses chimiques

25.175	Déblais	4m	- 01 Puit de reconnaissance - 01 Sondage carotté	4m 12m	- Essais d'identification - CBR - Proctor - Analyses chimiques
25+490	Déblais	3.5 m	-01 puit de reconnaissance - 01 Sondage carotté	4m 12m	- Essais d'identification - CBR - Proctor - Analyses chimiques
26+577	Remblais	6.33 m	01 puit de reconnaissance - 01 Sondage carotté	3m 13m	- Essais d'identification - CBR - Proctor - Analyses chimiques
27+230	Remblais	5.6 m	-01 puit de reconnaissance -01 Sondage carotté	4m 8m	- Essais d'identification - CBR - Proctor - Analyses chimiques
27+577	Remblais	6.52 m	01 puit de reconnaissance - 01 Sondage carotté	4m 14m	- Essais d'identification - CBR - Proctor - Analyses chimiques
28+334	Déblais	6.8 m	- 01 puit de reconnaissance - 01 Sondage carotté	4m 14m	- Essais d'identification - CBR - Proctor - Analyses chimiques
29+246	Remblais	6.9 m	- 01 puit de reconnaissance - 01 Sondage carotté	4m 8.5m	- Essais d'identification - CBR - Proctor - Analyses chimiques

VII.2.2.2 Lot Ouvrage

Afin de collecter les données nécessaires pour la construction des futurs ouvrages d'art, un programme géotechnique sera établi et présenté dans le tableau ci-dessous. Pour cela, il est prévu de réaliser les essais suivants :

-Essais In situ

-Essais de laboratoire

Tableau VII-2 : Programme d'investigation de Lot ouvrage

Localisation	Type d'ouvrage	Essais géotechnique		
		Essais in situ	Prof	Essais au laboratories
20+333	- Passage supérieur (pont rail)a une seule travée de de 60 m	- Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT - essais pressiomètre	5m	- Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - essais cisaillement Rectiligne
24+534	- Passage supérieur (pont rail)a une seule travée de de 60m	- sondage carotté D'avec prélèvement des échantillons intact. - Essai au pénétromètre statique SPT - essais pressiomètre	4.6 m	- Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - essais œdométriques -essais cisaillement rectiligne

Remarque :

Le tracé que j'ai choisi diffère de tracé établi par le bureau d'étude, ce qui donne une différence dans de programme géotechnique. Je vais donc utiliser le programme que ce dernier fait pour interpréter les résultats et dimensionner les couches d'assise.

VII.2.3 campagnes de reconnaissance géotechnique :

La campagne de reconnaissance géotechnique menée dans la zone d'étude objet du présent rapport a comporté l'exécution des sondages et essais in-situ suivants :

- Neuf (09) sondages carottés notés, respectivement, SC-OB-09-14, SC-OB-10-14, SC-OB-11-14, SC-OB-12-14 et SC-OB-13-14 (réalisés en phase APS du projet) et SC-01

- Et SC-02 (réalisés en phase APD du projet) et neuf (09) autre sondages complémentaires notés, respectivement, SC 02C, SC 03C, SC 04C, SC 20C, SC 05C, SC 21C, SC 20C, SC 07 et SC 08C réalisés en phase d'exécution de 15.00m de profondeur chacun avec prélèvements d'échantillons intacts et remaniés pour des essais de laboratoire ;

VII.2.3.1 Les résultats des essais in-situ :

A. Puits de reconnaissance

Les puits de reconnaissance sont des forages réalisés à l'aide de pelles mécaniques, atteignant des profondeurs allant jusqu'à 4 mètres, dans le but de collecter des échantillons de sol et d'obtenir des informations sur la composition géologique ainsi que l'épaisseur de la couche de terre végétale. Des tests en laboratoire sont ensuite effectués pour évaluer les propriétés du sol et sa capacité de charge.

Tableau VII-3 : Les résultats des puits (PR) effectués

Puit N°	Profondeur	PK de l'axe	Granularité			Limite Atterberg		Proctor modifier		VBS	Teneur en eau naturelle	Indice CBR	Classification	
			D_{max} (mm)	2mm	80µ	Wl %	IP	POPM (t/m^3)	WOPM%				GTR	UIC719
PR01C	0.00–3.00	20+150	5	99.65	79.03	45.39	18.99	1.68	1.82	-	-	-	A2ts	QS1
PR16C	0.00–3.00	20+550	5	99.66	79.18	45.55	19.17	1.68	18.2	-	-	-	A2ts	QS1
PR17C	0.00–3.00	20+950	5	99.71	70.48	38.69	18.69	1.88	11.7	-	-	-	A2ts	QS1
PU-OB-14-14	0,20-3,00	21+300	5	91	66	44	22	1.75	14.14	3.54	16.2	1.6	A2s	QS1
PR18C	0.00–3.00	21+700	5	99.83	71.2	31.07	14.64	1.66	12.2	3.25	-	1.4	A2ts	QS1
PR19C	0.00–3.00	22+050	2	100	69.85	37.59	17.6	1.64	13.8	3.22	-	2.9	A2ts	QS1
PU-OB-15-14	1.00–3.00	22+349	0.2	100	78	49	24	1.71	13.37	4.2	16.5	2.46	A2s	QS1
PR02C	0.00–3.00	22+500	5	97.85	7.63	35.38	10.83	1.64	20.6	2.6	-		A1	QS1
PR20C	0.00–3.00	22+900	5	98.15	69.85	37.69	17.44	1.63	14	2.5	-	2.9	A1	QS1
PR21C	0.00–3.00	23+300	2	100	72.1	69.98	49.24	1.9	13.6	2.5	-	-	A1	QS0
PU-OB-16-14	1.00–3.00	23+701	0.2	99	79	42	21	1.75	13.65	4.15	21.5	2.68	A2h	QS0
PU-OB-17-14	0.20–3.00	24+022	0.4	97	69	46	23	1.75	15.73	4.57	17.5	3.53	A2s	QS1
PR03C	0.00–3.00	24+600	31.5	75.99	53.24	37.03	15.58	1.63	11.13	2.82		1	-	-
PU-OB-18-14	1.00–3.00	24+617	0.1	100	95	59	29	1.64	19.06	6.42	25.8	4.26	A3m	QS0
PR22C	0.00–3.00	25+000	10	92.78	75.62	36.96	15.54	1.62	11.5	2.8	-	-	A2ts	QS1
PU-OB-19-14	0.20–3.00	25+300	0.3	100	78	45	22	1.74	15.53	48.84	15.5	2.16	A2s	QS1
PR23C	0.00–3.00	25+700	5	99.83	80.88	44.66	21.69	1.67	14.2	3.83	-	1	A2ts	QS1
PR24C	0.00–3.00	26+050	2	100	78.89	37.58	17.6	1.68	11.6	3.58	-	-	A2ts	QS1
PU-OB-20-14	0.20–3.00	26+400	0.3	99	75	47	24	1.73	16.31	4.85	12.9	3.41	A2ts	QS1
PR04C	0.00–3.00	26+600	5	99.9	74.11	38.09	22.79	1.72	14	-	-	-	-	QS1

PU03	**0.00–4.00**	26+756	-	-	76	51	26	-	-	3.16	15.26		A3ts	QS0
PR25C	**0.00–3.00**	27+000	2	100	74.38	42.16	19.65	1.78	13.7	2.05	-	1	A1ts	QS1
PU04	**0.00–4.00**	27+350		89	53	27		2.9	15.12	-	-	-	A3ts	QS0
PR05C	**0.00–3.00**	27+600	5	99.5	51.78	-	1.89	11.6	3.08	-	-	3	-	QS1
PR26C	**0.00–3.00**	28+000	5	99.79	87	48.49	24.75	1.7	17.7	3.2	-	-	A2	QS0
PU-OB-21-14	**0.20–2.00**	28+206	0.5	100	49	33	17	1.85	11.91	2.05	9.1	11.46	A1	QS1
PR27C	**0.00–3.00**	28+600	10	99.46	68	39.53	21.59	1.81	14.3	3.5	-	-	-	QS1
PU-OB-24-14	**1.20–3.00**	29+300	0.1	100	91	12.4	19	1.85	11.25	3.09	12.4	1.96	A2	QS1
PR28C	**0.00–3.00**	29+700	5	99.8	87.47	48.38	29.29	1.83	1.73	2.03	-	-	-	QS0
PR29C	**0.00–3.00**	30+000	2	100	76	50.73	31.74	1.82	16.9	2.03	-	-	-	QS0

B. Sondages carottés (S)

Dans la plupart des cas, les sondages ont été effectués dans le but de déterminer les caractéristiques géologiques et géotechniques des sols, et de fournir des informations supplémentaires sur les terrains existants. Ci-dessous, vous trouverez la lithologie des sondages carottés réalisés.

TableauVII-4 : Synthèse des résultats des essais d'identification physique (sondage carotté)

N ° forage	Profondeur	Densité (t/ m^3)		Granularité	W	Limites Atterberg (%)		Cisaillement			Oedométrie			RC (Bar)	Analyses chimiques					Classification	
		Yd (t/m^3)	Yh (t/m^3)	<80 pm	%	Wl	IP	Type	C (bars)	Φ> (°)	Pc	Cc	Cg		SO_4	$Caco_3$	Cl^-	VBS	GYPSE	GTR	UIC
SC02C PK 20+250	2,00-2,40	1,78	2,1		17,8	55, 07	31,71	-	-	-	-	-	-	-	1,4	20,94		-	22,25	A3s	QS0
	5,00-5,45	1,96	2,26	86,05	15,5	56,93	33,68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		A3s	QS0
	9,00-10,0	1,76	2,1	96,16	18 ,8 8	57,27	32,74	CD	0,3	22, 86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A3s	QS0
	13,0-13,6	2,05	2,22	89,34	7,8 7	35	20, 34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		A2s	QS1
SCOB-0914 PK 20+361	3,65-3,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,96	6, 6	29,6	53, 7	4,31		-	-
	6,60-6,90	1,62	1,97	84	21, 8	51	26	UU	0,625	15	1,2 6	0,1 6	0,0 31	-	7,63	31,2	53, 3	-		A3m	QS0
	8,70-9,00	1,81	2,11	71	16, 3 4	28	14	UU	0,10 7	22	1,3 3	0, 0 9	0,0 13	-	-	-	-	-		A2th	QS0
SC03C PK 22+325	1,00 -1,30	1,88	2,14	71,8	13, 6 3	53,84	30, 79	-	-	-	0,3 5	0,0 9 8	0,0 13	-	-	-	-	-	-	A3ts	QS0
	4,60-5 ,00	1,72	2,07	91,82	20 ,15	61,85	35,65	-	-	-	2,4	0,0 89	0,0 11	-	-	-	-	-	-	A3s	QS0
	6,00-6,45	1,74	2,06	98,1	18, 16	48,2	24, 46	CD	0,5	36, 2 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A2s	QS1
	11,6-12,0	1,98	2,14	70,69	8,1 4	33,83	18,49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A2s	QS
SC-OB-10-14 PK 23+095	230-2,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,09	Traces	36,8	58 ,1	-	-	-	-
	4,70-5, 20	1,57	1,92	100	22, 11	53	26	UU	0,173	13	1,8 8	0,1 77	0,0 3	-	Traces	37,6	57 ,9	-	-	A3s	QS0
	6,90-7,30	1,63	1,99	100	22, 3 8	71	36	UU	0,359	2	4,4 6	0,1 8 1	0,0 53	-	-	-	-	-	-	A3ts	QS0

SC04C PK 23+875	1,60-2, 00	1, 93	2,06	85,13	12, 51	45,8	25, 58	UU	0,6	10	-	-	-	-	2, 4	-	-	-	4,3	A3s	QS0
	4,00-4 ,35	1,75	2,03	94,19	16, 2 4	54	32, 61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A3s	QS0
	9,00-9,35	1,91	2,13	78,8	11, 3 5	28,2	15, 35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Am	QS1
	14,0 - 14,5	2,12	2,12	94,8 7	12 ,42	39	22, 39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Am	QS1
SC-OB-11-14 PK 24+597	2,25- 2,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,16	-	-	-	3,86	-	-	-
	6,60-7,00	1,63	2,01	89	12, 3 2	70	36	UU	0,59	4	2,3 8	0,1 77	0,0 46	-	Traces	38, 93	53 3	-	-	A3ts	QS0
	7,50 - 8,00	1,8	2,12	100	17 ,6 4	37	18	UU	0,10 5	17	1,6	0,1 29	0,0 28	-	-	-	-	-	-	A2m	QS1
SC05C PK 24+650	2,00-2,40	-	1,97	92,06	23, 8 4	64,82	37,87	UU	1, 6	5,0 2	-	-	-	-	0,77	16,74		-	1,38	A3m	QS0
	5,00-5,45	-	1,97	89,19	24, 14	59,01	35,36				-	-	-	-	-	-	-	-	-	A3h	QS0
	9,50-10,0	-	2,11	96,36	20, 32	56, 95	35,12	CD	1	19, 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A3m	QS0
	13,0-13,6	-	2,21	90,5	11, 6	37,22	21,35				-	-	-	-	-	-	-	-	-	A2s	QS1
S C 2 1C P K 2 5 + 5 2 5	1,00-1,45	1,88	2,1	79,45	11, 97	43,14	23,96	CD	0,4	26, 56	-	-	-	-	1, 9 5	28,09	-	4,7	3,5	A2m	QS1
		1,93	2,15	76,48	11, 45	45,83	25,61	CD	0,6	27, 36	-	-	-	-	2, 2 9	285	-	4,43	4,11	As	QS0
	5,50-5,95	1,88	2,12	77,25	12 ,37	40,78	23,44	-	-	-	-	-	-	-	1, 4 9	24,82	-	-	2,68	A2 m	QS1
	9,00-9,40	1,83	2,06	78,79	12 ,42	47,12	32,07	-	-	-	2,1 5	0,1 8 7	0,2	-	-	-	-	-	-	As	QS0
	12 ,0-12,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-
S C 2 0 C P K 2 6 + 5 0 0	1,00-1,50	1,86	2,1	76,38	11, 32	44,05	24,88	-	-	-	0,5 6	0, 10 8	0,0 06	-	0, 3	-	-	-	0,54	A2s	QS1
	5,00-5,45	1,81	2,05	78,92	14, 04	47,4	31,88	-	-	-	1,3 6	0,1 74	0,0 18	-	-	-	-	-	-	A3 m	QS0
	9,00-10,0	1,88	2,13	80,06	13 ,4	43,16	24,35	-	-	-				-	-	-	-	-	-	A2s	QS1
	13,0-13,6	1,85	2,09	89,91	16 ,82	42,2	25,79	-	-	-	3,4	0,1 68	0,0 21	-	-	-	-	-	-	A3h	QS0
S C- OB-12 - 14 P K2 6 + 7 5 6	2,60-2,90	1,69	1,92	83	13 ,68	44	23	UU	0,408	1	0,2 7	0,2 11	0,0 25	-	Traces	35,88	56 ,7	3,42	-	A2s	QS1
	4,70-5,00	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6,50-6,80	1,72	2	82	16 ,31	45	22	UU	0,43 9	6	2,0 1	0,0 017 6	0,0 2 5	-	-	-	-	-	-	A2s	QS1
SC-OB-13-14 PK 27+350	2,60-2,90	1,77	2,09	80	18 ,65	43	21	UU	0,136	7	0,5 6	0,1 4	0,0 28	-	Traces	35,88	56 ,1	-	-	Am	QS1
	4,30-4,60	1,73	2,06	82	18 ,84	47	23	UU	0,392	15	2,0 7	0,1 81	0,0 31	-	Traces	34,35	57 ,6	-	-	A2s	QS1
	7,50-8,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,12	-	-	-	-	-	-	-
SC01 PK 27+514	1,50 -2,00	1,74	2,09	97	19 ,87	52	26	UU	0,41	11	1,3 9	0,1 7 65	5,7 3	-	-	-	-	-	-	A3s	QS0
	4,80-5,00	1,74	2,07	86	18 ,95	56	27	-	-	-	-	-	-	-	0,27	44,8	0,3 1	-	4,83	A3ts	QS0
	8,00-8,50	1,74	2,1	90	20 ,43	53	27	UU	0,32	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A3s	QS0
SC06C PK 27+582	1,20-1,60	1,88	2,15	74,6	14 ,33	37,5	24,68	CD	28	31, 6	0,5 7	0,0 7	0,0 0 6	-	2,52	30,07		7,12	4,51	A2th	QS1
	4,30-4,70	1,85	2,15	82,74	16 ,09	39	28,73				1,5 6	0,1 31	0,0 12	-	-	-	-	-	-	A3th	QS0
	7,00-7,80	1, 9	2,17	68,04	13 ,99	35,5	18, 97	CD	15	33	2,5	0, 09 2	0,0 11	-	-	-	-	-	-	A2m	QS1
	14,3-14,7	1,76	2,08	78,92	18 ,07	24,1	17, 18	-	-	-	1,2 6	0,0 92	0,0 0 07	-	-	-	-	-	-	A2th	QS1

SC07C PK 28+400	2,50-3,00	1,86	2,09	64,98	12,4	38,5	21,13	UU	14	30	-	-	-	-	0,08	24,54	-	5,65	0 ,15	A2 s	QS1
	5,25-5,80	1,87	2,09	82,14	11,48	33	14,24	UU	17	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A2ts	QS1
	10,6-10,9	1,78	2,19	77,81	10,75	38	20,08	CD	103	19	1,92	0,128	0,019	-	0,88	27,78	-	-	1,8	A2ts	QS1
	14 ,15-14 ,45	1,92	2,15	74,77	11,79	3, 8	35,52				2,75	0,139	0,022	-	-	-	-	-	-	A3th	QS0
SC02 PK 29+351	1,50-2,00	1,1	2,04	91	19,2	53	26	CD	0,39	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A3s	QS0
	5,45-6,00	1,71	2,05	79	19 ,64	45	22	UU	0,35	19	1,42	0,2465	2,8	-	0 ,19	37,6	0,24	-	3,4	A2ts	QS1
	8,00-,60	1,5	1,97	70	19,33	45	23	-	-	-	1,42	0,2798	3,19	-	-	-	-	-	-	A2m	QS1
S C08C PK 29+575	1,75-2,00	-	2,15	9,57	16,05	43,9 8	22,79	-	-	-	-	-	-		0,7	37	-	-	1,26	A2h	QS1
	6,40-6,70	-	2,09	90,21	18 ,33	44,8 3	27,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A3m	QS0
	11,5-12,0	-	1,98	90,6	24 ,22	42,9	24,61	CD	0,7	19,87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A2m	QS1
	14,0-14,50	-	2,03	90,76	20 ,66	29,63	11,19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A1s	QS0

C. Sondages pressiométriques

Les résultats des sondages pressiométriques sont synthétisés dans les tableaux suivants.

TableauVII-5 : Synthèse des résultats des sondages pressiométriques

N°	Prof (m)	E (bars)	PL (bars)	E/ PL	Interpretation
SP-06 PK20+300	1,5	99,56	9,21	10,81	**Normalement-consolidé**
	3	112,26	10,41	10,78	
	4,5	180,21	17,58	10,25	
	6	230,1	20	11,51	
	7,5	277,21	27,39	10,12	
	9	308,99	28	11,04	
	10,5	332,54	29,68	11,20	
	12	341,21	31,21	10,93	
	10,5	341,21	30,21	11,29	
	12	349,88	31,59	11,08	
	13,5	380,32	32,16	11,83	
SP-08 PK23+095	1,5	99,65	8,55	11,65	**Normalement-consolidé**
	3	118,98	11,95	9,96	
	4,5	188,33	16,2	11,63	
	6	242,44	21,02	11,53	
	7,5	280	27,03	10,36	
	9	305,22	28	10,90	
	10,5	345,66	28,99	11,92	
	12	330,21	30,5	10,83	
	7,5	288	27,33	10,54	
	9	310,22	27,41	11,32	
	10,5	344,21	29	11,87	
	12	322,29	30	10,74	

SP-10 PK24+597	1,5	93,65	8,88	10,55	**Normalement-consolidé**
	3	125,55	12,02	10,45	
	4,5	182,1	16,22	11,23	
	6	255,65	24,1	10,61	
	7,5	291,34	27,53	10,58	
	9	315,3	29,01	10,87	
	10,5	345,66	30	11,52	
	12	335,88	30,22	11,11	
SP-11 27+514	1,5	103,22	10	10,32	**Normalement-consolidé**
	3	122,45	12	10,20	
	4,5	192,32	18	10,68	
	6	250	23,88	10,47	
	7,5	290,99	27,93	10,42	
	9	320,55	29,1	11,02	
	10,5	344,1	29,65	11,61	
	12	341,22	31,12	10,96	

N°	Prof (m)	E (bars)	PL (bars)	E/ PL	Interpretation
SP 02C 20+425	1	221	8,33	26,53	**Sur-consolidé**
	2	142	9,24	15,37	
	3	75,1	7,98	9,41	**Normalement -consolidé**
	4	86,6	8,12	10,67	
	5	116	8,9	13,03	
	6	109	9,21	11,83	
	7	129	9,1	14,18	
	8	93,4	9,31	10,03	
	9	210	14,7	14,29	**Sur-consolidé**
	10	269	17,1	15,73	
	11	287	15	19,13	
	12	142	9,64	14,73	
	13	143	10,3	13,88	
	14	211	13,3	15,86	
	15	170	13,3	12,78	

N°	Prof. (m)	E (bars)	PL (bars)	E/ PL	Interpretation
SP 03C 23+718	1	91,15	7,22	12,62	**Normalement-consolidé**
	2	67,52	6,95	9,72	
	3	138,6	7,23	19,17	**Sur-consolidé**
	4	127,3	8,63	14,75	
	5	127,3	8,66	14,70	
	6	130,2	10,28	12,67	**Normalement-consolidé**
	7	130,2	13,23	9,84	
	8	271,3	18,96	14,31	
	9	201,3	21,87	9,20	
	10	1457	17,92	81,31	
	11	285,6	24,1	11,85	
	12	326,7	25,47	12,83	
	13	184,1	11,55	15,94	
	14	350,7	26,73	13,12	
	15	442,8	32,06	13,81	

N°	Prof (m)	E (bars)	PL (bars)	E/ PL	Interpretation
SP 04C 24+038	1	492	15,9	30,94	Sur-consolidé
	2	242	9,77	24,77	
	3	246	8,77	28,05	
	4	77,6	8,16	9,51	Normalement-consolidé
	5	77,6	8,12	9,56	
	6	176	10,9	16,15	Sur-consolidé
	7	188	13,2	14,24	
	8	248	13,9	17,84	
	9	328	13,6	24,12	
	10	322	14,4	22,36	
	11	214	16,8	12,74	
	12	279	16,1	17,33	
	13	382	20,1	19,00	
	14	195	20,8	9,38	
	15	2080	49	42,45	

N°	Prof. (m)	E(bars)	PL (bars)	E/ PL	Interpretation
SP 05C 25+582	1	287	15	19,13	Sur-consolidé
	2	362	12,9	28,06	
	3	510	13,1	38,93	
	4	175	9,3	18,82	
	5	147	9,73	15,11	Normalement-Consolidé
	6	41,4	2,76	15,00	
	7	39	2,7	14,44	
	8	358	13,8	25,94	Sur-consolidé
	9	252	13,5	18,67	
	10	43,4	11,8	3,68	Sous-consolidé
	11	296	11,9	24,87	Sur-consolidé
	12	396	14	28,29	
	13	541	14	38,64	
	14	84,6	10,5	8,06	Sous-consolidé
	15	85,6	10,6	8,08	

N°	Prof (m)	E (bars)	PL (bars)	E/ PL	Interpretation
SP06C 28+984	1	194	14	13,86	Normalement-consolidé
	2	148	14,2	10,42	
	3	170	15,1	11,26	
	4	263	9	29,22	Sur-consolidé
	5	263	9,09	28,93	
	6	212	7,98	26,57	
	7	196	14,5	13,52	
	8	205	10,2	20,10	
	9	211	10,2	20,69	
	10	216	10	21,60	
	11	245	15,9	15,41	
	12	240	16	15,00	
	13	321	24,9	12,89	

	14	438	20	
	15	700	21,6	

N°	Prof (m)	E (bars)	PL (bars)	E/ PL	Interpretation
SP 07C 29+241	1	263	16,2	16,23	Sur-consolidé
	2	533	15,7	33,95	
	3	152	15,5	9,81	Sous-consolidé
	4	59,3	9,93	5,97	
	5	247	14,1	17,52	Sur-consolidé
	6	157	14,8	10,61	
	7	374	15,6	23,97	
	8	239	14,7	16,26	
	9	294	14,5	20,28	
	10	180	14,6	12,33	Normalement-consolidé
	11	281	15,7	17,90	
	12	239	17,3	13,82	
	13	294	18,7	15,72	
	14	251	17,1	14,68	
	15	180	14,7	12,24	

N°	Prof. (m)	E(bars)	PL (bars)	E/ PL	Interpretation
SP08C 29+575	1	384	19,2	20,00	Sur-consolidé
	2	430	24,4	17,62	
	3	303	14,1	21,49	
	4	226	10,7	21,12	
	5	329	15,2	21,64	
	6	235	17,1	13,74	
	7	210	14,3	14,69	
	8	295	9,87	29,89	
	9	119	9,81	12,13	Normalement-consolidé
	10	96,9	9,08	10,67	
	11	299	17,1	17,49	Sur-consolidé
	12	255	16,8	15,18	
	13	286	10,3	27,77	
	14	141	10,3	13,69	
	15	483	10,5	46,00	

D. Essais de pénétration dynamique

Les essais PDL ont pour objectif de calculer la résistance des terrains, notamment la résistance dynamique de pointe. Ils permettent d'évaluer la capacité portante des couches supérieures du sol, en fournissant des informations sur leur résistance.

Les résultats des essais pénétrométriques sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

TableauVII-6 : Synthèse des résultats essais au pénétromètre dynamique

N° Essais PDL	Prof max.(m)	Qd Moyenne (Bars)	
PDL-13	2.6	200	Les résultats pénétrométriques montrent des résistances de pointe élevées. (Rp >90bars) avec un refus superficiel
PDL-14	2.2	340	
PDL01C	10.26	100	
PDL-15	3.8	340	
PDL-16	2.6	400	
PDL-17	2.6	200	
PDL02C	7.07	400	
PDL-18	3.4	90	
PDL-19	4.2	90	
PDL03C	8.18	310	
PDL-20	4.4	150	
PDL-21	3.8	150	

VII.2.3.2 Reconnaissance au laboratoire

- Essais Physiques
- Essais Mécaniques

Tableau VII-7 : Les résultats des essais physiques sont présentés dans les tableaux récapitulatifs

Puit N°	Profondeur	PK de l'axe	Granularité			Limite Atterberg		Proctor modifier		VBS	Teneur en eau naturelle	Indice CBR	Classification	
			D_{max} (mm)	2mm	80µ	Wl %	IP	POPM (t/m^3)	WOPM%				GTR	UIC719
PR01C	0.00–3.00	20+150	5	99.65	79.03	45.39	18.99	1.68	1.82	-	-	-	A2ts	QS1
PR16C	0.00–3.00	20+550	5	99.66	79.18	45.55	19.17	1.68	18.2	-	-	-	A2ts	QS1
PR17C	0.00–3.00	20+950	5	99.71	70.48	38.69	18.69	1.88	11.7	-	-	-	A2ts	QS1
PU-OB-14-14	0,20-3,00	21+300	5	91	66	44	22	1.75	14.14	3.54	16.2	1.6	A2s	QS1
PR18C	0.00–3.00	21+700	5	99.83	71.2	31.07	14.64	1.66	12.2	3.25	-	1.4	A2ts	QS1
PR19C	0.00–3.00	22+050	2	100	69.85	37.59	17.6	1.64	13.8	3.22	-	2.9	A2ts	QS1
PU-OB-15-14	1.00–3.00	22+349	0.2	100	78	49	24	1.71	13.37	4.2	16.5	2.46	A2s	QS1
PR02C	0.00–3.00	22+500	5	97.85	7.63	35.38	10.83	1.64	20.6	2.6	-		A1	QS1
PR20C	0.00–3.00	22+900	5	98.15	69.85	37.69	17.44	1.63	14	2.5	-	2.9	A1	QS1
PR21C	0.00–3.00	23+300	2	100	72.1	69.98	49.24	1.9	13.6	2.5	-	-	A1	QS0
PU-OB-16-14	1.00–3.00	23+701	0.2	99	79	42	21	1.75	13.65	4.15	21.5	2.68	A2h	QS0

PU-OB-17-14	0.20–3.00	24+022	0.4	97	69	46	23	1.75	15.73	4.57	17.5	3.53	A2s	QS1
PR03C	0.00–3.00	24+600	31.5	75.99	53.24	37.03	15.58	1.63	11.13	2.82		1	-	-
PU-OB-18-14	1.00–3.00	24+617	0.1	100	95	59	29	1.64	19.06	6.42	25.8	4.26	A3m	QS0
PR22C	0.00–3.00	25+000	10	92.78	75.62	36.96	15.54	1.62	11.5	2.8	-	-	A2ts	QS1
PU-OB-19-14	0.20–3.00	25+300	0.3	100	78	45	22	1.74	15.53	48.84	15.5	2.16	A2s	QS1
PR23C	0.00–3.00	25+700	5	99.83	80.88	44.66	21.69	1.67	14.2	3.83	-	1	A2ts	QS1
PR24C	0.00–3.00	26+050	2	100	78.89	37.58	17.6	1.68	11.6	3.58	-	-	A2ts	QS1
PU-OB-20-14	0.20–3.00	26+400	0.3	99	75	47	24	1.73	16.31	4.85	12.9	3.41	A2ts	QS1
PR04C	0.00–3.00	26+600	5	99.9	74.11	38.09	22.79	1.72	14	-	-	-	-	QS1
PU03	0.00–4.00	26+756	-	-	76	51	26	-	-	3.16	15.26		A3ts	QS0
PR25C	0.00–3.00	27+000	2	100	74.38	42.16	19.65	1.78	13.7	2.05	-	1	A1ts	QS1
PU04	0.00–4.00	27+350		89	53	27		2.9	15.12	-	-	-	A3ts	QS0
PR05C	0.00–3.00	27+600	5	99.5	51.78	-	1.89	11.6	3.08	-	-	3	-	QS1
PR26C	0.00–3.00	28+000	5	99.79	87	48.49	24.75	1.7	17.7	3.2	-	-	A2	QS0
PU-OB-21-14	0.20–2.00	28+206	0.5	100	49	33	17	1.85	11.91	2.05	9.1	11.46	A1	QS1
PR27C	0.00–3.00	28+600	10	99.46	68	39.53	21.59	1.81	14.3	3.5	-	-	-	QS1
PU-OB-24-14	1.20–3.00	29+300	0.1	100	91	12.4	19	1.85	11.25	3.09	12.4	1.96	A2	QS1
PR28C	0.00–3.00	29+700	5	99.8	87.47	48.38	29.29	1.83	1.73	2.03	-	-	-	QS0
PR29C	0.00–3.00	30+000	2	100	76	50.73	31.74	1.82	16.9	2.03	-	-	-	QS0

VII.3 Vérification de la stabilité des talus en remblais et déblais

Pour la vérification de stabilité des talus en déblais et remblais on a utilisé le logiciel « slide version 0.6 », et on a choisi la méthode de Bishop pour les ruptures circulaires.

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 ≥ 1.1 situation accidentel (séisme).

VII.3.1 Talus En Déblais

TableauVII-8 : Le tableau suivant résume les talus en déblais de (H> 5m)

PK Initial	PK Fin	Pk hauteur de déblais le plus hauts	Déblais	
			Hmax (M)	Talus [H/V])
25+025	25+850	25+275	7,5	2H:1V
28+160	28+575	28+400	6.8	2H :1V

TableauVII-9 : résume Les sondages carottés effectués entre les PK 20+00 et 30+00.

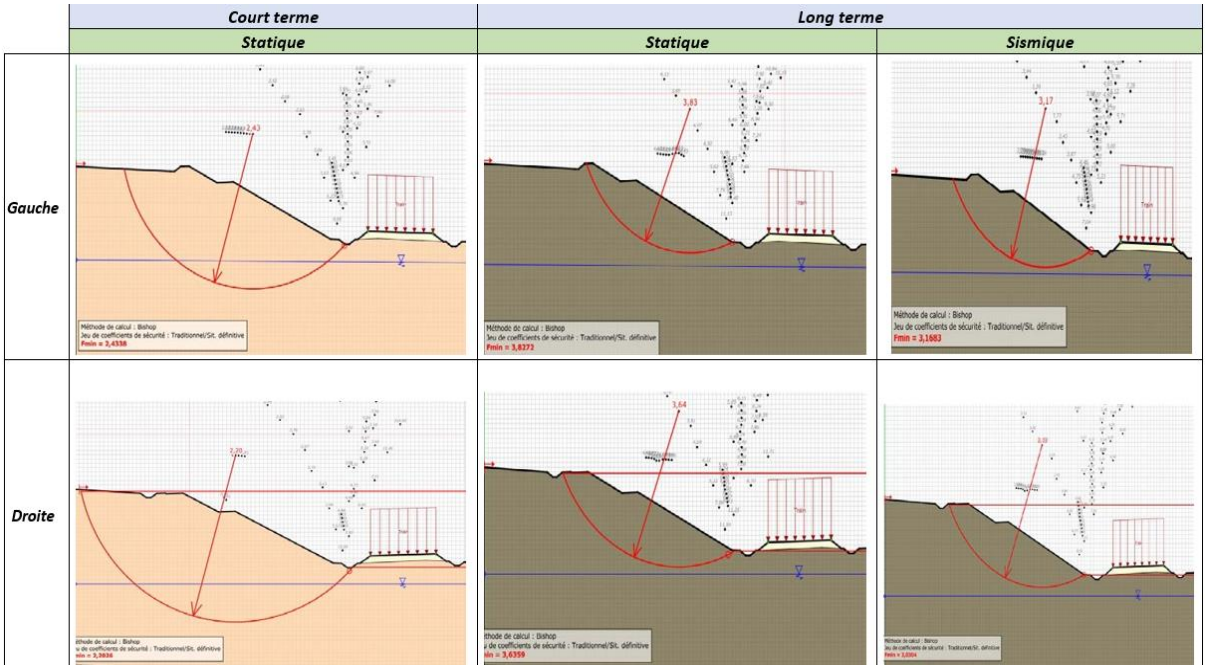
Couches	Court terme							
	Cohesion Cu (Kpa)				Angle de frottement Φu (°)			
	Min	Max	Moy (*)	Valeur retenue	Min	Max	Moy (*)	Valeur retenue
Argile marneuse	14	14	14	14	12	12	12	12
Argiles Marron Sombres	La cohésion non drainée a été déterminée en fonction de la pression limite nette du sol en utilisant la Corrélation de Cassan (1988).			50	L'angle de frottement non drainée de l'argile est considéré comme nul (approche critique).			0
Argile pâteuse noire	160			50	5.02			5

Couches	Long terme							
	Cohesion C'(kPa)				Angle de frottement φ'(°)			
	Min	Max	Moy (*)	Valeur retenue	Min	Max	Moy (*)	Valeur retenue
Argile marneuse	22	103	62.5	22	19	27	23	19
Argiles Marron Sombres	30	60	45	30	22.86	27.36	25.11	22
Argile pâteuse noire	19.04			15	100			70

TableauVII-10 : résume les résultats de calcul de stabilité des talus en déblais à l'aide de logiciel Slide 0.6

PK Profile	Coté de profile	Situation	Facteur de Sécurité	
			Court terme	long terme
25+275	Gauche	Statique	2.43	3.82
		Sismique	1.89	3.17
	Droite	Statique	2,20	3.64
		Sismique	1,86	3,03

PK Profile	Situation	Facteur de Sécurité	
		Court terme	long terme
28+400	Statique	1.33	2.4
	Sismique	1 ,08	1.96



Figures VII.3: présentent les résultats de l'analyse de stabilité du déblai pour les situations court terme, long terme et sismique, respectivement.

VII.3.2 Talus en remblais

Selon les exigences du référentiel technique de la SNTF (chapitre 7.2.2, ouvrages en terres pour plateformes ferroviaires), les vérifications requises pour les remblais sont les suivantes : Vérification de la stabilité contre le poinçonnement

- Vérification de la stabilité générale contre le glissement à court terme, à long terme et en cas de séisme (méthode pseudo-statique).
- Évaluation des amplitudes et de la cinétique des tassements.

Les profils de calcul pour la justification de la stabilité des ouvrages en terre (remblais) sont les suivants :

- Au PK 20+400, la hauteur critique est de 6,64 m.
- Au PK 24+575, la hauteur critique est de 5,01 m.

VII.3.2.1 Justification de la stabilité au poinçonnement

Les résultats des calculs sont présentés dans le tableau 8. Selon ce tableau, la condition de stabilité en termes de portance du sol (poinçonnement) est satisfaite, car le coefficient de sécurité (FS) est supérieur à 1,5.

TableauVII-11 : Justification au poinçonnement à la base des remblais

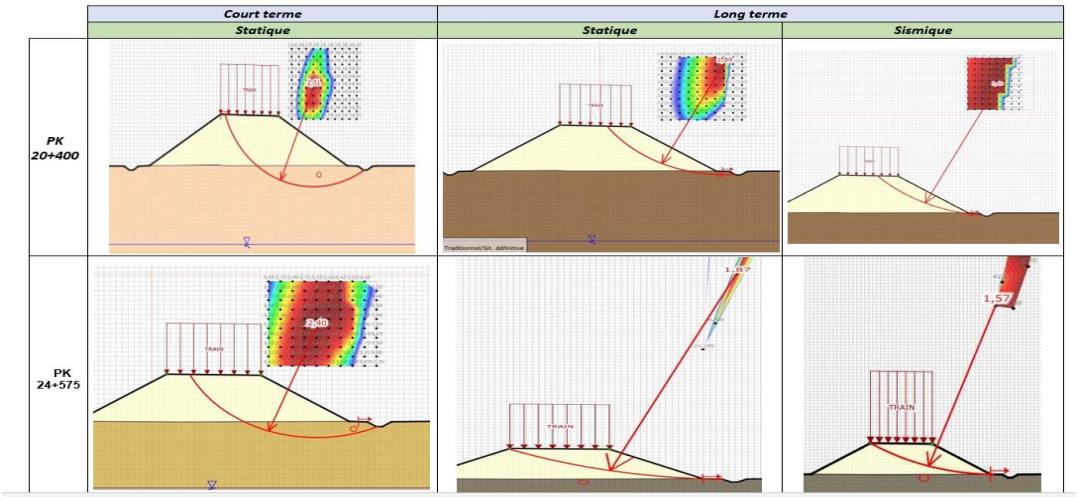
PK Profile	Hr	γr (KN/ M^3)	Largeur Moyenne B(m)	Cohesion Cu (Kpa)	CoefficientNc	Fs	Verification
20+400	6 ,6	18	17.6	50	5,268	2,21	Justifiée
24+575	5.01		15.45	59	5.168	2.98	Justifiée

VII.3.2.2 Justification de la stabilité au glissement rotationnel

Les résultats des calculs de stabilité obtenus sont présentés dans le tableau.

TableauVII-12 : Justification de la stabilité au glissement rotationnel

Fs	Fs exigé	Fs calculé		Observations
		Pk 20+400	PK 24+575	
Court terme	1,3	2.01	2,4	Vérifiée
Long terme	1,5	1.89	1,86	Vérifiée
Sismique	1	1.42	1,56	Vérifiée



Figures VII.4: présentent les résultats de l'analyse de stabilité du remblai pour les situations court terme, long terme et sismique, respectivement.

VII.3.2.3 Calcul de tassement de plate-forme

Le calcul du tassement de plate-forme est complexe et requiert l'expertise d'un ingénieur géotechnicien pour une évaluation précise et fiable. C'est un processus important dans la conception d'infrastructures, car il permet de prédire les déformations du sol sous les charges appliquées.

Les critères de tassement à respecter sont rappelés comme suit (conformément au référentiel technique IN 3278 :

- Tassement total < 10 cm sur 25 ans
- Vitesse de tassement < 1 cm/an

Ces critères sont applicables après la pose de la sous-couche de la voie.

Tableau VII-13 : Récapitulatif des calculs du tassement H remblais

Tassements(À la base duremblais)	H remblais (m)	PK profile	Tassement (mm)		
			Elastique non-drainé		Œdométrique
			1D	3D	
	6,64	20+400	40,5	50,7	166
	1.92	22+325	5,18	5,84	78
	5,01	24+575	17,7	18,8	82

Admissibilité des tassements :

Les tassements obtenus pour le modèle retenu (remblai de 6,6 m + surcharge de 30 kPa) sont préoccupants, avec un tassement total d'environ 16,6 cm. Ces valeurs sont principalement observées dans la zone où les remblais dépassent les 5 m de hauteur. Cette zone est caractérisée par la présence de couches argileuses moyennement compressibles. Il est important de souligner que la zone critique qui nécessite un traitement est située entre les PK 20+400 et PK 20+800 sur une distance de 400 mètres linéaires.

- **Calcul du temps de consolidation :**

Le temps de consolidation est calculé en utilisant la loi de consolidation de Terzaghi. Cette loi relie le temps de consolidation (Tc) au coefficient de consolidation (Cv) du sol et au carré de l'épaisseur caractéristique (H) du massif de sol.

La formule générale pour le temps de consolidation est donnée par :

$$Tc = (Cv * H^2) / (4 * D)$$

Tableau VII-14 : Récapitulatif des temps de consolidation

Temps de Consolidation	PK profile	Tv	Cv m^2 / s	Temps Années
	20+400	0.848	3 ,0 10^{-7}	4 ,45 ans

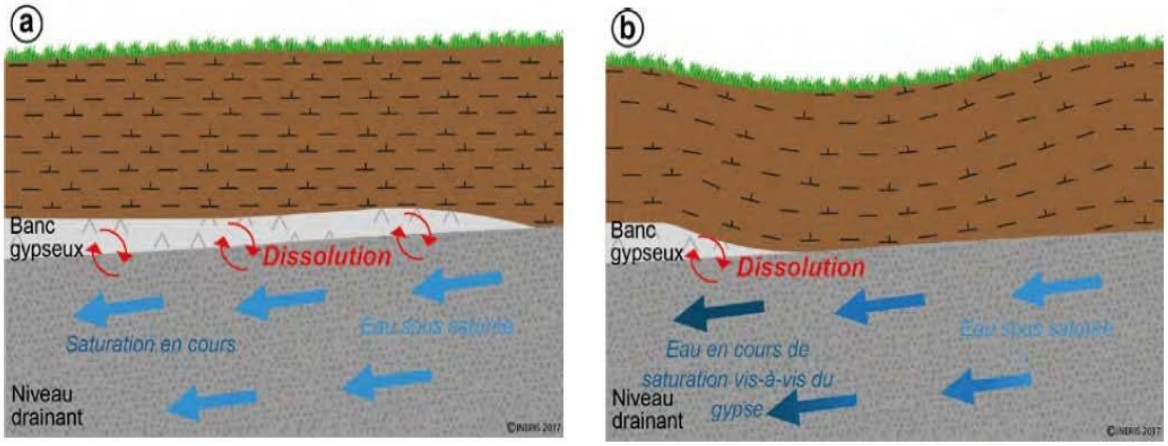
Tableau VII-15 : Récapitulatif des calculs du tassement après la purge

Tassements (À la base du remblai) Après la purge	Zones sensible (compressible)	Hmax remblais (m)	PK Profile	Tassement Œdométrique (mm)
	De Pk 20+400 Au PK 20+ 800	6,64	20+400	11,8

- **Traitement des sections gypseuses**

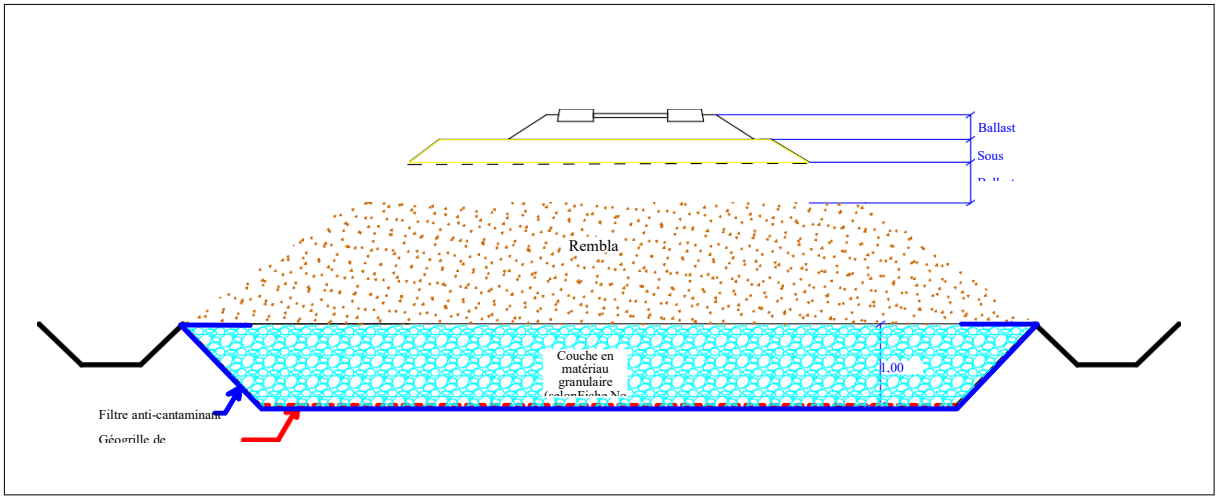
Le gypse est un minéral soluble qui peut subir des phénomènes de dissolution, ce qui peut entraîner la formation ou la réactivation de cavités souterraines. Lorsque le gypse est en contact avec de l'eau, il peut se dissoudre, créant ainsi des vides dans le sol.

De plus, l'anhydrite, une forme déshydratée du gypse, peut subir des cycles d'hydratation et de déshydratation, entraînant des mouvements de retrait et de gonflement. Ces phénomènes de dissolution et de réaction peuvent se manifester à la surface par des affaissements progressifs du sol ou par des effondrements soudains. Il est donc essentiel de prendre en compte ces risques lors de la planification et de la construction d'ouvrages dans des zones contenant du gypse.



Figures VII.5 : Schéma représentant le phénomène d'affaissement la perte de matière provoquée par la dissolution (a) est directement compensée par l'abaissement des terrains sur incombèrent (b)

Pour prévenir les problèmes liés à la dissolution du gypse tels que les affaissements et les effondrements, il est recommandé de suivre les mesures préventives décrites dans le guide de l'INERIS intitulé "Dissolution naturelle du gypse dans le sous-sol : analyse et gestion des aléas mouvements de terrain de type affaissements et effondrements". Ces mesures comprennent la mise en place d'un géotextile anti-contaminant suivi d'une nappe de géogrille de renforcement. Après avoir procédé au décapage et à la purge du sol sur une profondeur d'un mètre, le matériau excavé doit être remplacé par un matériau granulaire spécifique (ST590B fiche n° 11). En prenant ces précautions, on réduit les risques associés à la dissolution du gypse et on assure une meilleure stabilité du sol.

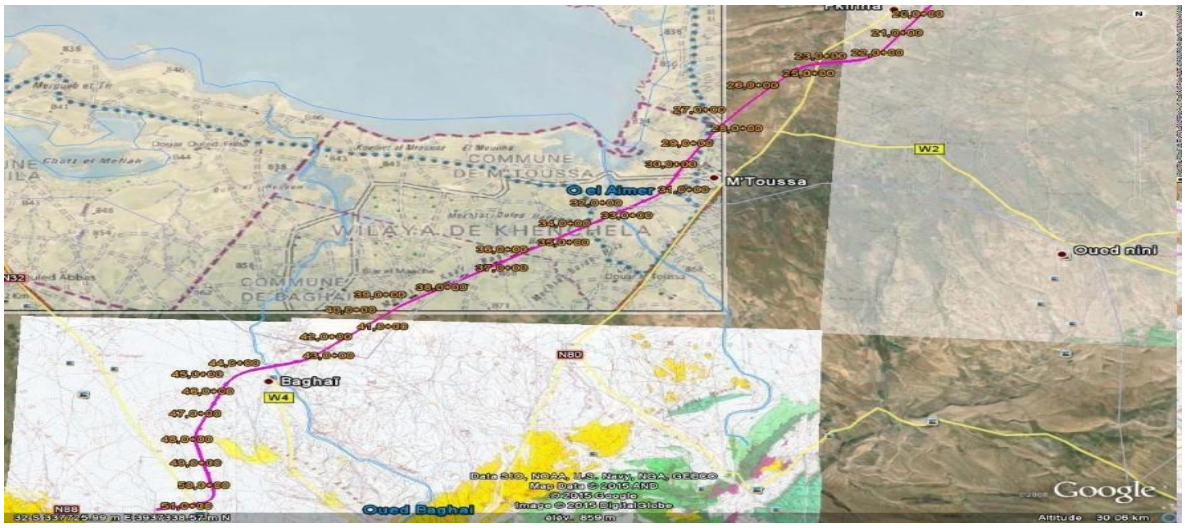


Figures VII.6 : Traitement des zones gypseuses

- **Les zones inondables**

Les zones les plus problématiques, les plus susceptibles de subir des dommages pendant les saisons de crue, ont été identifiées. Ces zones s'étendent approximativement du PK20+000 au PK21+106, selon les résultats de l'étude hydraulique. De plus, à partir du PK22+000 jusqu'au PK24+000, on observe également une sensibilité accrue aux risques.

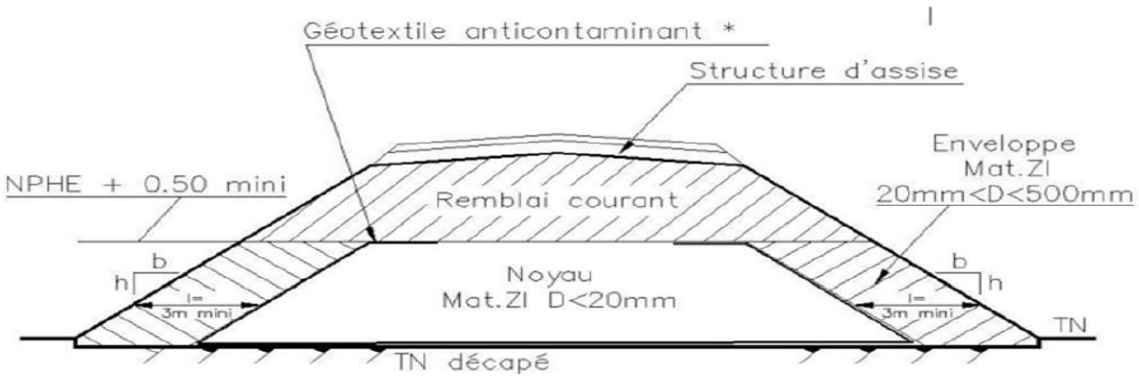
Les remblais en zones inondables doivent être dimensionnés pour assurer leur stabilité et durabilité. Ils doivent être protégés par des enrochements latéraux ou des perrés, avec l'ajout d'un géotextile anti-contaminant entre le corps du remblai et les enrochements. Ce géotextile amélioré la résistance à la contamination et facilite la mise en œuvre des couches d'assise en évitant l'affaissement des couches de sol.



Figures VII.7 : Extrait de plan entre M'toussa et Fekrina

Pour assurer une protection adéquate, un géotextile non tissé doit être utilisé, répondant aux caractéristiques suivantes :

- Masse surfacique (NF EN 965 – EN ISO 9864) ≥ 300 g/m2
- Résistance à la traction (NF EN ISO 10319) ≥ 20 kN/mJ
- Déformation à l'effort de traction maximale (NF EN ISO 10319) ≥ 50%
- Résistance au poinçonnement statique CBR (NF EN ISO 12236) ≥ 1.9 kN
- Pyrométrie (O90) (NF EN ISO 12956) 210 µm.



Figures VII.8 : Profile en travers type de la zone inondable

VII.4 TERRASSEMENTS

➢ Décapage de la terre végétale

Le décapage de la terre végétale consiste à enlever la couche supérieure des sols organiques, qui sera ensuite utilisée pour revêtir les talus de déblai et de remblai. Selon cette étude, une

Épaisseur moyenne de décapage d'environ 0,5 m a été prise en compte pour ce projet.
La terre végétale décapée sera transportée vers un dépôt provisoire à proximité et correctement stockée en vue de sa réutilisation ultérieure pour le revêtement végétal des talus de remblai et de déblai.

- **Déblais**

Les déblais seront profilés avec une pente de 3H/2V pour une hauteur inférieure à 6m, et avec une pente de 2H/1V pour une hauteur supérieure à 6m. De plus, une berme de 2m sera aménagée tous les 6m de hauteur.

- **Protection des Talus**

Les talus des ouvrages en terre doivent être protégés pour prévenir l'altération des matériaux superficiels et préserver leurs caractéristiques d'origine. Cette protection vise également à prévenir les effets des conditions météorologiques (pluie, gel, soleil) sur les matériaux en place.

- **Végétalisation**

La végétalisation des talus à plusieurs objectifs importants :

- Prévenir le lessivage des fines, le ravinement et la détérioration des talus causés par une exposition prolongée aux intempéries.
- Contribuer à la stabilisation de surface des talus de déblais et de remblais.
- Améliorer l'environnement en intégrant de manière harmonieuse les ouvrages en terre dans leur contexte végétal.

VII.5 matériaux de gites d'emprunt

Le lot Emprunt du projet comprend des puits de reconnaissance creusés pour évaluer les zones d'emprunt. Les puits atteignent une profondeur d'environ 3 mètres. Les résultats des essais réalisés sur ces zones sont présentés sous forme de tableaux, Les matériaux testés dans les puits correspondent aux Tufs graveleux des classes A1 et A2.

Les gisements prospectés se divisent en deux types :

- Des zones situées en dehors du tracé principal ou sur le tracé lui-même, composées de matériaux naturels tels que les tufs et les conglomérats. Ces gisements se trouvent aux PK 46, 41, 11, 7 et 3.
- Des zones faisant partie de l'ancienne voie ferrée, comprenant l'ancien remblai et les couches d'assise. Ces zones se situent aux PK 33, 21 et 12.

Les caractéristiques des groupes géologique affectent par le couloir

Sur la base des informations disponibles suite aux essais en laboratoire réalisés sur les échantillons des sondages et des puits, les caractéristiques moyennes des matériaux de chaque formation peuvent être considérées. Ces caractéristiques sont détaillées en annexe.

Tableau VII-11 Les groupes géologiques affectés par le tracé d'étude

N° Gites	PK	Profonde (m)	Coupe lithologies
08	3+000	0.00-0.20	Terre végétale.
		0.20-3.00	Tuf graveleux jaunâtre et blanchâtre
07	7+000	0.00-0.20	Terre végétale.
		0.20-3.00	Tuf graveleux jaunâtre et blanchâtre.
06	12+000	0.00-2.00	Ballasts graviers et argile brunâtre (ancienne ligne ferroviaire)
05	11+000	0.00-3.00	Tuff limoneux gravlax blanchâtre.
04	21+000	0.00-1.00	Ballasts graviers et argile brunâtre (ancienne ligne ferroviaire)
03	33+000	0.00-1.00	Ballasts (ancienne ligne ferroviaire)
02	41+000	0.00-0.30	Argile limoneuse graveleuse brunâtre.
		0.30-1.50	Tuf blanchâtre graveleux caillouteux. Refus sur encroûtement calcaire NB : le giterenferme du tuf tendre, encroûtement calcaire et conglomérats
01	46+000	0.00-1.00	Tuf blanchâtre. NB : refus sur encroûtement calcaire (le gite renferme du tuf tendre, encroûtement calcaire et conglomerates).

VII.6 conclusion

Selon les résultats des analyses effectuées sur des échantillons intacts prélevés à différentes profondeurs à partir des sondages carottés, ainsi que des études granulométriques des formations naturelles réalisées sur les puits de reconnaissance, nous avons pu effectuer une classification du sol selon la norme UIC 719R, qui se présente comme suit : La classe de qualité du sol support la plus fréquemment rencontrée le long du tracé est principalement QS1.

CHAPITRES VIII : ASSISE FERROVIAIRE

VIII : La Structure D'assise

VIII.1 Introduction

Dès la construction d'une ligne ferroviaire, il est essentiel de mettre en place une assise solide et adaptée, avec des caractéristiques et des épaisseurs appropriées. Ces paramètres dépendent de la capacité portante de la plate-forme, du type et de l'espacement des traverses, ainsi que des caractéristiques du trafic telles que le poids total, la charge par essieu et la vitesse.

De plus, la voie doit être composée de deux rails maintenus en place par des traverses. Ces traverses sont disposées le long de la voie et reposent sur une couche de ballast. L'ensemble "rail + ballast" est fixé à l'aide d'attaches le long de la voie. La structure de l'assise du tronçon étudié est dimensionnée conformément aux normes UIC 719 R et UIC 714 R, troisième édition.

VIII.2 Le ballast :

D'un point de vue technique, l'acier a été sélectionné comme matériau pour les rails. Cependant, il présente une caractéristique gênante : il se dilate et se contracte en fonction des changements de température. Pour remédier à ce problème, les ingénieurs ont mis au point une solution qui consiste à utiliser une couche de ballast pour réguler ce phénomène.

Définition :

Le ballast est composé de cailloux disposés entre les traverses pour assurer la stabilité de la voie ferrée. Il forme une couche épaisse qui répond à plusieurs exigences clés :

- Il facilite le drainage et empêche l'accumulation d'eau sur la voie, évitant ainsi les problèmes d'inondation.
- Il transmet les efforts résultant du passage des trains au sol, tout en évitant toute déformation due à un tassement excessif.
- Il absorbe les vibrations générées par le passage des trains, contribuant ainsi à réduire les nuisances sonores.
- Il permet de limiter au minimum la dilatation thermique de la voie, en offrant une certaine flexibilité pour faire face aux variations de température.
- Il empêche la croissance de plantes indésirables sous la voie, assurant ainsi une meilleure maintenance et sécurité.
- Ainsi, le ballast joue un rôle crucial dans la construction et le maintien d'une voie ferrée solide et fonctionnel

VIII. 3 : Caractéristique de ballast

- Pierre rocheuse dure concassée, résistance à la compression : ≥ 12Kn
- Limite de maille entre 31,5-50 mm : 50%
- Résistance à l'érosion avec le coefficient Los Angeles : ≤ 15 %
- La granularité du ballast se situe approximait dans la classe 25 à 50 mm (pierre cassée)

VIII.4 Sous couche :

La sous-couche joue un rôle essentiel dans la transition entre la couche de ballast et la plateforme de la voie ferrée. Elle peut être constituée d'une seule couche ou de plusieurs couches, selon les besoins.

La composition typique de la sous-couche comprend les éléments suivants, de haut en bas : une couche de grave propre bien graduée (0/31.5) positionnée sous le ballast, une éventuelle couche de fondation en cas de sol de mauvaise qualité, et éventuellement une couche anti-contaminante. Des feuilles de géotextile peuvent également être ajoutées pour compléter la structure.

La sous-couche assure une transition fluide et stable, favorisant une répartition uniforme des charges. Elle contribue à prévenir les mouvements excessifs du ballast, protège les sols contre les dommages et empêche les infiltrations d'eau indésirables.

VIII.4.1 Rôle de la sous couche :

- Assure l'évacuation efficace des eaux de pluie grâce à sa structure et à sa pente transversale en toit (4% de chaque côté).
- Guide les eaux vers des dispositifs d'assainissement longitudinaux, prévenant ainsi les problèmes d'accumulation d'eau et d'inondations sur la voie.
- Protège contre l'érosion et le gel.
- Fait office de barrière entre la plateforme et le ballast.

VIII.5 La plate-forme :

Définition :

La plateforme ferroviaire fait référence à la partie supérieure de la structure en terre qui soutient la sous-couche. Elle peut être formée de terres apportées pour un remblai ou du sol en place pour un déblai.

Pour évaluer la qualité de la plateforme ferroviaire, il est essentiel d'analyser la qualité des

Différents types de sols qui la composent, ainsi que la conformité de la couche de forme et la stabilité du sol sous-jacent. Cela garantit que la plateforme est solide, durable et capable de supporter les charges et les contraintes imposées par la voie ferrée.

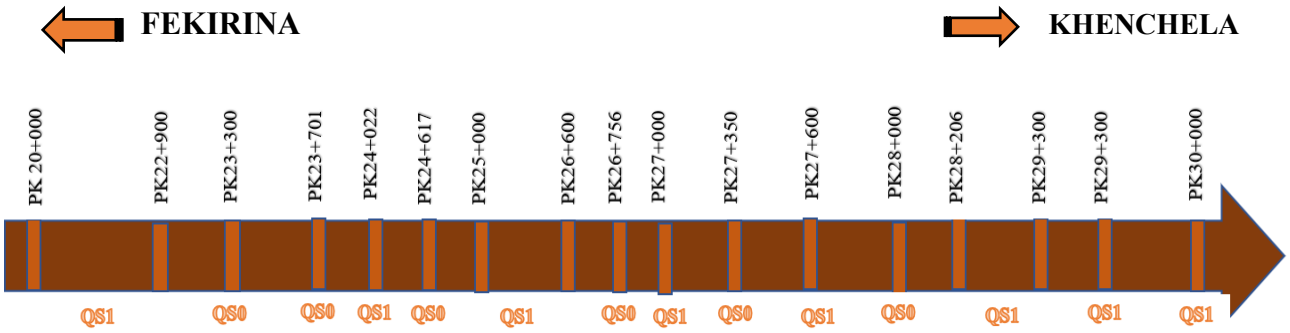
VIII.5.1 Classification des sols pour la plateforme

La qualité d'un sol pour la construction de la plateforme dépend de deux paramètres principaux :

- Nature géotechnique du sol : La classification géotechnique est utilisée pour déterminer la nature du sol. Elle prend en compte des caractéristiques telles que la composition, la granulométrie, la plasticité, la résistance, la perméabilité, etc.
- Conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales : Les conditions locales liées à l'eau et à l'hydrologie jouent également un rôle essentiel. Les conditions sont considérées comme bonnes si les éléments suivants sont vérifiés :
- La couche supérieure du sol est située au-dessus de toute nappe d'eau naturelle, même en période climatique défavorable.
- La plateforme ne présente pas de percolations nocives, c'est-à-dire qu'elle ne subit pas de pénétration d'eau (potentiellement polluée) de manière transversale, longitudinale ou verticale.
- Les eaux de pluie sont correctement évacuées de la plateforme, et les dispositifs de drainage longitudinaux sont en bon état de fonctionnement.
- Si au moins l'une de ces trois conditions n'est pas remplie, les conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont considérées comme mauvaises. En fonction de la qualité des sols et des conditions ci-dessus, la classification des sols pour la plateforme est établie selon les quatre classes de qualité suivantes :
- QS0 : Sols "impropres" qui nécessitent des mesures spécifiques pour assurer une plateforme correcte, telles que le remplacement du matériau sur une certaine épaisseur, le traitement avec des liants, l'utilisation de géotextiles, le renforcement par pieux, etc.
- QS1 : Sols médiocres acceptables dans leur état actuel, mais qui requièrent une attention particulière pour le bon drainage. Ces sols peuvent éventuellement être améliorés en utilisant un traitement approprié, tel que le traitement avec des liants.
- QS2 : Sols de qualité moyenne.
- QS3 : Bons sols.

- Ainsi, cette classification permet d'évaluer la qualité des sols pour la construction de la plateforme et de déterminer les mesures nécessaires pour assurer une infrastructure ferroviaire solide et durable.

"Les DESSINS ci-après donnent la classification du sol UIC, pour tous les puits de reconnaissance réalisés."



LEGEND

1 puits de reconnaissance Profond de 4 m

Commentaire :

Dans le tronçon étudié et en se basant sur l'étude géologique et géotechnique de la région, les résultats des essais de laboratoire indiquent que les matériaux excavés présentent des caractéristiques qui correspondent globalement à une qualité de sol QS1 à hauteur de 80 % du linéaire. Toutefois, il peut arriver que certains segments atteignent une qualité de sol QS0 à hauteur de 20 %. Ces conclusions sont conformes aux critères établis par le code UIC 719R.

VIII.6 les classes de la portance de la plateforme :

La portance d'une plate-forme dépend :

De la qualité du sol constituant le corps de remblais ou du sol en place du fond du déblai. De la qualité et de l'épaisseur de la couche de forme (lorsque cette dernière existe). On peut distinguer, en fonction des paramètres ci-dessus, les trois classes de portance de plate-forme suivantes :

- P3 : bonne plate-forme
- P2 : plate-forme moyenne.
- P1 : plate-forme mauvaise

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

Classe de qualité du sol	Classe de portance de la plateforme	Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette portance	
		Qualité	Épaisseurs min ef(m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.50
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.50
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

Plate-Forme proposée :

Compte tenu de ce qui précède, notamment la classe des qualités du sol support QS1 et QS0, 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 sur le terrain et les résultats montrent que si l'on envisage une bonne plateforme de classe P3 pour une classe C donnée, on a besoin d'une couche de forme :

Couche de forme

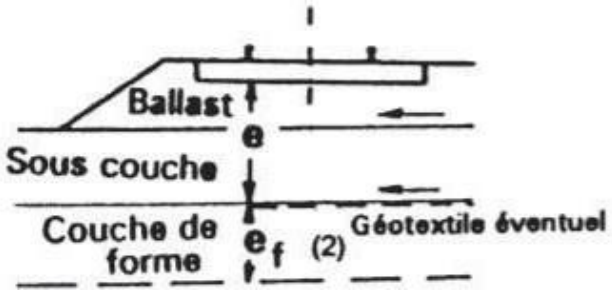
- Sur les matériaux QS1, une couche de forme dont la qualité du sol est QS3 et cela sur une épaisseur de 35 cm.
- Sur les matériaux QS0, une couche de forme dont la qualité est QS1
- QS0 ; remplacement du matériau sur une certaine épaisseur.

VIII.7 Dimensionnement De la couche d'assise

Le dimensionnement des épaisseurs des couches d'assise a été effectué selon la norme UIC 719 R. L'épaisseur de la couche de ballast et des sous-couches est calculée en utilisant la formule suivante : **e = E + a + b + c + d + f + g** (e = épaisseur du ballast + épaisseur de la sous-couche)

- "e" dépend des classes de portance (P1, P2 ou P3).
- "a" dépend des groupes UIC (groupes 1 à 6, UIC 714).
- "b" dépend du type de traverses.
- "c" dépend des conditions de travail.
- "d" dépend de la charge maximale d'essieu des véhicules.

- "f" dépend de la vitesse.
- "g" dépend de l'installation de géotextiles.



Figures VIII. 1:Les épaisseurs des couches d'assise

Les valeurs de E sont les suivantes :

E = 0.70 m pour les plateformes de classe de portance P1.

E = 0.55 m pour les plateformes de classe de portance P2.

E = 0.45 m pour les plateformes de classe de portance P3.

Le paramètre "a" dépend des groupes de classification du trafic selon la norme UIC 714 R. Selon cette norme, la classification des voies est établie en fonction d'un trafic fictif TF2 calculé à partir de la formule suivante : **TF2 = S * TF1 = Tv + Km * Tm + Kt * Tt**

Où :

Tv : représente le tonnage moyen journalier voyageurs, avec une valeur de 9600 tonnes/jour.

Tm : représente le tonnage moyen journalier marchandise, avec une valeur de 24000 tonnes/jour.

Tt : représente le tonnage moyen journalier des engins de traction utilisés, avec une valeur de 1440 tonnes/jour.

S = 1.25 lignes, pour lesquelles le trafic voyageur comprend des trains avec une vitesse supérieure à 140 km/h.

Km : est un coefficient, normalement égal à 1.15, mais égal à 1.30 pour les voies supportant un trafic prépondérant d'essieux de 20 ou plus.

Kt : est un coefficient égal à 1.40.

TF1 = 9600 + 1.30 * 24000 + 1.40 * 1440 = 42816 tonnes/jour

TF2 = S * TF1 = 1.25 * 42816 = 53520 tonnes/jour

Selon cette classification, le groupe de trafic fictif selon la norme UIC 714 R sera le **Groupe 3.**

(50000 t/jour < TF2 < 85000 t/jour).

Ainsi, le paramètre "a" aura une valeur de 0.05.

Les valeurs de b sont les suivantes :

- 0 m pour les traverses en bois de longueur L = 2.6 m.
- (2.50 - L) / 2 m pour les traverses en béton de longueur L. (L et b en mètres si L > 2.5, b peut être négatif)

Les valeurs de c sont les suivantes :

- 0 m pour un dimensionnement normal (nouvelle ligne).
- - 0.10 m à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes des groupes UIC autres que les groupes '7, 8 et 9 sans voyageurs'.
- 0.05 m à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes des groupes UIC '7, 8 et 9 sans voyageurs'.

Les valeurs de f sont les suivantes :

- 0 m pour toutes les lignes parcourues à une vitesse ≤ 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 à grande vitesse.
- 0.10 m pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse.

Les valeurs de g sont les suivantes :

- 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.

VIII.8 Application au projet

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

- 35 cm pour une vitesse > 200 km/h.
- 30 cm pour une vitesse comprise entre 120 et 200 km/h.
- 25 cm pour une vitesse comprise entre 80 et 120 km/h.
- 20 cm pour une vitesse comprise entre 60 et 80 km/h.
- On prend e = 30 cm.
- E = 0,55 m pour la plateforme de classe de portance P2.
- a = -0,05 pour la ligne UIC 3 et 4.

- b = 0,13 cm pour les traverses en béton de longueur L = 2.24 m.
- c = 0,00 m pour la nouvelle voie.
- d = 0,12 m (pour la charge nominale d'essieux de 25 tonnes/axe).
- f = 0,00 pour toutes les lignes parcourues à une vitesse V ≤ 160 km/h et pour les plateformes de portance P3.
- g = 0 m pour le géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS3.

L'épaisseur de la couche d'assise e est de :

- **e = 0,55 - 0,05 + 0,13 + 0,12 + 0 + 0 = 0,75 m**

Couche	Épaisseurs(m)	Matériaux
Ballast	0.30	(Grave concassée)25/50 mm
Sous-ballast	0.25	Grave bien graduée 0/31.5
Couche de fondation	0.20	GNT
Couche de forme	0.35	(Grave concassée)0/50 mm

VIII.9 conclusions

Le dimensionnement vise à déterminer l'épaisseur des différentes couches nécessaires pour supporter et répartir les charges provenant du matériel roulant. Nous avons suivi les normes de l'UIC en vigueur pour ce processus. Dans le prochain chapitre, nous aborderons le profil en traverse après avoir traité les aspects mentionnés précédemment.

CHAPITRE IX : PROFILE EN TRAVERS

IX : Profile en travers

IX.1 Introduction :

Le profil en travers complète le tracé en plan et le profil en long en fournissant des informations cruciales sur la configuration transversale de la voie. C'est un élément essentiel pour réaliser un projet ferroviaire bien conçu et fonctionnel.

IX.2 Profile en travers

Le profil en travers correspond à une coupe transversale effectuée à l'aide d'un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la voie projetée. Il fournit des informations sur les éléments de la superstructure et de l'infrastructure, ainsi que sur les pentes des talus, les systèmes d'assainissement et les mesures de protection éventuelles de la voie, comme l'ensablement et les éboulements.

Lors de la conception d'un projet ferroviaire, il est nécessaire de réaliser de nombreuses coupes transversales. Afin de simplifier le processus de dimensionnement, nous établissons tout d'abord un profil standard appelé "profil en travers type". Ce profil contient tous les détails constructifs nécessaires pour une section homogène donnée, tels que la largeur de la voie, l'entraxe, la berme, la pente des talus, les fossés et les composants constitutifs de la voie. Cela nous permet de standardiser la conception et de garantir une cohérence dans l'ensemble du projet.

IX.2.1 Les éléments du profil en travers

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

Éléments de la superstructure :

- Le type de rail utilisé.
- La valeur de l'écartement de la voie.
- La distance entre les axes (dans le cas de plusieurs voies, mais pour notre projet, il y a une seule voie).
- Le type de traverse utilisé.
- La valeur du dévers en courbe (maximum).
- L'épaisseur de la couche de ballast.

Éléments de l'infrastructure :

- Les épaisseurs et la désignation de chaque couche.
- Les pentes transversales de chaque couche

- La pente latérale de la plate-forme.

Éléments du talus :

- La pente de chaque talus.
- Les éventuels ouvrages de consolidation.
- La berme.

Éléments d'assainissement :

- Le type et les dimensions des ouvrages d'assainissement et/ou des drains.

IX.2.2 Profile en traverse type de mon projet :

La voie unique repose sur une plate-forme d'une largeur de 8,00 m. La fondation de la voie est constituée d'une couche de fondation et d'un sous-ballast, situés au-dessus du fond de déblai ou de la surface supérieure de remblai nivelé. La superstructure est posée sur le sous-ballast, et chaque couche présente un dévers de 4 % vers l'extérieur de la voie.

Sur le côté gauche de l'axe de la voie (dans le sens du kilométrage), à une distance de 2,10 m, se trouve une arête permettant un éventuel aménagement futur pour une voie double. La superstructure est composée de rails UIC-60 espacés de 1.435 m et de traverses bi-bloc posées sur le ballast.

Une bande latérale est prévue du côté gauche de la voie (dans le sens du kilométrage) pour l'installation de poteaux de caténaire et pour une conduite de télécommunication. En résumé, le profil en travers type est caractérisé par les éléments suivants :

- Écartement de la voie : 1.435 m (standard).
- Largeur de la plate-forme : 8 m.
- Pente latérale de la plate-forme : 4%.
- Pente latérale de la couche de ballast : 3/2.
- Épaisseur du ballast : 30 cm.
- Épaisseur du sous-ballast : 25 cm.
- Épaisseur de la couche de fondation : 20 cm.
- Épaisseur de la couche de forme : 0,35 cm.
- Pente de déblai : 3H/2V et pente de remblai : 2H/1V.
- Fossé trapézoïdal (base b = 0,50 m, hauteur h = 0,50 m).

Remarque : En cas de raccordement en pleine courbe, les épaisseurs de toutes les couches, à

L'exception du ballast, resteront constantes. C'est l'épaisseur du ballast qui sera augmentée pour créer le dévers requis.

IX.3 Type de profil en travers

On distingue deux types de profil :

IX.3.1 Profil en travers type

Le profil en travers type contient toutes les dimensions et les détails constructifs essentiels pour le projet ferroviaire. Il comprend les largeurs de voie, les pentes des surfaces et des talus, les dimensions de l'infrastructure et de la superstructure, ainsi que les systèmes d'évacuation des eaux, et bien d'autres éléments importants. C'est un document complet qui rassemble toutes les informations nécessaires pour assurer la bonne conception et la fonctionnalité du projet.

IX.3.2 Profil en traverse courant

Le profil en travers type s'applique à une position kilométrique (PK) spécifique et contient toutes les informations pertinentes concernant la section transversale de la voie à cet emplacement précis. Il inclut des données telles que l'altitude du terrain naturel (TN), l'altitude du projet, et le dévers de la plate-forme. Il offre ainsi une représentation complète et détaillée des caractéristiques de la voie à cette position, permettant une compréhension précise de son profil et de son aménagement.

IX.4 Calcul des cubatures

Les cubatures de terrassement représentent les volumes de terre à déplacer lors du projet, comprenant à la fois les volumes des déblais et des remblais. L'objectif est de modeler le terrain de manière à obtenir une surface lisse et régulière, parfaitement alignée avec la ligne du projet. En d'autres termes, il s'agit de calculer les quantités de terre à enlever ou à ajouter pour créer une base uniforme en accord avec le tracé prévu.

Les éléments essentiels permettant de déterminer les cubatures de terrassement sont les suivants :

- Les profils en long, qui décrivent les variations de la surface du terrain le long de l'axe du projet.
- Les profils en travers, qui fournissent des informations sur la configuration transversale de la voie.
- Les distances entre les profils, qui déterminent les intervalles auxquels les mesures sont prises.

Dans le cadre de notre projet, nous avons utilisé le logiciel Covadis 17 pour effectuer le

Calcul des cubatures de terrassement. Les détails de ce calcul sont fournis en annexe, offrant ainsi une documentation complète sur les résultats obtenus.

Tableau VX- 1:Tableau suivant représente les résultats de calcul automatique :

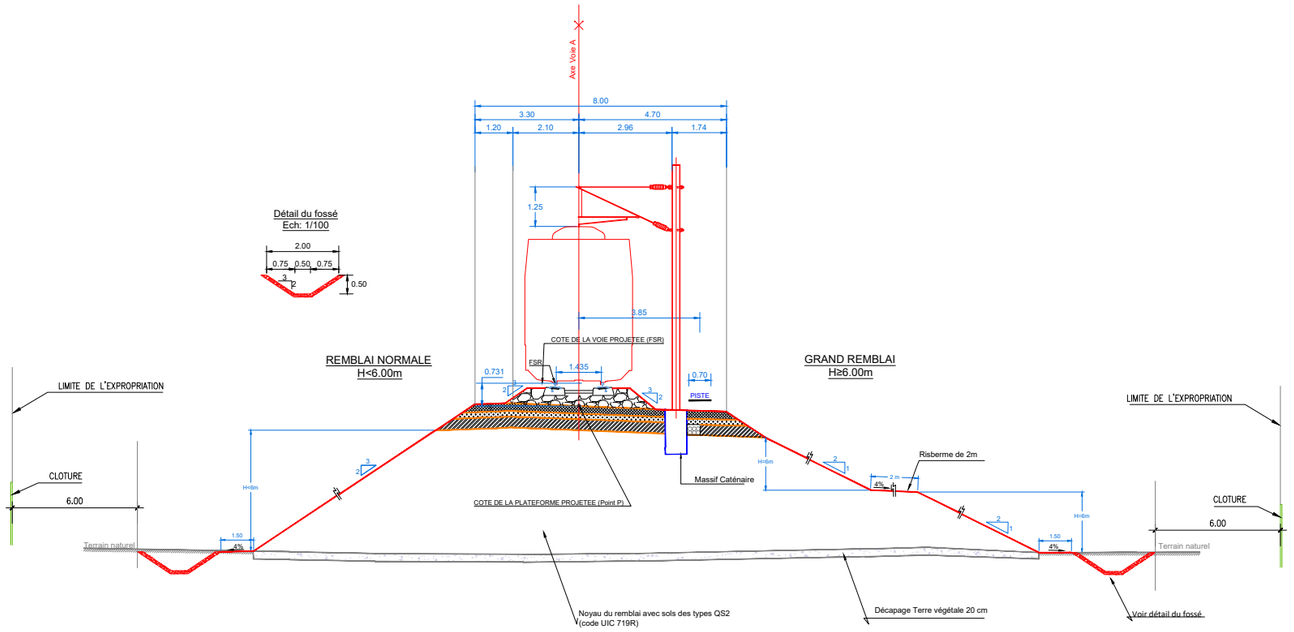
Volume déblais (m^3)	Volume remblais (m^3)
203157,5	509803,3

Les résultats obtenus seront utilisés pour l'estimation du cout de projet.

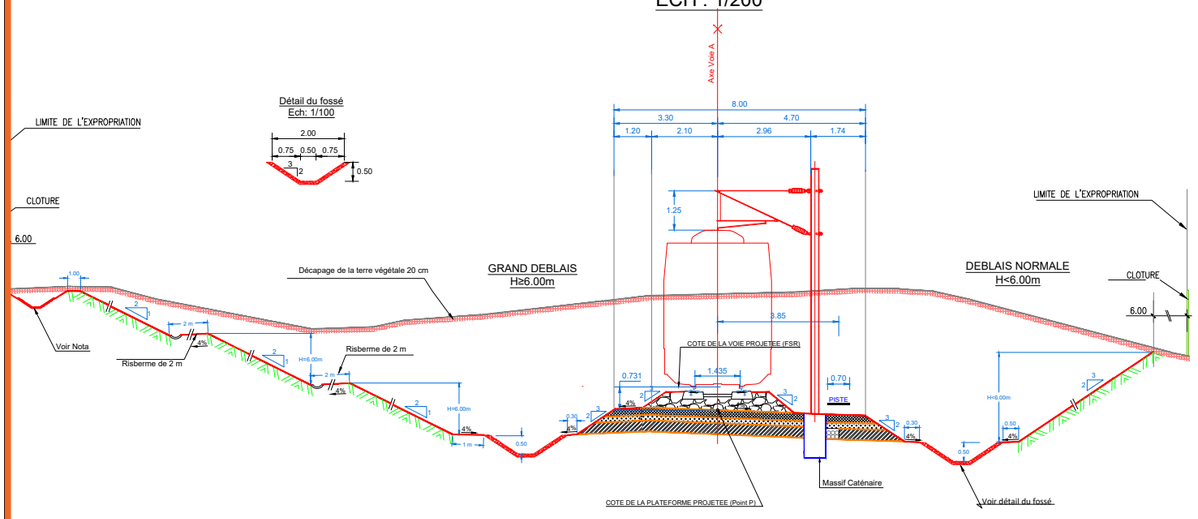
IX.5 Conclusion

Il est important de prendre en compte le gabarit requis pour l'extension de la voie lors de la conception de la nouvelle ligne. Ainsi, la plate-forme de la nouvelle ligne est dimensionnée avec une largeur de 8 mètres. Cette dimension garantit l'espace nécessaire pour assurer le bon fonctionnement et la sécurité de la voie.

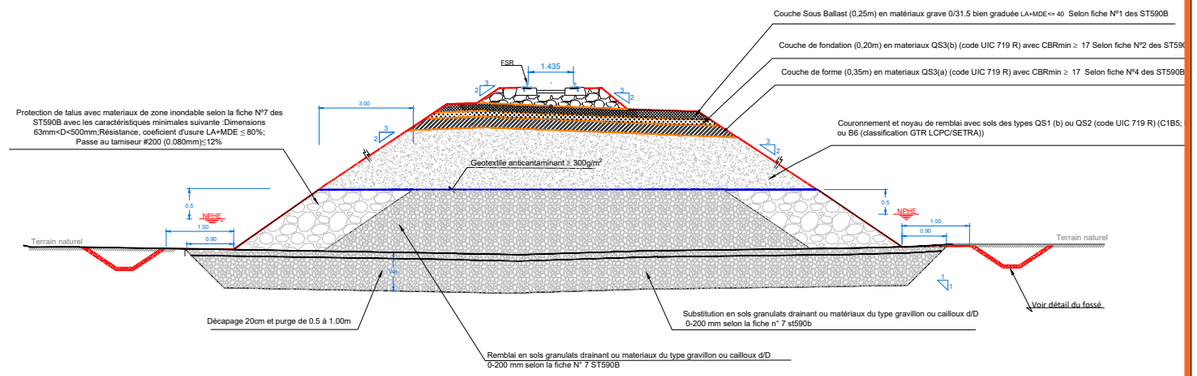
PROFIL EN TRAVERS TYPE
PLATEFORME A VOIE UNIQUE -Remblais-
ECH : 1/200



PROFIL EN TRAVERS TYPE
PLATEFORME A VOIE UNIQUE -Déblais-
ECH : 1/200



PROFIL TRAVERS TYPE DE REMBLAI EN ZONE INONDABLE
AVEC PURGE DE LA FONDATION ET PROTECTION DE TALUS
ECH : 1/200



Important

- Afin d'assurer un bon sol support aprés le décapage et la purge de terrain,on doit mesurer le module EV2 sous chargement statique a la plaque qui doit etre supérieur ou égale 20 MPa.
- Aprés la mise en place du matériaux granulaire,il faut avoir un module EV2 minimal de 60 MPa.

Matériaux et Notes

- **Couche de Ballast (Min 0.30m):** lit de gravier ou de pierre concassée de granulomrtrie entre 25-50mm LA_22<=MDA, 8.5<=LA2+MDA 33<=selon norme de l'EN2002 13450
- **Couche Sous Ballast 0,25(m)**en matériaux grave 0/31.5bien graduée LA+MDE 40<=
- **Couche de fondation 0,20(m)**en materiaux QS(3b) (code UIC 719R)
- **Couche de forme 0,35(m)**en materiaux QS(3a) (code UIC 719R)

ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire voie unique Ain bieda-khenchela	DJAALEB larbi	DERRADJI	1/200	3	2023/2024

CHAPITRE X : CONCEPTION DE LA GARE FEKRINA

X. Conception et aménagement de la gare

X.1 Introduction

Une gare ferroviaire est un endroit où les trains s'arrêtent. Elle est composée de différentes installations qui ont deux objectifs principaux : permettre aux passagers de monter et descendre des trains, et faciliter le chargement et le déchargement des marchandises. Certaines installations ont également un rôle essentiel dans la sécurité du trafic ferroviaire.

X.2 Type de gare :

On distingue plusieurs types des gares :

- Gare de voyageur.
- Gare marchandise.
- Gare mixte.
- Gare de croisement.

X.3 Etude du plan de masse d'une gare :

Lors de la conception d'une gare, il est essentiel de prendre en compte les différentes fonctions des installations de base qui la composent. Pour cette étape (03), trois éléments sont nécessaires pour étudier le plan global de la gare :

- Les différentes catégories de voies permettent de déterminer le rôle et les composants de la gare.
- Le trafic est un élément crucial pour estimer et évaluer l'importance de la gare, afin de la concevoir de manière appropriée.
- L'emplacement de la gare est généralement l'élément déterminant qui influence les deux points précédents.

X.4 Aménagement de la gare

X.4.1 Installations d'une gare à voyageur :

Dans une gare ferroviaire, on trouve différentes installations et constructions qui varient en fonction du type, de la conception et de la catégorie de la gare. Voici quelques exemples :

- **Le bâtiment des voyageurs :** Il s'agit d'un espace dédié aux voyageurs, comprenant une salle d'attente, un guichet de billets, un poste de sécurité, un kiosque, etc.

- **Les bâtiments à usages divers (B.U.D) :** Ce sont des espaces de service réservés aux agents de chemins de fer.
- Les quais : Ce sont des bandes parallèles aux voies ferrées qui permettent l'accès aux trains.
- **Les abris de quais :** Ce sont des installations situées sur les quais qui ont pour but de protéger les voyageurs des intempéries.
- **Les passages souterrains et les passerelles :** Ils sont construits dans les gares pour permettre aux voyageurs de traverser les voies et de changer de quai en toute sécurité.

X.4.2 Marge de glissement à l'aval des signaux :

Le tronçon de voie situé après un signal fermé, où aucun autre train n'est autorisé à circuler, est appelé marge de glissement. Dans certains réseaux, cette zone doit rester libre de toute occupation.

Les longueurs de la marge de glissement sont définies selon la norme UIC 739 de la manière suivante :

- Pour une vitesse de ligne supérieure ou égale à 60 km/h, la longueur de la marge est de 200 mètres.
- Pour une vitesse comprise entre 40 km/h et 60 km/h, la longueur de la marge est de 100 mètres.
- Pour une vitesse inférieure à 40 km/h, la longueur de la marge est de 50 mètres.

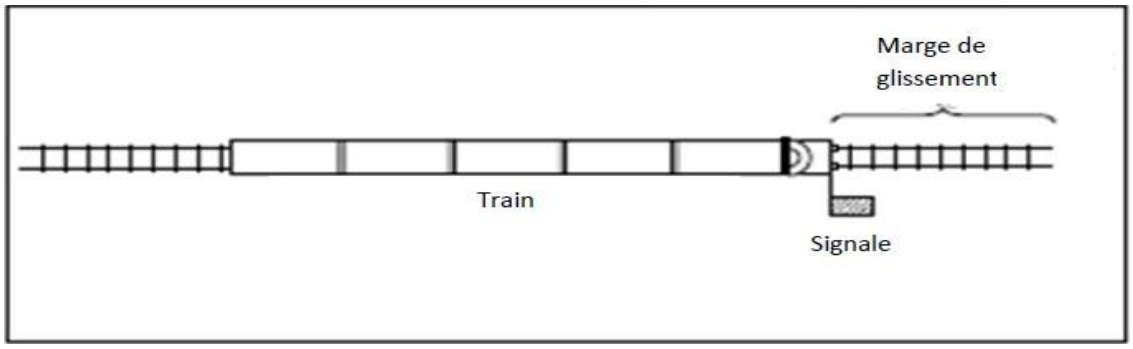


Figure X. 1:Schématisation de la marge de glissement

X.4.3 Garage franc :

De chaque côté de la voie de stationnement, le garage franc désigne la portion de voie réservée aux véhicules garés. Le garage franc est positionné par rapport au cœur de l'appareil de voie à une distance GF, déterminant ainsi l'emplacement de l'élément.

$$GF = 3.57 \times N + 1 \quad \text{avec} \quad N = \tan(\alpha).$$

N : varie selon l'ouverture de l'appareil de voie.

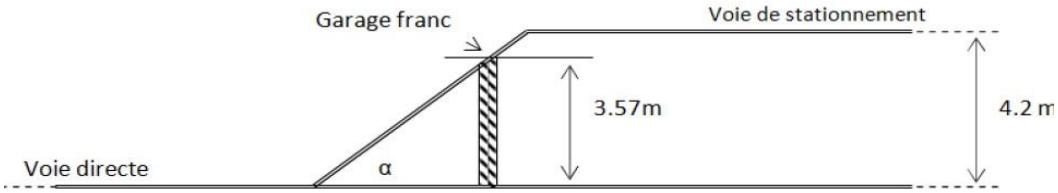


Figure X. 2: Schéma illustratif de garage franc

X.4.4 La longueur utile d'une voie de stationnement :

La longueur de garage franc est la distance requise pour permettre au train de se stationner sur la voie de dépassement sans entraver la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement adjacentes. La longueur utile correspond à la distance entre deux emplacements de garage franc.

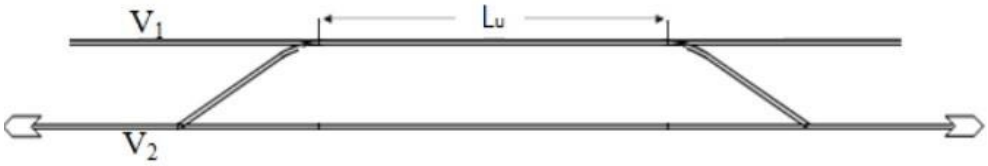


Figure X. 3: longueur utile

Les valeurs de la longueur utile sont spécifiées dans la norme SNTF (Aménagement des gares et tracé des voies) comme suit :

- La longueur utile minimale pour les trains voyageurs est de 426 mètres.
- La longueur utile minimale pour les trains de marchandises sur la voie principale est de 870 mètres.

X.4.5 Heurtoir :

Il s'agit de dispositifs placés à l'extrémité d'une voie ferrée pour arrêter les trains qui ne s'arrêtent pas à temps, ou en cas de dérive, pour les empêcher de quitter la voie.



Figure X.4 un heurtoir[16]

X.5 Caractéristiques géométriques des gares :

X.5.1 Déclivité dans les gares :

En gare, il est nécessaire de limiter la pente en fonction des activités prévues. Dans notre projet, la pente est maintenue à 0 ‰ afin d'éviter tout déplacement indésirable des trains.

X.5.2 Quais :

1. **Les longueurs des quais (normes SNTF) sont les suivantes :**

- Grande ligne : 450 mètres.
- Service régional : 350 mètres.
- Banlieue : 225 mètres.

2. **La largeur recommandée des quais selon la SNTF pour une gare de ce type est la suivante :**

- Quai intermédiaire : largeur supérieure à 8 mètres.
- Quai extérieur : largeur d'au moins 6 mètres.

3. **La hauteur des quais :**

- Dépend du type de matériel roulant susceptible de s'y arrêter. La hauteur du bord du quai peut être de 350, 550 ou 760 mm au-dessus de la surface de roulement, en fonction de ce type de matériel .

[16]https://s3.eu-west-3.amzonaws.com/a-t-v/thumbnails/1080o/ermont_040-5c500bbb8e31c.jpeg

4. La distance à l'axe de la voie :

Pour les bordures de quai implantées à la hauteur nominale de 550 mm et de 760 mm, la distance nominale à l'axe de la voie est fixée à :

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

La valeur de S est donnée par la formule :

$$S\ (mm)= (3750/R) + ((I-1435)/2)$$

- R : le rayon de la voie (m).
- I : l'écartement de la voie (mm).

5. L'entre axe des quais :

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

X.5.3 Les appareils de voie

Les conditions d'implantation selon SNTF sont données comme suit :

1. Conditions générales :

Les appareils de voie seront installés avec une déclivité constante, tout comme les communications. Les appareils de voie seront généralement alignés, mais dans certaines zones complexes, notamment lors de la connexion entre la nouvelle ligne et l'ancienne ligne, ils pourront exceptionnellement être posés en courbe.

De plus, dans les zones proches d'un ouvrage d'art, les appareils de voie devront être positionnés à des distances minimales qui dépendent de la longueur L de l'ouvrage.

Tableau X-1: longueurs minimales de tracé [17]

L_{Min}	Longueur de L'appareil
≥ 20 m	L ≤ 30 m
≥ 50 m	30 m < L ≤ 90 m
≥ 50 m	L > 90 mètres depuis le côté opposé à l'appareil de dilatation.

[17] REFERENTIEL TECHNIQUE SNTF

Si la longueur La rend nécessaire pour l'installation d'un appareil de dilatation, celui-ci devra être implanté à une distance minimale de 100 mètres de l'extrémité de l'appareil de voie.

2. Règles d'implantation :

- **En tracé en plan :**

L'implantation des appareils de voie s'effectuera conformément aux longueurs minimales du tracé retenues ci-dessous :

- **En pointe :**

La longueur minimale d'alignement (L1) devra être égale à la moitié de la vitesse de franchissement en voie déviée (Vd), exprimée en kilomètres par heure.

- **En talon de la branche déviée** :

➢ **Si la sortie d'appareil est en alignement**

La longueur minimale d'alignement à respecter devra être égale à Vd/2.

➢ **Si la sortie d'appareil est en courbe :**

- Pour Vd < 100, il est recommandé de prévoir un alignement d'une longueur minimale équivalente à Vd/2 ou de prolonger la courbe de l'appareil en utilisant un raccordement progressif.
- Pour 100 ≤ Vd < 160, il est conseillé de prolonger la courbe de la voie déviée avec un raccordement progressif dans le même sens, pour toutes les nouvelles situations.
- Pour Vd ≥ 160, la condition précédente est obligatoire. Quelle que soit la valeur de Vd, la longueur des raccordements sera calculée de manière à obtenir une variation maximale d'insuffisance de dévers (ΔI/Δt) de 75 mm/s (valeur normale) et 90 mm/s (valeur exceptionnelle).

- **En talon de la voie directe :**

La longueur minimale d'alignement L2 doit être réservée et doit être supérieure à 50 mètres.

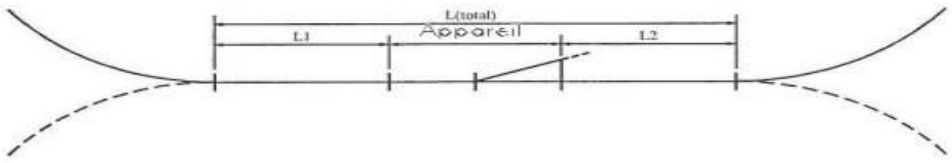


Figure X.5: schéma illustratif [18]

[18] REFERENTIEL TECHNIQUE SNTF

Tableau X- 2:les branchements[19]

Domaine d'emploi du branchement	Vitesse (Km/h)	Type de branchement
- Dans les faisceaux de classement, de remisage, les voies de nettoyage et toutes les voies de manœuvre.	40	R190- 1/7 tg (0,143) R190- 1/9 tg (0,111)
- En tant que branchement d'entrée et de sortie pour les voies de quai des trains de voyageurs. - Dans le faisceau de transfert de la gare de marchandises. - Dans la voie de circulation des trains de marchandises.	50	R300- 1/9 tg (0,111)
- Comme branchement d'entrée et de sortie des voies de quai utilisées par les trains de banlieue ou de voyageurs. - Dans les communications entre les voies de ligne. - Dans la bifurcation d'une voie de ligne. - Comme branchement d'entrée et de sortie des gares.	60	R500- 1 /12 (0,083)

X.6 Application Au Projet

La nouvelle gare de FKIRINA, située au début de mon projet au PK 19+605, est une gare extérieure conçue pour accueillir les voyageurs. Elle est composée de deux voies et deux quais Banlieue d'une largeur de 6 mètres et d'une longueur de 225 mètres. Les voies A (voie principale) et B sont destinées à recevoir des trains d'une longueur maximale de 750 mètres. Cette gare extérieure connaîtra un trafic voyageur moyen.

[19] REFERENTIEL TECHNIQUE SNTF

➢ **Quais voyageurs :**

- **Quai A** : a une longueur de 225 m et une largeur de 6 mètres, localisé en face bâtiment voyageur.
- **Quai B** : a une longueur de 225 m et une largeur de 6 mètres.
- **La distance à l'axe de la voie :** L (mm)=1650+ (3750/∞) + ((1435-1435) /2) =1650mm.
- **Entre–axe des quais :** Pour notre projet entraxe entre les deux quais A et B est e(ab) = 13.5m.
- **Hauteur des quais :** quai mi-haut H= 55 cm.

➢ **Entraxe entre les voies**

- Entraxe entre les voies est de 4.2 m (entraxe minimal selon SNTF (aménagement et gare tracé des voies).

➢ **La longueur utile d'une voie de stationnement :**

- Selon la SNTF pour les voies de gare voyageurs : la longueur minimale est 1200 m
- Voie V1 est de 1355 m (voie principale).
- Voie V2 : Lu=1200 m.

➢ **Longueur de garage de franc** :

Pour l'appareil de voie type 1/12 : lg= 44m

Pour l'appareil de voie type 1/9 : lg= 38m

➢ **La passerelle**

- Passerelle supérieure
- Passerelle inférieure

Pour notre gare, un passage souterrain est conçu pour faciliter les déplacements des passagers à l'intérieur de la gare, entre les quais et les bâtiments des voyageurs. Les dimensions du passage souterrain sont les suivantes :

- La largeur doit être de B ≥ 2,4 m, donc nous choisissons B= 3 m.
- La hauteur doit être de H ≥ 2,4 m, donc nous choisissons H= 3 m.

X.7Assinaissement des gares

X.7.1 Assainissement transversale :

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

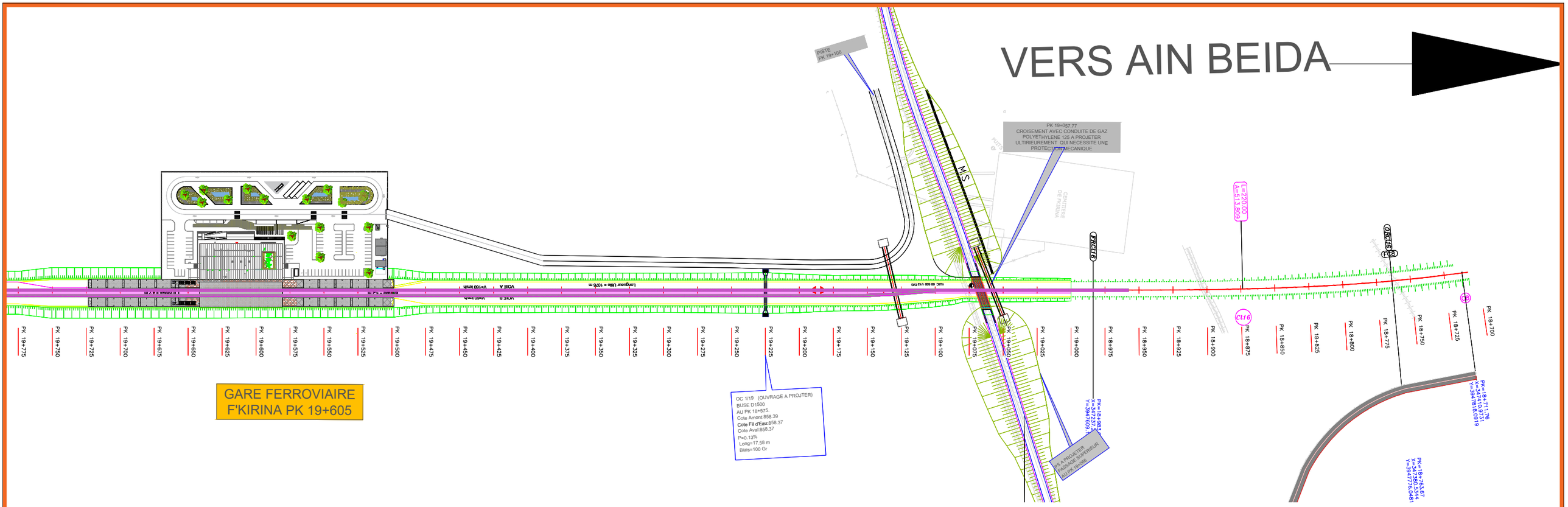
X.7.2 Assainissement longitudinal :

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.

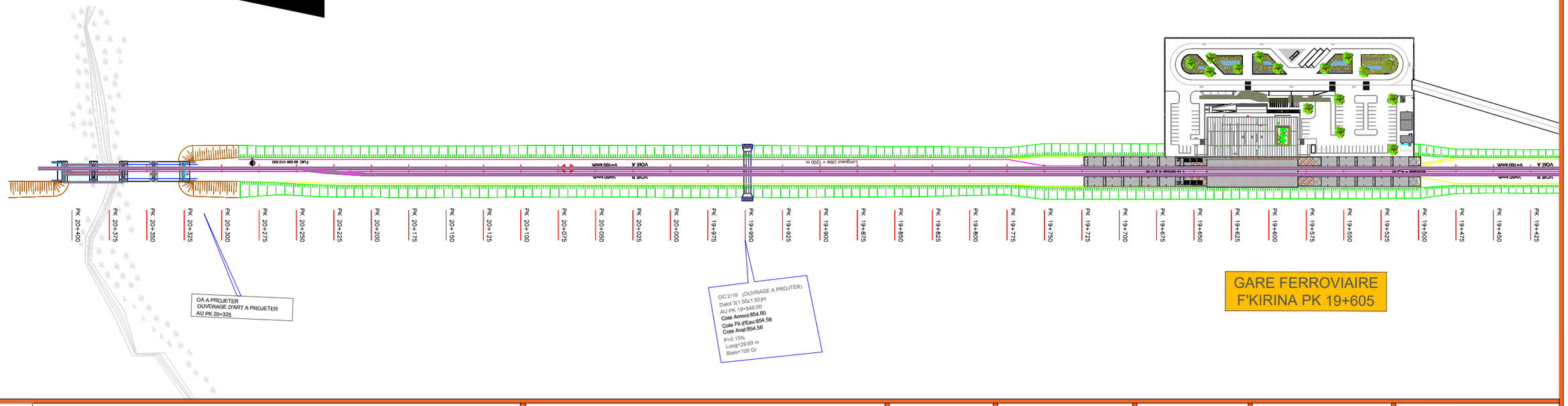
X.8 Conclusion

L'aménagement de la Gare Fekrina a été réalisé de manière à répondre aux besoins de la région, que ce soit en termes de transport des voyageurs, de transport des marchandises, ainsi que pour soutenir le développement commercial et économique de cette région.

VERS AIN BEIDA



VERS KHENCHELA

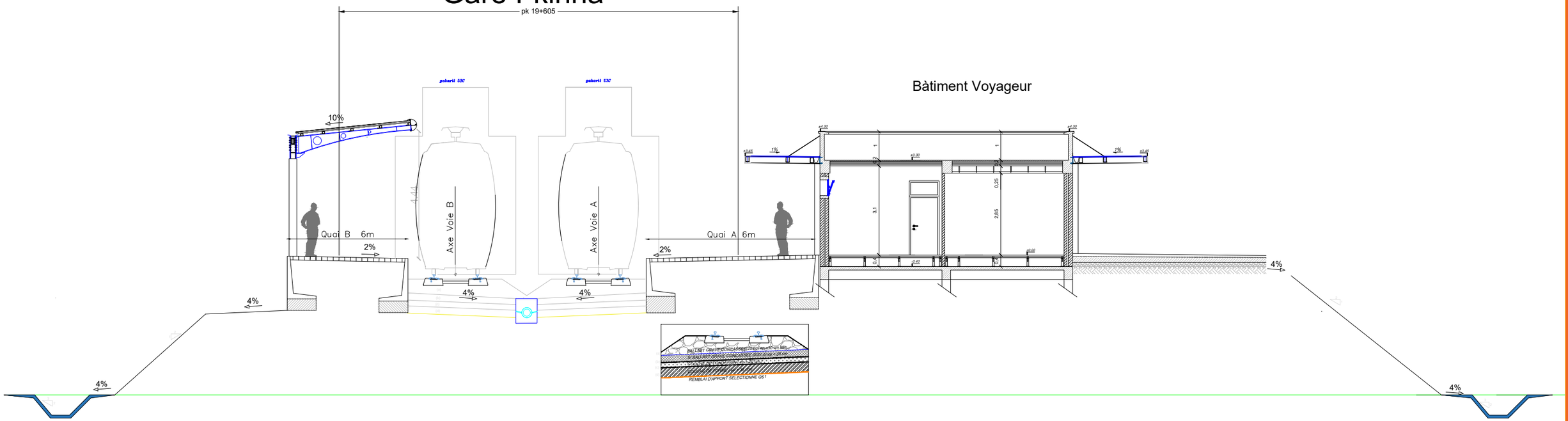


ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire voie unique Ain bieda-khenchela	DJAALEB larbi	DERRADJI	1/4000	3	2023/2024

Gare Fkirina



ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire voie unique Ain bieda-khenchela	DJAALEB larbi	DERRADJI	1/150	5	2023/2024

CHAPITRE XI : SIGNALISATION FERROVIAIRE

XI. Signalisation ferroviaire

XI.1 Introduction :

La signalisation ferroviaire est un ensemble de signaux et de dispositifs de sécurité qui guident et contrôlent la circulation des trains sur les voies ferrées. Son objectif principal est d'assurer la sécurité des voyageurs et du personnel ferroviaire en prévenant les collisions, les déraillements et autres accidents ferroviaires.

XI.2 Les principaux risques de signalisation

- Les collisions de trains peuvent être provoquées par des erreurs humaines, des défaillances techniques, une mauvaise gestion du trafic ferroviaire, des conditions météorologiques extrêmes ou d'autres facteurs.
- Les déraillements peuvent être causés par différents facteurs, tels que des problèmes avec les rails, les roues ou les systèmes de suspension des trains.
- Les accidents aux passages à niveau sont souvent causés par des conducteurs de véhicules qui ne respectent pas les signaux de signalisation, des problèmes de visibilité ou des dysfonctionnements des barrières de sécurité.

XI.3 Les objectifs de la signalisation

La signalisation ferroviaire a plusieurs objectifs principaux :

- La sécurité : Elle garantit la sécurité des voyageurs et du personnel en indiquant la position des trains, les vitesses autorisées, les zones de rencontre, les zones de ralentissement, etc.
- L'efficacité : Elle permet une gestion efficace du trafic ferroviaire en indiquant aux conducteurs de trains les voies à emprunter, les points de croisement, les possibilités d'itinéraire, etc.
- La capacité : Elle optimise la capacité des voies ferrées en régulant la circulation des trains pour éviter les conflits et réduire les temps d'attente.
- La fiabilité : Elle garantit la fiabilité du système ferroviaire en fournissant des informations précises et en temps réel aux conducteurs, aux opérateurs et aux passagers.
- La qualité de service : Elle améliore la qualité de service offerte aux passagers en réduisant les retards, en évitant les incidents et en assurant une régularité accrue des trains.

L'objectif principal de la signalisation ferroviaire est d'assurer la sécurité des trains et des

Passagers, de prévenir les accidents ferroviaires et de permettre une circulation fluide et efficace des trains sur les voies, tout en augmentant le débit.

XI.4 Implantation des signaux en Algérie :

En Algérie, l'implantation des signaux ferroviaires respecte les normes internationales en matière de sécurité ferroviaire. Les signaux sont positionnés le long des voies à des emplacements stratégiques, en fonction de leur rôle et de leur fonction dans le système de signalisation ferroviaire.

Les signaux lumineux sont les plus fréquemment utilisés et leur coordination est assurée par un système informatisé de contrôle de la circulation des trains.

La maintenance régulière des signaux est effectuée pour garantir leur bon fonctionnement et assurer leur conformité aux normes de sécurité.

XI.5 Type des signaux

Les signaux ferroviaires sont généralement classés en deux catégories principales :

Les signaux de vitesse : ils fournissent au conducteur des informations sur la vitesse à laquelle il peut circuler.

Les signaux de protection et d'avertissement : ils indiquent la présence de trains en approche, de travaux sur la voie ou de limitations temporaires de vitesse.

Ces signaux peuvent être de deux types : mécaniques ou électroniques.

- **Les signaux mécaniques :** sont généralement constitués de bras mobiles, de lumières colorées ou de feux de position.
- **Les signaux électroniques** : utilisent des panneaux LED et des signaux sonores.
- En ce qui concerne les cibles, les types utilisés varient en fonction du signal :
- **Les signaux principaux** : utilisent des cibles de type 1 ou de type C.
- **Les signaux d'avertissement** : utilisent des cibles de type 4 ou de type R.
- **Les carrés de type bas :** positionnés sur les voies principales, utilisent des cibles de type K.

Ces différents types de signaux et de cibles sont essentiels pour assurer la sécurité et le bon fonctionnement du système de signalisation ferroviaire.

XI.6 Catégories des signaux

Les signaux ferroviaires se divisent en deux catégories : les feux et les panneaux.

Les signaux sont implantés à gauche de la voie car les trains circulent à gauche

X.7 Principe de signalisation ferroviaire :

Le principe de la signalisation ferroviaire est de fournir aux conducteurs de trains les informations nécessaires pour assurer une conduite sécurisée, éviter les collisions avec d'autres trains, et respecter les limites de vitesse et les règles de circulation sur les voies ferrées.

X.7.1 Principe de base de cantonnement

La ligne de chemin de fer est divisée en cantons, qui sont des sections de voie protégées par des signaux. Ces signaux assurent l'espacement des trains circulant dans la même direction sur une même voie.

Le cantonnement est réalisé à l'aide d'un système de signalisation qui utilise des signaux le long de la voie pour indiquer aux conducteurs si la section de voie est libre ou occupée. Les signaux peuvent avoir différentes couleurs et formes, mais ils ont tous la même signification de base. Un signal vert indique que la voie est libre et qu'un train peut avancer en toute sécurité, tandis qu'un signal rouge indique que la voie est occupée et qu'un train doit attendre.

Le cantonnement est mis en œuvre de différentes manières, selon le système de signalisation utilisé. Les systèmes classiques utilisent des signaux mécaniques le long de la voie. Les systèmes plus modernes, tels que la signalisation électronique ou en cabine, utilisent des circuits électriques et des systèmes informatiques pour contrôler les signaux et les dispositifs de verrouillage.



Figure XI. 1:Schéma illustratif de canton[20]

[20] Les fondamentaux de la SNCF : Le canton, le circuit de voie et la signalisation – Tours – Orléans – Paris (maligneter.co

Il existe différents systèmes utilisés pour gérer les signaux ferroviaires, tous visant à assurer la sécurité des trains et des passagers. Voici quelques exemples :

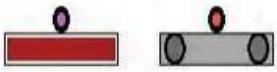
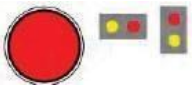
- **Le système de signalisation à bloc automatique (BAP) :** Ce système utilise des détecteurs de train pour connaître la position des trains et des signaux pour contrôler leur mouvement. Il est couramment utilisé dans les réseaux ferroviaires urbains, régionaux et de banlieue.
- **Le système de signalisation à bloc automatique lumineux (BAL) :** Ce système utilise des signaux lumineux pour communiquer avec les conducteurs de trains. Il surveille la position des trains et leur donne des instructions pour contrôler leur vitesse et leur mouvement.
- **Le système de signalisation à bloc automatique à enclenchement automatique (BAA) :** Ce système utilise des signaux mécaniques pour communiquer avec les conducteurs de trains. Il surveille la position des trains et leur donne des instructions pour contrôler leur vitesse et leur mouvement.
- **Le système de signalisation à bloc automatique intermittent (BAI) :** Ce système utilise des signaux intermittents pour surveiller la position des trains et leur donner des instructions pour contrôler leur vitesse et leur mouvement. Il est utilisé pour les trains à grande vitesse et les lignes à forte capacité.
- **Le système de signalisation européen (ERTMS) :** Ce système est utilisé dans toute l'Europe pour garantir la sécurité et la régulation du trafic ferroviaire. Il utilise des signaux numériques pour communiquer avec les conducteurs de trains et peut être utilisé sur des lignes à grande vitesse.

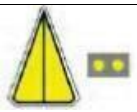
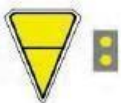
Ces systèmes peuvent varier selon les régions et les pays, mais leur objectif reste le même : assurer une circulation ferroviaire sécurisée et efficace.

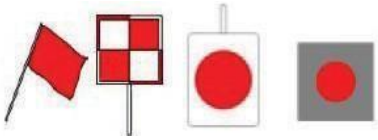
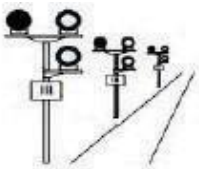
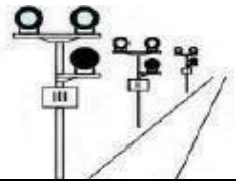
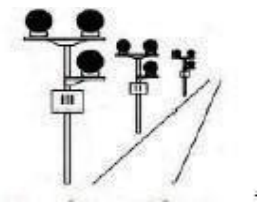
Tableau XI-1: Les principaux signaux ferroviaires et leur indication[21]

Signal	Indication	Signalisation lumineuse	Signalisation mécanique
Signal ouvert voie libre	La voie libre indique au conducteur que la circulation en marche est autorisée		
Le feu vert clignotant (vl)	Il demande 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 CarréViolet fermé + feude Nuit	Commande l'arrêt,iles installées sur les voies de service, son Ouverture seule.		
Guidon d'arrêt			
Sémaphore/feu Rouge	Il commande au mécanicien de s'arrêter avant le Signal		
Feu rouge clignotant	Marche sans dépasser la vitessede 15 km/h au franchissement de Ce signal		

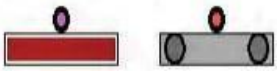
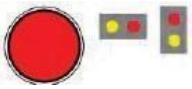
[21] Etude APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique avec une vitesse 220 Km/h entre Boughezoul - Djelfa sur un tronçon du PK136+00au PK141+00 avec conception de la gare intermodale d'Ain Oussera- IGHEMINE Nassim

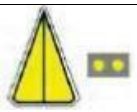
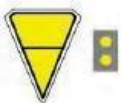
Feu blanc	Il commande ou confirme au conducteur l'observation de la Marche en manœuvre		
Feu blancclignotant	Il interdit dans tousles cas le départ en Ligne d'un train		
Les feux deheurtoir	Ils servent à repérerDenuit, ou en gare, les heurtoirs de fin de voie		
L'avertissement/feu jaune	Il commande au mécanicien de pouvoir s'arrêter avant les signauxsuivants : Carré, sémaphore, Carré violet, un rougeclignotant		
Le feu jaune Clignotant(A)	Il commande au mécanicien d'être enmesure de s'arrêter avant le signal annoncé à distance réduite par le signal Suivant.		
Le disque D	Il commande au mécanicien de marquer l'arrêt aupremier signal où Aiguillage rencontré		
La bande limoneuse jaune horizontal	Il commande au conducteur d'êtreen mesure de s'arrêter quai surune distance Réduite		

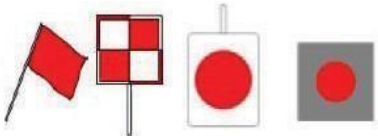
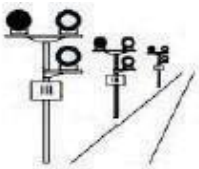
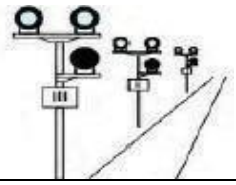
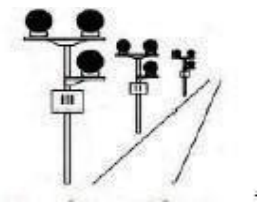
Le ralentissement30 Fermé	Limiter la vitesse à30km/h Pour franchirune aiguille		
Le rappel 30 fermé			
Le ralentissementet rappel 60 km/h	Limiter la vitesse à60km/h Pour franchir une aiguille		

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 alternéde deux feux blancssur une ligne Verticale	
	Refouler par L'allumage alternéde deux feux blancs sur une ligne horizontale	
	Arrêter par L'extinction complète des feuxprésentés.	
Le signal fin decaténaire	Fin de caténaire	

Signal	Indication	Signalisation lumineuse	Signalisation mécanique
Signal ouvert voie libre	La voie libre indique au conducteur que la circulation en marche est autorisée		
Le feu vert clignotant (vl)	Il demande 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 CarréViolet fermé + feude Nuit	Commande l'arrêt,iles installées sur les voies de service, son Ouverture seule.		
Guidon d'arrêt			
Sémaphore/feu Rouge	Il commande au mécanicien de s'arrêter avant le Signal		
Feu rouge clignotant	Marche sans dépasser la vitessede 15 km/h au franchissement de Ce signal		

Feu blanc	Il commande ou confirme au conducteur l'observation de la Marche en manœuvre		
Feu blancclignotant	Il interdit dans tousles cas le départ en Ligne d'un train		
Les feux deheurtoir	Ils servent à repérerDenuit, ou en gare, les heurtoirs de fin de voie		
L'avertissement/feu jaune	Il commande au mécanicien de pouvoir s'arrêter avant les signauxsuivants : Carré, sémaphore, Carré violet, un rougeclignotant		
Le feu jaune Clignotant(A)	Il commande au mécanicien d'être enmesure de s'arrêter avant le signal annoncé à distance réduite par le signal Suivant.		
Le disque D	Il commande au mécanicien de marquer l'arrêt aupremier signal où Aiguillage rencontré		
La bande limoneuse jaune horizontal	Il commande au conducteur d'êtreen mesure de s'arrêter quai surune distance Réduite		

Le ralentissement30 Fermé	Limiter la vitesse à30km/h Pour franchirune aiguille		
Le rappel 30 fermé			
Le ralentissementet rappel 60 km/h	Limiter la vitesse à60km/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 alternéde deux feux blancssur une ligne Verticale	
	Refouler par L'allumage alternéde deux feux blancs sur une ligne horizontale	
	Arrêter par L'extinction complète des feuxprésentés.	
Le signal fin decaténaire	Fin de caténaire	

XI.8 Signalisation moderne :

La signalisation moderne dans le domaine ferroviaire se caractérise par l'utilisation de technologies avancées pour garantir la sécurité, la fiabilité et la régularité du trafic ferroviaire

Tableau XI-2:résume les caractéristiques de la signalisation moderne

Plaque d'identification	Indication
	Un signal carré
	Un sémaphore de B.A.L ou d'un feu rouge clignotant
	Un sémaphore de B.A.P. R
	Un sémaphore commandant l'entrée d'un canton de B.M
	Un disque
	Un advertisement

XI.9 Conclusion

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

CHAPITRE XII : ETUDE D'IMPACT SUR LENVIRONNEMENT

XII. Impact sur l'environnement

XII.1 Introduction

Le transport ferroviaire est considéré comme l'un des moyens de transport les plus durables et respectueux de l'environnement. Il présente de nombreux avantages, tels que la réduction de la congestion routière, la diminution des émissions de gaz à effet de serre et la réduction de la pollution de l'air.

Une étude d'impact sur l'environnement se compose de trois parties importantes. La première consiste à présenter la situation initiale de la zone d'étude, la deuxième partie évalue les impacts potentiels générés, et enfin la dernière partie propose des mesures en faveur de l'environnement à envisager.

L'objectif d'une étude d'impact sur l'environnement est d'identifier, évaluer et mesurer les effets directs et indirects, à court, moyen et long terme, du projet en question. Elle recommande également les mesures appropriées pour limiter les effets négatifs du projet sur l'écosystème et la population.

XII.2 Objectifs de l'étude d'impact sur l'environnement

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

- Assurer l'intégration des contraintes du milieu dans la démarche de conception du projet.
- Identifier et évaluer l'importance des impacts attendus du projet sur le milieu physique,biologique et humain, ainsi que sur le climat sonore et le paysage.
- Proposer des mesures visant à diminuer les impacts identifiés afin d'optimiser l'intégration duprojet dans le milieu récepteur.

XII.3 Présentation du projet

Le présent document a pour objet une étude d'impact sur l'environnement du projet de la desserte ferroviaire Ain Beida (Oum El Bouaghi) / Khenchela. La longueur totale de la ligne sera d'environ 54 km et la vitesse de 160 km/h. Elle reliera l'agglomération d'Ain Beida (Oum El Bouaghi) à celle d'El Hamma (Khenchela). L'objectif de cette ligne sera de désenclaver la région de Khenchela, mais également de se relier à la rocade des Hauts-Plateaux en direction de Ain M'Lila et de Tébessa

XII.3.1 Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude se situe à la limite des deux wilayas de Khenchela et Oum El Bouaghi. Elle est limitée au nord par la wilaya d'Oum El Bouaghi, plus précisément dans la commune de Fekrina, et au sud par la commune de Khenchela, plus précisément la commune de M'toussa. À l'est, elle est bordée par la commune de Ain Touila, et à l'ouest par la commune de Baghai.



Figure XII. 1:Zone d'implantation du projet[22]

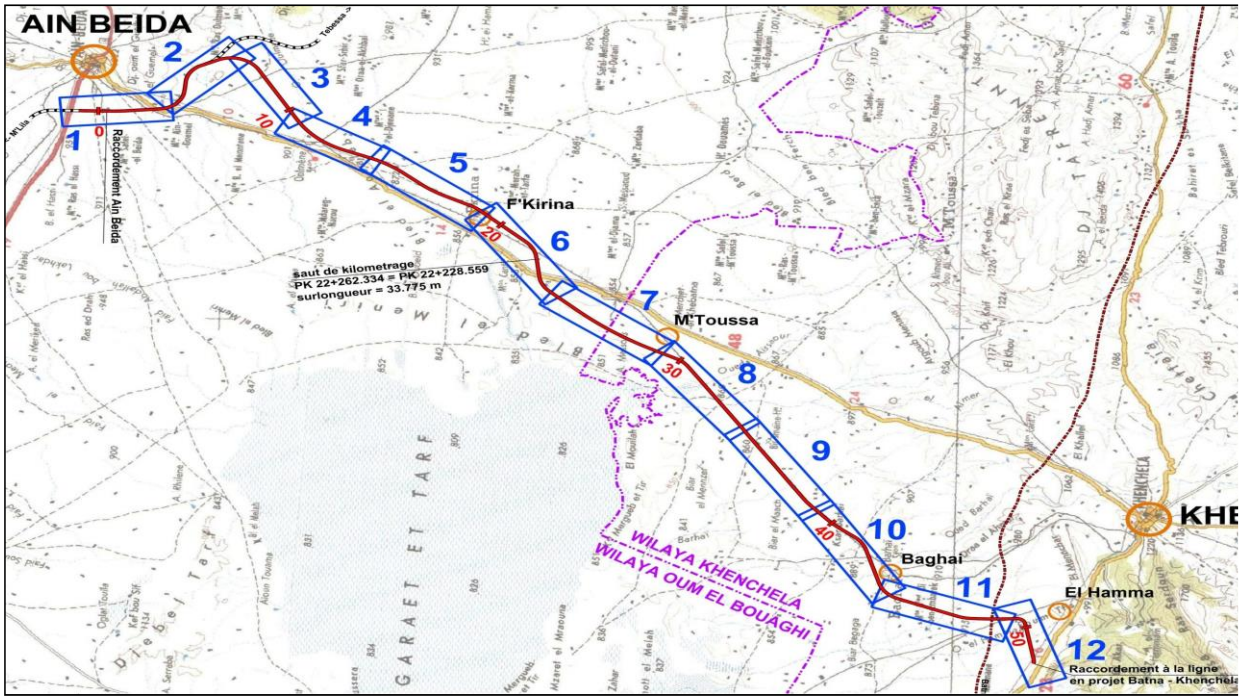


Figure XII. 2:Tracé de la ligne ferroviaire.[23]

[22]Etude APS de là de la desserte ferroviaire Ain-Beida (Wilaya Oum El Boughi) / khenchla /rapport B3 environnement / 08-11-2016

[23] Etude APS de là de la desserte ferroviaire Ain-Beida (Wilaya Oum El Boughi) / khenchla /rapport B3 environnement / 08-11-2016

XII.4 Description de l'état initial du site et de son environnement

XII.4.1 Environnement physique

Une présentation des aspects physiques caractérisant cette région permettra de situer la zone dans son contexte climatique, géologique, géomorphologique, hydrodynamique et sismologique.

XII.4.1.1Géomorphologie

La zone d'étude se situe dans la région de la montagne des Aurès et les vastes plaines de Fekrina et Oum El Bouaghi, à une altitude moyenne de 880 mètres.

XII.4.1.2 Géologique et lithologie

D'après la carte géologique de l'Algérie à l'échelle 1/500 000 des feuilles de Ain Beida et Khenchela, la géologie est principalement marquée par d'importants affleurements triasiques. On trouve également des formations calcaires provenant du quaternaire supérieur de l'étage Maestrichtien et des conglomérats du Miocène.

XII.4.1.3 Climatologie

La région d'étude appartient au domaine bioclimatique semi-aride. Elle se caractérise par des précipitations assez rares, souvent insuffisantes même pour des cultures résistantes à la sécheresse. Par conséquent, le développement du couvert végétal est limité (figure 3)

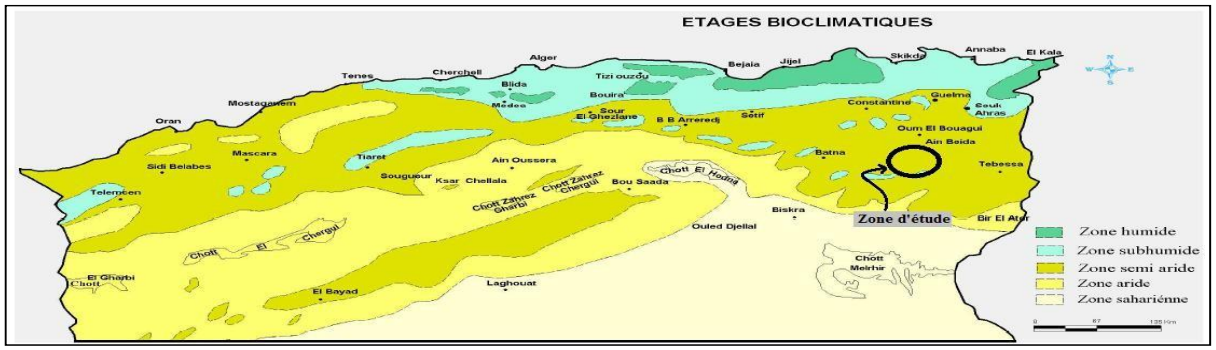


Figure XII. 3:Etages bioclimatiques de la zone d'étude.

XII.4.1.4 Hydrologie et Hydrogéologie

La zone d'étude fait partie du grand bassin versant de l'Oued Seybouse-Mellègue. Le réseau hydrographique de la région est endoréique, ce qui signifie qu'il est caractérisé par des cours

D'eau intermittents.

Les précipitations sont abondantes mais irrégulières, ce qui entraîne souvent des problèmes de crues, d'inondations et de zones marécageuses en hiver. Des études sont en cours pour trouver des solutions à ces inondations.

Il existe des nappes souterraines dans les plaines, notamment à Ain Beida, Fekrina et M'Toussa. Bien que leurs potentiels réels ne soient pas encore clairement définis, elles sont déjà exploitées. De plus, il y a également des nappes souterraines dans la wilaya de Khenchela, comprenant les nappes du plio-quaternaire (Beggaga et Baghaï), du Crétacé supérieur (NSigha) et des grès du Miocène (El Hamma), dont les capacités sont également méconnues.

Sismologie

Selon le Règlement parasismique algérien "RPA 99/version 2003", le territoire national est divisé en cinq (05) régions sismiques.

Le projet se trouve dans les hauts plateaux, une zone classée comme ayant une faible activité sismique. Il est donc soumis à une accélération sismique de 0.12 g, correspondant à la zone 1.

XII.4.2Milieu biologique

XII.4.2.1 La Faune

La zone d'étude est située dans la région des Aurès, qui abrite une faune très diversifiée. On y trouve des espèces typiques des zones sahariennes et des hauts plateaux, telles que des oiseaux, des lézards, des vipères, des renards et des grands corbeaux.

XII.4.2.2 La Flore

D'une manière générale, la région des Aurès fait partie des écosystèmes du nord de l'Algérie. Elle abrite les plus vastes forêts de cèdres Atlantica du pays, couvrant une superficie de 17 000 hectares. On y trouve également des pins, des chênes verts et des genévriers.

XII.4.3 Milieu humain

Pour faciliter cette partie, les principales caractéristiques de l'environnement humain sont illustrées dans la figure (4)

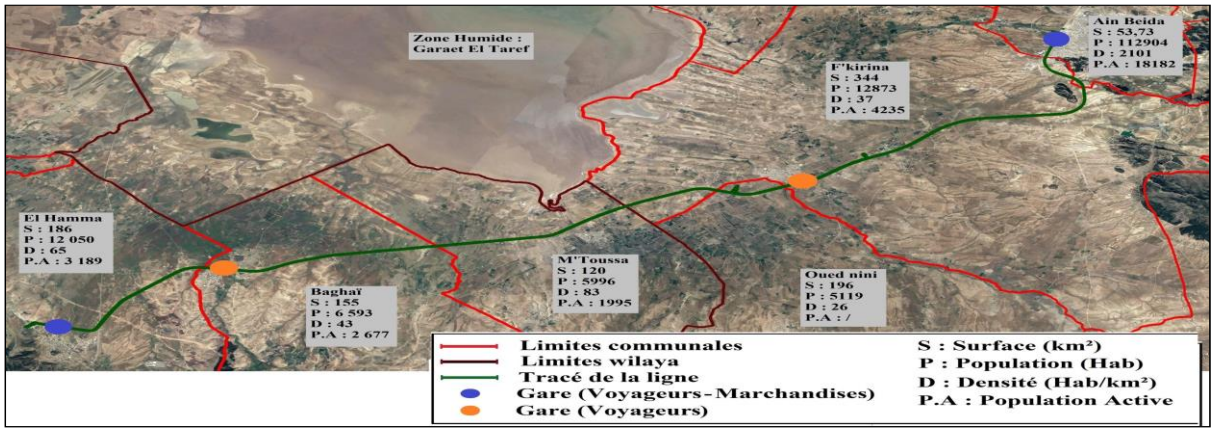


Figure XII. 4:Vu général du milieu humain

XII.4.4 Activités économiques

XII.4.4.1 L'Agriculture

La commune à vocation agricole dispose d'une surface agricole totale (SAT) d'environ 32 593 hectares, répartis comme suit (Figure 5) :

- Terres agricoles : 28 532 hectares,
- Terres pastorales : 2 686 hectares,
- Terres improductives : 609 hectares,
- Terres improductives non affiliées à l'agriculture : 516 hectares,
- Surface forestière : 250 hectares.

Les principales cultures de Fekrina sont le blé dur, le blé tendre et l'orge. Elle cultive également d'autres espèces (Tableau 1). Les caractéristiques agricoles des terres de Fekrina favorisent la production de céréales et de légumes au sein de la commune.

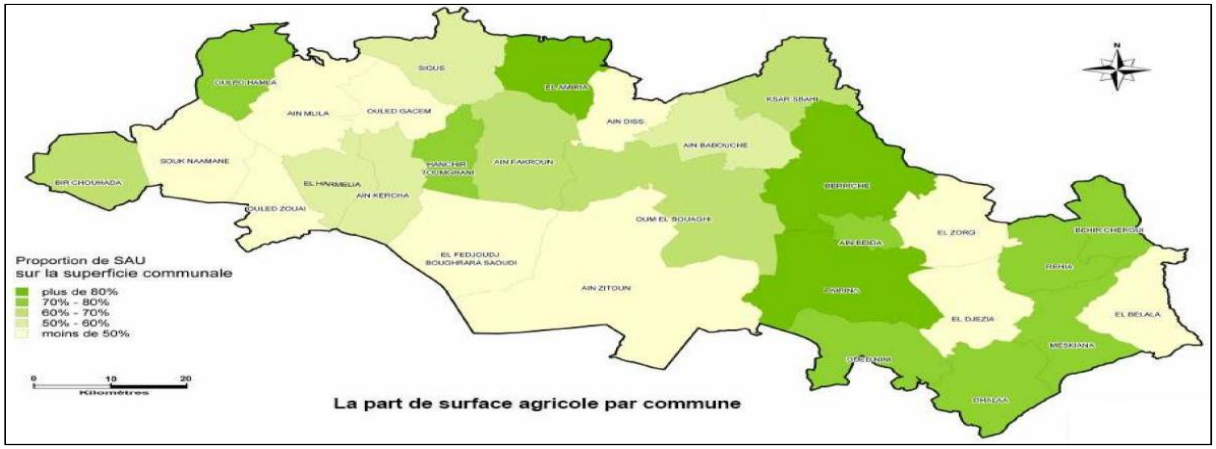


Figure XII. 5: Répartition des surfaces agricoles par communes

Tableau XII- 1 Répartition de la production agricole de Fekrina.

Cultures	Rendement (t / h)
céréales	49 863 t / 4 005 h
Maritage	90 790 / 597 h
Forage	74 500 / 1.250 h
Arboriculture fruitière	715 / 45,5 h

XII.4.4.2 L'industrie :

Il existe une zone d'activité et de stockage à Fekrina de 6 hectares répartis et distribués en 61 parcelles qui ne sont toutefois pas encore aménagées.

XII.5 Identification et description des impacts

XII.5.1 Les impacts positifs du projet :

La réalisation de cette nouvelle ligne aura un impact positif sur la wilaya de Khenchela, tant sur les plans sécuritaire, économique que touristique. Les retombées de cette voie comprennent :

- Le développement du réseau ferroviaire de la wilaya.
- Une amélioration du confort et de la sécurité des déplacements

- Une contribution au développement du tourisme dans la wilaya.
- La stimulation de la croissance économique des régions traversées par le projet.
- La création d'emplois temporaires pendant les travaux de construction, ainsi que de manière durable après leur achèvement.

XII.5.2 Les impacts négatifs :

Effets sur les ressources naturelles et les écosystèmes : Les ressources naturelles concernées par les effets du tracé sont :

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

XII.5.2.1 L'air :

La pollution provenant du fonctionnement des moteurs à combustion interne diesel se caractérise par des émissions de gaz polluants et l'évaporation d'hydrocarbures.

- Effets sur la santé : Cela engendre des nuisances sensorielles telles que le bruit et les odeurs, ainsi que des irritations des voies respiratoires, des yeux et d'autres effets toxiques.
- Effets sur l'environnement : Ces effets concernent principalement :

- Les conséquences sur la végétation
- Les impacts sur le patrimoine

XII.5.2.2 L'eau :

Le risque peut provenir de tous les engins utilisés sur les chantiers, tels que les fuites de gazole, d'huile et les vidanges sauvages. Il peut également provenir d'équipements tels que les centrales à béton utilisées pour la fabrication des traverses et les bâtiments des gares, etc.

XII.5.2.3 La faune et la flore :

Parmi les diverses atteintes au patrimoine, nous nous concentrerons uniquement sur celle concernant la faune sauvage. Les animaux suivent des chemins spécifiques reliant les zones où ils se nourrissent et trouvent de l'eau à des endroits propices pour se réfugier et se reproduire. Lorsqu'une nouvelle infrastructure ferroviaire perturbe ces chemins, les animaux cherchent à

Les rétablir et n'hésitent pas à traverser la voie, ce qui entraîne des accidents.

XII.6 Mesures d'insertion et d'atténuation proposées

Le tableau représente les différents impacts négatifs sur le tronçon étudié et les diverses solutions proposées.

XII.6.1 Phase Construction

Tableau XII- 2:Les différents impacts négatifs sur le tronçon étudié en phase de constructions et les diverses solutions proposées.

Item	Localisation	Impact	Importance De l'effet	Mesures d'atténuation
Risque sue les ressources naturelles	Le long de la ligne, en particulier aux abords des gares.	-Augmentation brusque de l'utilisation des ressources en eau	Moyen	-Rationaliser l'utilisation de l'eau, en particulier dans les zones touchées par la sécheresse.
Risques naturels	Le long de la ligne.			
Risques sur la faune	Le long de la ligne, en particulier à proximité des zones boisées, de la zone humide et des zones agricoles.	-Destruction des zones d'habitat.	Elevé	-Ne pas
Risques sur la flore	Le long de la ligne, en particulier à proximité des zones boisées et de la zone humide.	-Destruction de la flore. -Génération de déchets.	Elevé	-Éviter autant que possible la destruction et revégétaliser autant que possible. Respecter le plan de l'environnement.
Risques sur l'atmosphère	Le long de la ligne.	-Bruits. -Poussières.	Moyen	- Mise en place de murs anti-bruit dans les zones habitées. -Mise en place de systèmes pour capturer les poussières.

Item	Localisation	Impact	Importance De l'effet	Mesures d'atténuation
Risque sue les ressources naturelles	Le long de la ligne, en particulier aux abords des gares.	-Augmentation brusque de l'utilisation des ressources en eau	Moyen	-Rationaliser l'utilisation de l'eau, en particulier dans les zones touchées par la sécheresse.
Risques naturels	Le long de la ligne.			
Risques sur la faune	Le long de la ligne, en particulier à proximité des zones boisées, de la zone humide et des zones agricoles.	-Destruction des zones d'habitat.	Elevé	-Ne pas
Risques sur la flore	Le long de la ligne, en particulier à proximité des zones boisées et de la zone humide.	-Destruction de la flore. -Génération de déchets.	Elevé	-Éviter autant que possible la destruction et revégétaliser autant que possible. Respecter le plan de l'environnement.
Risques sur l'atmosphère	Le long de la ligne.	-Bruits. -Poussières.	Moyen	- Mise en place de murs anti-bruit dans les zones habitées. -Mise en place de systèmes pour capturer les poussières.

Sols / Eaux de surface / souterraines / Point de captage / forage / puits	Le long de la ligne.	-Contamination des sites via les activités liées à la construction.	Elevé	-Traitement des eaux usées et gestion des déchets.
Zones protégées	Zone humide Garret Al Taraf.	-Perturbation de la faune.	Elevé	-Éviter la période hivernale pour ne pas perturber les oiseaux migrateurs. - Éviter autant que possible de s'approcher de la zone humide. -Ne pas implanter de chantiers de longue durée ou de bases de vie à proximité.
Milieux humain	Le long de la ligne, en particulier à proximité des zones urbaines.	-Perturbation de la vie économique et de la circulation routière, nuisances sonores. Expropriation.	Moyen	-Éviter les zones à forte densité économique. -Mettre en place un plan digestion de la circulation avec les autorités locales.
Milieux agricoles	Zones agricoles.	Perturbation des activités agricoles.	Moyen	-Tenir les agriculteurs informés des perturbations afin qu'ils puissent prendre leurs dispositions.
Réseaux : eaux, électricité, Pipelines	Le long de la ligne.	Destruction des réseaux de conduite.	Elevé	-Repérer les réseaux à l'avance.

XII.6.2 Phase d'exploitation

Tableau XII- 3: Les différents impacts négatifs sur le tronçon étudié en phase de constructions et les diverses solutions proposées

Item	Localisation	Impact	Importance De l'effet	-Mesures d'atténuation
Risques sur les Ressources naturelle	Le long de la ligne, en particulier aux abords des gares.	-Augmentation des besoins en ressources naturelles du fait du développement socio-économique des régions.	Elevé	-Anticiper les besoins afin d'éviter les pénuries.
Risques naturels	Le long de la ligne.	-Crues, inondations et marécages.	Elevé	-Mise en place de l'ouvrage hydraulique
Risques sur la faune	Le long de la ligne, en particulier à proximité des zones boisées, de la zone humide et des zones agricoles.	-Empêchement du passage des animaux et réduction des surfaces vitales.	Elevé	-Mise en place de passages animaliers là où les ouvrages hydrauliques n'ont pas été prévus.
Risques sur la flore	Le long de la ligne, en particulier à proximité des zones boisées et de la zone humide.			
Risque sur l'atmosphère	Le long de la ligne.	-Bruits, en particulier sur les tronçons à haute vitesse ou avec des locomotives diesel. -Pollution de l'air, en particulier avec les locomotives diesel.	Faible	-Mise en place de murs antibruit dans les zones habitées. - Envisager la possibilité de réduire la vitesse à proximité de la zone humide.

XII.7 CONCLUSION

Le projet présente un grand intérêt socio-économique pour la région. La création d'emplois, le développement urbain et les échanges commerciaux offrent à la population plus d'opportunités professionnelles. L'utilisation du train comme moyen de transport permettra de réduire le trafic automobile entre Ain Beida et Khenchela, ce qui entraînerait une diminution de la pollution de l'air et une baisse de la consommation de combustible.

CHAPITRE XIII : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

Lot : 01-Instalation de chantier					
N°	**Désignation des travaux**	**Unité**	**Quantité**	**Prix U. DA**	**Montant DA**
1.01	Amenée du matériel et installation général du chantier	F	1	1 012 839 916,02	1 012 839 916,02
1.02	Repli du matériel	F	1	116 924 911,11	116 924 911, 11
1.03	Fourniture et installation de laboratoire de chantier	F	1	113 572 338,21	113 572 338,21
1.04	Repliement de laboratoire de chantier	F	1	26 747 796,72	26 747 796,72
Total installation du chantier …….					**1 270 084 962,07 DA**

Lot : 02-Terrassement généraux					
N°	**Désignation des travaux**	**Unité**	**Quantité**	**Prix U. DA**	**Montant DA**
2.01	Etude d'exécution	F	1	98 845 40,91	98 846 540,91
2.02	Décapage de la terre végétale sur épaisseur de 0,20 m	M3	74 656,60	512,36	38 251 055,58
2.03	Déblais	M3	203 157,50	1 000.00	203 157 500.00
2.04	Remblais	M3	509 803,3	778,32	396 790 104.50
2.05	Remblais zone inondable	M3	254 151,20	3619.06	919 788 441.90
2.06	Fourniture et pose géotextile	M2	86 400.00	1 312,10	113 365 440.00
2.07	Fourniture et mise en œuvre de matériau de remblais zone inondable	M3	254 151,20	3 619,97	9 200 119 719,50
2.08	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme	M3	38 616.20	3 619,97	139 789 485.50
2.09	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation	M3	20 266.90	3 722,22	75 437 860.52
2.10	Fourniture et mise en œuvre de la couche s/ballast	M3	32797.50	3 722,22	122079510.50
TOTAL ……					**11 307 625 658,91 DA**

Lot : 03-Drainage et assainissement					
N°	**Désignation des travaux**	**Unité**	**Quantité**	**Prix U. DA**	**Montant DA**
3.01	Etude d'exécution	F	1	18138309.800	18138309.8
3.02	Fourniture et mise en œuvre de fossé trapézoïdal en béton armé (largeur fond*prof*largeur totale) Type 01 dim. :0.50 *0.50*1.50 ML	ML	20 000.00	12 830,81	256 616 200.00
3.03	Fourniture et pose buses en béton diamètre 1500 mm	ML	119.81	176 479,97	21 144 065,21
3.04	Fourniture et pose buses en béton diamètre 1200 mm	ML	26.60	170 000.00	4 522 000.00
3.05	Tète des buses pour tuyaux diamètre 1500	U	16.00	150000	2400000
3.06	Dalot en béton armé type A, B, C, C1, D, D1, D2, Et M	ML	116.20	300000	34860000
Total …….....					**337 680 575DA**

Lot : 04-Travaux voie					
N°	**Désignation des travaux**	**Unité**	**Quantité**	**Prix U. DA**	**Montant da**
4.01	Étude d'exécution	F	1	589 222 40.67	58 922 240.67
4.02	Fourniture et pose ballast	M3	32 797.50	8 000,00	262 380 000.00
4.03	Pose de voie UIC 60	ML	24 000	8 200,00	196 800 000.00
4.04	a) Soudage aluminothermique	U	82.00	21 000,00	1 722 000.00
4.05	b) Soudage électrique	U	1 333.33	19 500,00	26 000 000.00
4.06	Libération des contraintes du LRS	ML	24 000.00	2 100,00	50 400.00
4.07	Fourniture des rails neufs UIC60 (60,21 kg/m)	T	1 324.62	265 000,00	351 024 300.00
4.08	Fourniture des travers Bi-bloc	U	36 674.00	13 500,00	495 099 000.00
4.09	Fourniture des attachés pour rail UIC 60	U	146 696.00	1 500,00	22 004 4000.00
4.10	Fourniture semelle cannelle (200*165*9)	U	73 348.00	300,00	22 004 400
4.11	a) UIC 60 500 1/12 DD	U	1	1 000 000,00	1 000 000,00
4.12	b) UIC 60 500 1/12 DD	U	1	1 000 000,00	1 000 000,00
TOTAL …….					**1 636 046 341 DA**

Récapitulation	Montant
Total installation générale de chantier	**1270 084 962,07**
Total terrassement généraux	**11 307 625 658,91**
Total drainage et assainissement	**337 680 575**
Total travaux de voie	**1 636 046 341**
Total général (da) HT	**14 551 437 540**

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce projet de fin d'étude a constitué une formidable opportunité pour nous de mettre en pratique les connaissances acquises tout au long de notre cursus afin de résoudre des problèmes concrets.

En Algérie, de grands projets d'infrastructures de transport ont été lancés dans le cadre de la relance économique et du développement des différents réseaux, tels que l'autoroute Est-Ouest, les voies ferrées et le métro d'Alger. Ces projets d'envergure auront indéniablement des répercussions positives sur le développement du pays.

Notre étude a porté sur le tracé et les installations ferroviaires, en raison de leur position stratégique. Dans notre démarche, nous avons veillé à respecter toutes les normes existantes, car il est crucial de ne pas les négliger. Nous avons également pris en compte le confort, la sécurité des usagers, ainsi que les aspects économiques et environnementaux, afin de réaliser un travail de qualité.

Ce projet de fin d'étude nous a permis d'enrichir nos connaissances et de comprendre tous les problèmes techniques susceptibles de se présenter dans un projet ferroviaire. De plus, il nous a offert l'occasion de développer nos compétences informatiques en utilisant des logiciels tels que AUTOCAD, COVADIS 17.0f, GLOBAL MAPPER, Primavera et INFRAWORKS.

Annexe

Annexe A

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

Client : ENSTP **Préparé par : DJAALEB.A-LARBI.M**
LOGICIEL : COVADIS 17.0f

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	**Paramètres**		**Longueur**	**Abscisse**	**X**	**Y**
Droite 1	Gisement	245.94gr	668,894	20+400.000	346278,008	3946566,771
Clothoïde 1	Paramètre	-441,588	130,000	21+068.894	345836,136	3946064,606
Arc 1	Rayon	-1500.000 m	993,420	21+198.894	345748,864	3945968,269
	Centre X	344666.740 m				
	Centre Y	3947007.021 m				
Clothoïde 2	Paramètre	441,588	130,000	22+192.314	344881,349	3945522,453
Droite 2	Gisement	293.62gr	719,838	22+322.314	344752,214	3945507,579
Clothoïde 3	Paramètre	394,968	130,000	23+042.152	344035,988	3945435,549
Arc 2	Rayon	1200.000 m	744,813	23+172.152	343906,914	3945420,209
	Centre X	344091.457 m				
	Centre Y	3944234.484 m				
Clothoïde 4	Paramètre	-394,968	130,000	23+916.965	343251,732	3945091,726
Droite 3	Gisement	247.21gr	1360,468	24+046.965	343162,221	3944997,474
Clothoïde 5	Paramètre	1019,804	80,000	25+407.433	342243,315	3943994,238
Arc 3	Rayon	13000.000 m	3333,034	25+487.433	342189,341	3943935,189
	Centre X	351802.776 m				
	Centre Y	3935184.083 m				
Clothoïde 6	Paramètre	-1019,804	80,000	28+820.467	340284,409	3941211,289
Droite 4	Gisement	230.49gr	907,298	28+900.467	340247,464	3941140,331
Clothoïde 7	Paramètre	-394,968	130,000	29+807.766	339829,288	3940335,148
Arc 4	Rayon	-1200.000 m	482,800	29+937.766	339767,305	3940220,895
	Centre X	338733.870 m				
	Centre Y	3940830.823 m				
Clothoïde 8	Paramètre	394,968	130,000	30+420.565	339445,958	3939864,940
Droite 5	Gisement	263.00gr	135,193	30+550.565	339338,618	3939791,634
				30+685.758	339225,617	3939717,419
Longueur totale de l'axe 10285.758 mètre(s)						

Annexe B

Annexe B : Listing de la géométrie de profil en long

Client : ENSTP **Préparé par : DJAALEB.A-LARBI.M**

LOGICIEL : COVADIS 17.0f

Elts Caractéristiques				Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente	0.00 %	940,539	20+400.000	861,710
Cercle 1	Rayon	-10000.000 m	159,549	21+340.539	861,711
	Sommet Absc.	21+340.545 m			
	Sommet Alt.	861.711 m			
Pente 2	Pente	-1.60 %	79,701	21+500.088	860,438
Cercle 2	Rayon	10000.000 m	139,405	21+579.790	859,166
	Sommet Absc.	21+739.333 m			
	Sommet Alt.	857.893 m			
Pente 3	Pente	-0.20 %	2281,980	21+719.195	857,914
Cercle 3	Rayon	65000.000 m	427,837	24+001.174	853,318
	Sommet Absc.	24+132.074 m			
	Sommet Alt.	853.186 m			
Pente 4	Pente	0.46 %	1125,037	24+429.012	853,864
Cercle 4	Rayon	-25000.000 m	150,067	25+554.049	859,004
	Sommet Absc.	25+668.256 m			
	Sommet Alt.	859.265 m			
Pente 5	Pente	-0.14 %	1390,604	25+704.116	859,239
Cercle 5	Rayon	25000.000 m	89,002	27+094.720	857,244
	Sommet Absc.	27+130.580 m			
	Sommet Alt.	857.219 m			
Pente 6	Pente	0.21 %	617,049	27+183.722	857,275
Cercle 6	Rayon	25000.000 m	82,421	27+800.771	858,587
	Sommet Absc.	27+747.629 m			
	Sommet Alt.	858.530 m			
Pente 7	Pente	0.54 %	647,432	27+883.193	858,898
Cercle 7	Rayon	-20000.000 m	197,499	28+530.625	862,409
	Sommet Absc.	28+639.076 m			
	Sommet Alt.	862.703 m			
Pente 8	Pente	-0.45 %	470,911	28+728.124	862,505
Cercle 8	Rayon	20000.000 m	88,147	29+199.035	860,408
	Sommet Absc.	29+288.083 m			
	Sommet Alt.	860.210 m			
Pente 9	Pente	-0.00 %	1394,412	29+287.182	860,210
				30+681.594	860,147
Longueur totale de l'axe 10281.594 mètre(s)					
Longueur développée totale de l'axe 10281.654 mètre(s)					

Annexe C

Annexe C : Cubatures récapitulatif des cubatures des matériaux

---

Client : ENSTP **Préparé par : DJAALEB.A-LARBI.M**

LOGICIEL : COVADIS 17.0f

Matériau	Volume cumulé
Sous ballast	23501,9
Couche de forme	38616,2
BALLAST	32797,5
Couche de fondation	20266,9
Protection 63/500	21778,4
Enrochement 0.200	187848,4
Remblais zone inondable	254151,2

Annexe D

Annexe D : 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 E

Annexe E : Classifications des sols selon UIC.

Classe de qualités des sols	Classification des sols (identification géotechnique)
QS0: Sols impropres	0.1 sols organiques. 0.2 Sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonné,humides et donc non compactables. 0.3 Sols comportant des matériaux solubles (sel gemmeou gypse) 0.5 Sols comportant des matériaux polluants (déchetsindustriels par exemple). 0.6 sols mixtes « minéraux organique ».
QS1: Sols mediocre	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 evolutive par example: - Craies de ρd < 1.7 <t/m3 et de friabilité faible - Schistesnon altérés. 1.5 Roches tendres par exemple : Si Microdeval en présence d'eau (MDE)>40 et LosAngeles 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 uniforms (Cu≤6). 2.3 Roches moyennement dures par exemple :Si 25<MDE≤40 et 30<LA<40.
QS3: Bon sols	3.1 Sols comportant moins de 5% de fines 3.2 Roches dures par examples: Si MDE≤25 et LA≤30

Annexe E

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

Type de sol (Classification géotechnique)	Classe de qualité des sols
- Sols organiques; - Sols avec plus de 15% de fins, expansifs, humides, de haute plasticité et pas compactables ; - Sols contaminés avec déchets, matière organique où residues; - Sols avec matériaux solubles (sel-gemme ou plâtre).	QS0
- Sols avec plus de 40% de fins (pas classifiables comme QS0); - Roches évolutives.	QS1 (a)
- Sols avec 15% à 40% de fins (pas classifiables comme QS0) ; - Roches friables ; - Roches peu dures (MDE > 40 et LA >40%).	QS1 (b)*
- Sols avec 5% à 15% de fins ; - Sols avec moins de 5% de fins mais uniformes (Cu ≤ 6) ; - Roches moyennement dures (25% < MDE ≤ 40% et 30% < LA ≤ 40%)	QS2
- Sols avec moins de 5% de fins ; - Roches dures (MDE ≤ 25% et LA ≤ 30%)	QS3

Annexe F

Annexe F : Conditions générales de réutilisation des matériaux en œuvre ayant pour base le code UIC 719R

Description des matériaux		Classedu sol(code UIC 719R)	Dépôt	Remblais				Couche de forme	Éperons, masqueset couches drainants	Bétons	Sous-ballast
				Noyau			Partie inférieure du remblai (ciment) et partie supérieure du remblai (couronnement)				
				Remblaion sols	Sol enrochement	Enrochement					
Sols avec plus de 15% de fins, contaminés,de comportement hétérogène, haute plasticité, expansifs et / ou saturée (sols impropres)		QS0	X								
Sols avec plus de 15%de fins et roches d'évolutives à très évolutives (sols médiocres)	Fins >40%	QS1 (a)	X	X							
	15% < fins <40%	QS1 (b)*		X	X		X				
Sols avec peu de fins (5% < fins <15%) et Roches dures 25%< MDE ≤40% et 30%< LA ≤40% (sols moyens)		QS2		X	X	X	X				
Sols sans fins (<5%) et roches très dures (sols bons)	19%≤ MDE≤25% et 26%≤ LA ≤30%	QS3 (a)		X	X	X	X	X	X	X	
	MDE≤18% et LA≤25 %	QS3 (b)		X	X	X	X	X	X	X	X

Annexe F

Annexe F1 : LONGUEUR DES LIGNES

Ligne	Fonction	Du	Au	Longueur utile (m)
V1	Ligne principal	GF-1	GF-2	1200
V2	Ligne service	GF-1	GF-2	1200

Annexe F2 : Appareil changement de voie

N. º	Ligne	Géom	Tangent	Rayon (m)	Direction	Vmax Voie Déviée (Km/h)	Matériel	
							Rail	Travers
ADV-1	V1	UIC	1/12	500	Gauche	60	60E1	Béton
ADV-2	V1	UIC	1/12	500	Droit	60	60E1	Béton