République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العمومية

فرنسـيس جانســون

École Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructure de Base

Thème

Etude en APD de mise à double voie et modernisation des installations, avec la rectification et la mise à niveau de la voie existante, d'un tronçon ferroviaire entre Bir Larch – Tadjenanet (PK 354+000 AU PK 366+000) de la ligne Alger – Constantine. Avec la conception de la gare de Bir Larch

Présenté par :

BRAHIMI Azeddine

Encadré par :

Mr. KRIOUDJ Saad

Promotion 2021/2022

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

Remerciement :

Tout d'abord, je tiens à remercier Allah, le clément et le miséricordieux de m'avoir donné la santé et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à remercie mon encadrant Mr Saad KRIOUDJ, pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.

Je remercie vivement tout le personnel de INFRAFER spécialement Mr SAADAOUI, Mr Boubaker BOUNAAMA, ainsi que les membres du groupement IGES, en particulier : Mr Fouad BOUYOUCEF, Mr Abderrazak, Mr Allawa, Mr Oussama, et Mr Azeddine, qui m'ont encadré et assisté pendant toute la période de stage, et pour le soutien et les efforts qu'ils ont bien voulu chacun a son niveau accomplir afin que le stage se déroule dans des conditions meilleures.

Je remercie également Mr Aissa KHELIF d'avoir sacrifié son temps et ses efforts pour m'aider toute la période de stage.

Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury d'avoir accepté d'évaluer mon modeste travail.

Mes remerciements vont aussi à tous mes professeurs, enseignants en particulier Mr Rabah Morsli pour son soutien, ses remarques pertinentes et son encouragement, et toutes les personnes qui m'ont soutenu jusqu'au bout. Sans oublier les merveilleuses assistantes de département infrastructure de base Mme Makoudi et Mme Bourebia.

En fin, je salue le soutien de mes parents, frères et amis tout au long de mon parcours de formation.

RESUME :

Le présent projet consiste essentiellement à l'étude d'avant-projet détaillé (A.P.D) d'un dédoublement de la voie et rectification de tracé existant et le mettre niveau, avec modernisation des installations pour augmenter la vitesse à 160 km/h sur le tronçon du Pk 354+000 au Pk 366+000 de la ligne Alger – Constantine, et la conception de la gare de Bir Larch.

L'identification des caractéristiques techniques les plus appropriées de la ligne ferroviaire projetée sera basée sur les recommandations ainsi que les pratiques qui sont suivies par la SNTF et les autres systèmes ferroviaires plus développés (normes UIC), la modélisation géométrique du projet a été exécutée à l'aide du logiciel Covadis.

ملخص :

يتكون هذا المشروع بشكل أساسي من دراسة التصميم الأولية التفصيلية لمضاعفة المسار وتصحيح المحاذاة وتحديث المنشآت لزيادة السرعة إلى 160 كم / ساعة على المقطع الممتد بين بير العرش وتاجنانت (من النقطة الكيلومترية 000+354 إلى 000+366) من الخط الرابط بين الجزائر العاصمة وقسنطينة. مع تصميم محطة بير العرش

سيعتمد تحديد الخصائص التقنية الأكثر ملائمة لخط السكك الحديدية المقترح على التوصيات بالإضافة إلى الممارسات التي يتبعها SNTF وأنظمة السكك الحديدية الأخرى الأكثر تطورا (معايير UIC) , وتم تنفيذ النمذجة الهندسية للمشروع باستخدام برنامج Covadis

SUMMARY:

The present project consists essentially of the detailed preliminary design study (APD) of a doubling of the track and rectification of the existing railway line and upgrading it, with the modernization of facilities in order to increase the speed to 160 km / h on the section from Pk 354+000 to Pk 366+000 of section from Bir Larch to Tadjenanet which belong to the Algiers – Constantine's railway line. In addition to the design of Bir Larch subway.

The identification of the most appropriate technical characteristics of the proposed railway line will be based on the recommendations as well as the practices which are followed by the SNTF and other more developed railway systems (UIC standards), the geometric modeling of the project was carried out at using Covadis.

Table des matières :

CHAPITRE I. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE : 1

I.1. INTRODUCTION : 1

I.2. LA NAISSANCE DE CHEMIN DE FER : 1

I.3. AVANTAGES DES CHEMINS DE FER : 4

I.4. LE RAIL EN ALGERIE ET SON DEVELOPPEMENT : 5

I.5. TRANSPORT FERROVIAIRE EN ALGERIE : 6

CHAPITRE II. PRESENTATION DU PROJET : 7

II.1. INTRODUCTION : 7

II.2. APRECUE SUR LA VOIE EXISTANTE : 7

II.2.1. LES ELEMENTS DU TRACE EXISTANT : 8

II.2.1.1. LES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DU TRACE : 8

II.2.1.2. LES PASSAGES A NIVEAU : 8

II.2.1.3. LES OUVRAGES : 10

II.2.1.4. GARE : 12

II.3. DESCREPTION GENERALE DU PROJET : 12

II.3.1. OBJECTIF DU PROJET : 13

II.4. PRESENTATION DU PROJET D'ETUDE : 14

II.4.1. CARACTERISTIQUES DE LA VOIE : 14

II.4.1.1. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES : 15

II.4.1.2. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES : 15

II.5. CONCLUSION : 15

CHAPITRE III. ETUDE GEOMETRIQUE 16

III.1. INTRODUCTION : 16

III.2. TRACE EN PLAN : 16

III.2.1. CONDITIONS ET REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE EN PLAN : 16

III.2.2. LES ELEMENTS DE TRACE EN PLAN : 17

III.2.2.1. L'ALIGNEMENT (R= ∞) : 17

III.2.2.2. LA COURBE : 18

III.2.2.2.1. L'ARC DE CERCLE : 18

III.2.2.2.2. LA COURBE DE RACCORDEMENT : 18

III.2.2.2.3. CONDITIONS DE RACCORDEMENT : 19

III.2.2.3. LE DEVERS : 19

III.2.2.3.1. DEVERS THEORIQUE : 20
III.2.2.3.2. DEVERS PRATIQUE : 20
III.2.2.3.3. INSUFFISANCE DE DEVERS : 21
III.2.2.3.4. L'EXCES DE DEVERS : 21
III.2.2.3.5. VARIATION DE DEVERS : 21
III.2.3. APPLICATION SUR LE PROJET : 22
III.3. PROFIL EN LONG : 25
III.3.1. INTRODUCTION : 25
III.3.2. DEFINITION : 25
III.3.2.1. PROFIL EN LONG DU TERRAIN NATUREL : 25
III.3.2.2. PROFIL EN LONG DU PROJET : 25
III.3.2.3. DECLIVITE : 25
III.3.3. ELEMENTS DE COMPOSITION DU PROFIL EN LONG : 25
III.3.3.1. CHOIX DES ALIGNEMENTS DROITS : 25
III.3.3.2. CHOIX DES CERCLES : 26
III.3.4. APPLICATION SUR LE PROJET : 27
III.4. CONCLUSION : 27
CHAPITRE IV. ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDROLIQUE : 28
IV.1. INTRODUCTION : 28
IV.2. ETUDE HYDROLOGIQUE : 28
IV.2.1. CLIMATOLOGIE : 28
IV.2.1.1. CLIMAT : 29
IV.2.1.2. LA TEMPERATURE : 29
IV.2.1.3. LES VENTS ET LE SIROCCO : 30
IV.2.2. PLUVIOMETRIE : 30
IV.2.2.1. PLUIES ANUELLES : 31
IV.2.2.2. PRECIPITATIONS MENSUELLES : 31
IV.2.2.3. PRECIPITATIONS JOURNALIERS : 32
IV.2.2.4. PLUIES DE COURTES DUREES : 33
IV.3. BASSINS VERSANTS : 34
IV.3.1. INTRODUCTION : 34
IV.3.2. LES CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS : 35
IV.4. CALCUL DU DEBIT MAXIMAL DANS LES BASSINS (DEBITS DE CRUE) : 37
IV.4.1. Formule de SOGREAH-ANRH (1989) : 37

IV.4.2. Formule de Turazza : 38
IV.4.3. Formule de MALLET et GAUTHIER : 38
IV.4.4. Formule Rationnelle : 38
IV.4.5. RESULTATS : 39
IV.5. CALCUL HYDROLIQUE ET DIMENTIONNEMENT : 39
IV.5.1. DIMENSIONNEMENT DES BUSES : 40
IV.5.2. DIMENSIONNEMENT DES DALOTS : 43
IV.5.3. OUVRAGES D'ASSAINISSEMENTS LONGITUDINAUX : 48
IV.5.3.1. DIMMENSIONNEMENT DES FOSSES : 49
IV.5.3.2. CALCUL DES DEBITS D'APPORTS : 49
IV.6. CONCLUSION : 52
CHAPITRE V. ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE : 53
V.1. L'ETUDE GEOLOGIQUE : 53
V.1.1. INTRODUCTION : 53
V.1.2. LA GEOLOGIE REGIONALE : 53
V.1.3. GEOLOGIE LOCALE : 54
V.1.4. HYDROGEOLOGIE : 54
V.1.5. CLIMATOLOGIE : 55
V.1.6. LA SISMICITE DE LA ZONE D'ETUDE : 55
V.1.7. LES RISQUES GEOLOGIQUES 56
V.2. ETUDE GEOTECHNIQUE : 57
V.2.1. INTRODUCTION : 57
V.2.2. PROGRAMME DE RECONNAISSANCE : 57
V.2.3. INTERPRETATION DES ESSAIS IN SITU : 57
V.2.3.1. PIUS DE RECCONAISSANCE : 57
V.2.3.2. COMMENTAIRES : 59
V.2.4. ESSAIS DE LABORATOIRE : 59
V.2.4.1. ORGANISATION : 59
V.2.4.2. INTEPRETATION DES ESSAIS EN LABORATOIRE : 60
V.3. CHOIX DE LA PLATEFORME : 62
V.4. CONCLUSION : 64
CHAPITRE VI. DIMENSIONNEMENT DE CORPS D'ASSISE : 65
VI.1. INTRODUCTION : 65
VI.2. LES COUCHES D'ASSISE : 65
VI.2.1. LE BALLAST : 65

VI.2.2. LA SOUS-COUCHE : 66
VI.2.3. LES GEOTEXTILES : 67
VI.2.4. LA PLATE-FORME : 67
VI.3. DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE D'ASSISE : 67
VI.3.1. CLASSES DE QUALITE DES SOLS : 67
VI.3.2. CLASSES DE PORTANCE DE PLATFORME : 68
VI.3.3. EPAISSEUR DE LA COUCHE D'ASSISE « ballast + sous couche » : 69
CHAPITRE VII.PROFILEN TRAVERS : 72
VII.1. INTRODUCTION : 72
VII.2. PROFIL EN TRAVERS : 72
VII.2.1. LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS : 72
VII.2.2. LES ELEMENTS DE PROFIL TYPE : 72
VII.3. LES PROFILS EN TRAVERS AFFECTES A NOTRE PROJET : 73
VII.4. CALCUL DES CUBATURES : 73
CHAPITRE VIII.LES TERRASSEMENTS ET OUVRAGES : 75
VIII.1. TERRASSEMENTS : 75
VIII.1.1. INTRODUCTION : 75
VIII.1.2. CONDITIONS D'UTILISATION DES REMBLAIS : 75
VIII.2. OUVRAGES EN TERRE : 75
VIII.2.1. LA STABILITE : 76
VIII.2.2. TASSEMENT : 76
VIII.2.3. PENTES ET TALUS : 76
VIII.2.4. COMPACTAGE : 76
VIII.3. EMPRUNT ET DEPOT : 77
VIII.4. LES OUVRAGES D'ART : 77
VIII.4.1. LES RETABLISMENT ROUTIERS : 78
VIII.5. CONCLUSION : 79
CHAPITRE IX. AMENAGEMENT DE LA GARE DE BIR LARCH : 80
IX.1. INTRODUCTION : 80
IX.2. TYPES DES GARES : 80
IX.3. ETUDE DU PLAN DE MASSE D'UNE GARE : 81
IX.3.1. CONSIDERATIONS GENERALES : 81
IX.4. AMENAGEMENT DE LA GARE : 82
IX.4.1. INSTALATIONS DE BASE D'UNE GARE : 82
IX.4.1.1. INSTALATION D'UNE GARE VOYAGEURS : 82

IX.4.1.2. INSTALATION D'UNE GARE MARCHANDISES : 82
IX.4.2. LA MARGE DE GLISSEMENT A L'AVAL DES SIGNAUX : 82
IX.4.3. GARAGE FRANC (GF) : 83
IX.4.4. HEURTOIRE : 84
IX.5. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES GARES : 84
IX.5.1. LA LONGUEUR UTILE D'UNE VOIE DE STATIONNEMENT : 84
IX.5.2. DECLIVITE DANS LES GARES : 85
IX.5.3. LES QUAIS : 85
IX.6. APPLICATION AU PROJET : 85
IX.6.1. LOCALISATION DE LA GARE DE BIR LARCH : 85
IX.6.2. GEOMETRIE DE TRACE : 86
IX.6.3. CAREACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA GARE : 87
IX.7. DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT DE LA GARE : 89
IX.7.1.1. ASAINISEMENT TRANSVERSALE : 89
IX.7.1.2. ASSAINISEMENT LONGITUDINALE : 89
IX.8. PROFIL EN TRAVERS TYPE : 89
IX.9. CONCLUSION : 89
CHAPITRE X. SIGNALISATIONI FERROVIAURE : 90
X.1. DEFINITION : 90
X.2. OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION : 90
X.3. LES SIGNAUX : 90
X.4. IMPLANTATION LONGITUDINALE : 91
X.5. LES TYPES DE SIGNALISATION FERROVIAIRE : 91
X.5.1. SIGNALISATION CLASSIQUE : 91
X.5.1.1. CANTONNEMENT : 91
X.5.1.2. SYSTEME D'ENCLENCHEMENT : 93
X.5.1.3. POSTE DE COMMANDE LOCAL : 93
X.5.1.4. SYSTEME D'AIDE A LA MAINTENANCE (SAM) 93
X.5.1.5. COPMTEURS D'ESSIEUX : 94
X.5.1.6. LES CABLEES : 94
X.5.2. SIGNALISATION MODERNE : 94
X.5.3. Définition du système ERTMS : 94
X.5.4. L'application du ce système a notre projet : 95
X.6. CONCLUSION : 96
CHAPITRE XI. ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT : 97

XI.1. INTRODUCTION : 97
XI.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT : 97
XI.3. DESCRIPTION DU MILIEU : 97
XI.3.1. MILIEU PHYSIQUE 97
XI.3.2. MILIEU ECOLOGIQUE : 98
XI.3.3. MILIEU HUMAIN : 99
XI.3.4. ACTIVITES ECONOMIQUES : 99
XI.3.5. LES INFRASTRUCTURES DE BASE : 99
XI.4. ANALYSE DES IMPACTS : 100
XI.4.1. IDENTIFICATION DES IMPACTS : 100
XI.4.2. ACTIVITES GENERATRICES DES IMPACTS ENVISAGES : 100
XI.4.3. IMPACTS POSITIFS : 102
XI.5. LES MESURES PRISES POUR MINIMISER LES IMPACTS : 102
XI.6. CONCLUSION : 103
CHAPITRE XII.DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF : 104
CHAPITRE XIII.CONCLUSION GENERALE : 107

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau II.1: Tableau récapitulatif des rayons de courbe existant 8
Tableau II.2: L'emplacement des passages à niveau sur le tracé existant. 9
Tableau II.3: L'inventaire des ouvrages existants sur le tracé actuel 10
Tableau II.4: Les Pk de gare Bir-Larch avant le projet 12
Tableau III.1: Longueur minimale des éléments du tracé 18
Tableau III.2: Valeur Limite du dévers pratique 20
Tableau III.3: Variation de dévers dans les courbes de transition Δd/Δl 22
Tableau III.4 : Paramètres géométriques de tracé en plan (SNTF). 22
Tableau III.5: Tableau récapitulatif des paramètres du la trace 24
Tableau III.6: Longueur minimale des déclivités. 26
Tableau III.7: Valeurs de Rayon vertical minimale. 27
Tableau III.8: Paramètres géométriques de profil en long (SNTF) 27
Tableau IV.1: Les températures annuelles mensuelles de la willaya de Sétif. 30
Tableau IV.2: Pluies annuelles en mm. 31
Tableau IV.3: Répartition mensuelle, station de Tadjenent. 31
Tableau IV.4: Pluies max journalières en mm. 32
Tableau IV.5: valeurs des intensités pour différentes périodes de retour station de Tadjenent 33
Tableau IV.6: Les caractéristiques des bassins versants. 36
Tableau IV.7: Les débits max des oueds pour une période de 100 ans. 39
Tableau IV.8: Valeurs de Ks selon SETRA. 40
Tableau IV.9: Condition d'auto curage de l'ouvrage busé (BV 05). 42
Tableau IV.10: Tableau récapitulatif des dimensions des buses utilisés avec les vérifications des conditions d'auto curage. 42
Tableau.IV.11: Condition d'auto curage du dalot (BV 6). 45
Tableau IV.12: Tableau récapitulatif des dimensions des Dalots avec les vérifications des conditions d'auto curage. 45
Tableau IV.13: Dimensions des ouvrages de drainage qui ont été construites sur notre tracé. 46
Tableau IV.14: L'inventaire des ouvrages qui ont été construites sur notre tracé. 47
Tableau IV.15: Surface des sous bassins versant. 50
Tableau IV.16: Temps de concentration. 50
Tableau.IV.17: Débit d'apport en remblai. 51
Tableau V.1: Les puis de reconnaissance. 58
Tableau V.2: Les paramètres géotechniques du sol traversé par le projet. 62
Tableau VI.1: Fuseau granulométrique pour ballast (NFP 53-695). 65
Tableau VI.2: Classes de qualité des sols. 68
Tableau VI.3: Détermination de la classe de portance de la plate-forme (Fiche UIC 719) 69
Tableau VI.4: Valeur des coefficients de la formule de calcul d'épaisseur selon UIC719R. .. 70
Tableau VI.5: Epaisseurs des différentes couches de la voie. 71
Tableau VII.1: Les cubatures de terrassement. 74
Tableau VII.2: Les cubatures des couches d'assise. 74
Tableau VIII.1: Les coordonnées des passages supérieurs projetés. 79
Tableau IX.1: Les dimensions des Quais. 87
Tableau X1.1: type de ressource minière de la willaya de Sétif. 98
Tableau XI.2: Les activités génératrices des impacts envisagés. 100
Tableau XI.3: Les mesures prises pour minimiser les impacts. 102
Tableau XII.1: Devis quantitatif et estimatif 112

LISTE DES FIGURES :

Figure I.1: Plan de développement des chemins de fer en ALGERIE. (Source ANESRIF)..... 5
Figure II.1 : La gare de Bir-Larch avant le démarage des travaux..... 12
Figure II.2: Image représentative de projet complet. 13
Figure II.3: Situation géographique du tronçon d'étude. 14
Figure III.1: Les éléments de tracé en plan 17
Figure III.2: Diagrammes des flèches et courbures et tracer en plan d'un RP..... 18
Figure III.3: Force centrifuge et dévers..... 19
Figure IV.1: Carte des étages bioclimatiques de la wilaya de Sétif. 29
Figure IV.2: Carte pluviométrique de la wilaya de Sétif. 30
Figure IV.3: Ajustement des pluies annuelles. 31
Figure IV.4: Répartition mensuelle de la station de Tadjenent. 32
Figure IV.5: Ajustements des pluies max journalières. 33
Figure IV.6: Courbes Intensité-Durée-Fréquence en station de Tadjenent. 34
Figure IV.7: Carte de situation de la région d'étude. 34
Figure IV.8: La délimitation des bassins versants. 35
Figure IV.9: Schéma d'un ouvrage busé. 40
Figure IV.10: Dimensions du dalot. 43
Figure IV.11: fosse de forme trapézoïdale. 49
Figure IV.12: Dimensions d'un fossé. 52
Figure V.1: Carte géologique de la willaya de Sétif. 54
Figure V.2: Situation de la zone d'étude sur la carte sismique d'Algérie. 56
Figure V.3: Puits de reconnaissance. 57
Figure V.4: Limites d'Atterberg..... 60
Figure VI.1: Un profil type des couches d'assise..... 71
Figure IX.1: Schématisation de la marge de glissement. 83
Figure IX.2: Garage franc. 83
Figure IX.3: Longueur utile Lu. 84
Figure IX.4: Emplacement de la Gare de Bir Larch..... 86
Figure IX.5: Schématisation de la gare de Bir Larch. 86
Figure IX.6: Gabarits – Quais Voyageurs. 87
Figure IX.7: Schéma d'une passerelle sous-terraine. 88
Figure X.1: Schéma illustratif de canton. 92
Figure X.2: Organigramme de systèmes d'aide à la maintenance (SAM). 93
Figure X.3: Principe de fonctionnement du système ERTMS. 95
Figure X.4: Illustration du système ERTMS/ETCS niveau 2. 96

CHAPITRE I. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE :

I.1. INTRODUCTION :

Le chemin de fer c'est un système de transport guidé servant au transport de personnes avec bagages accompagnés et de transport de fret. Il se compose d'une infrastructure spéciale, de matériel roulant et remorqué et de procédures d'exploitation faisant le plus souvent intervenir l'humain pour assurer la sécurité des trains en ligne (L'homme est au centre de tout).

L'infrastructure de guidage est composée essentiellement de deux files de rails posés sur des traverses appelée voie ferrées, des appareils de voie, des passages à niveau, de la signalisation et, le cas échéant des installations de traction électrique (sous-stations, caténaires, …etc.).

Le matériel roulant circule communément en convois, appelé trains ou rames. Les convois sont tractés par des locomotives, ou sont autotractés ; on parlera alors de rame automotrice (électrique) ou d'autorail (diesel).

Enfin, le chemin de fer présente un des moyens de transport les plus fréquentés grâce aux grands avantages qu'il offre ainsi qu'il est considéré comme l'une des bases de la politique de l'aménagement du territoire.

I.2. LA NAISSANCE DE CHEMIN DE FER :

C'est le 21 février 1804 qu'a lieu la première circulation sur des rails d'une locomotive à vapeur, construite par Richard Trevithick près de Merthyr Tydfil, au pays de Galles.

La généralisation du système ferroviaire a été permise par la mise au point de la machine à vapeur, mais de nombreux systèmes alternatifs ont été utilisés au début, pour faire face au manque de puissance de celle-ci, ou pour s'adapter à des situations particulières, notamment la traction par chevaux, ou par câble, ainsi que l'utilisation de la simple gravité quand la pente le permettait. Ces méthodes à la fois lentes et hasardeuses ont rapidement pris fin avec la généralisation de la traction par locomotives à vapeur et les progrès rapides de ces machines.

À partir de 1900 environ, l'apparition de moteurs électriques puissants et suffisamment compacts a permis l'apparition de la traction électrique, toujours utilisée à l'heure actuelle. Ce mode de traction nécessite cependant que la ligne sur laquelle le train circule soit équipée, soit d'une caténaire, soit d'un troisième rail, alimenté en électricité.

L'entre-deux-guerres verra l'apparition de locotracteurs diesel puis progressivement de locomotives diesel dans l'après-guerre (puis locomotives diesel-électrique). Les années 1950 sont la charnière entre disparition de la traction à vapeur et développement des moteurs thermiques. C'est également à cette époque que l'on observe l'apparition de locomotives capables de fonctionner sous courant alternatif.

- **Le système ferroviaire :**

Les trains nécessitent une voie ferrée pour circuler. Elle se compose de rails posés sur des traverses à un écartement précis, elles-mêmes posées sur un lit de ballast. La source d'énergie

est, soit portée par le train lui-même comme dans le cas de la traction vapeur ou de la traction diesel, soit apportée par l'infrastructure sous forme de caténaire ou de troisième rail pour l'électricité. En général, les locomotives diesel sont diesel-électrique : un moteur diesel entraîne un alternateur qui produit de l'électricité pour faire tourner un moteur électrique qui entraîne les roues de la motrice

Le mode de roulement, qui est un contact roue/rail (acier sur acier) à adhérence réduite, donne un rapport entre puissance et charge tractée favorable mais réduit considérablement les déclivités admissibles pour la voie : 4 % est un maximum.

Certains métros ont des roues munies de pneumatiques, à la suite des essais de Michelin dès les années 1930. Les premiers véhicules équipés ont été les fameuses michelines, sortes de petits autocars sur rail.

Le rayon de courbure des voies ne doit pas descendre en dessous d'une centaine de mètres. Ces deux contraintes fortes ont donc obligé les constructeurs à des prouesses notamment en zone montagneuse en réalisant de nombreux ouvrages d'art de génie civil comme des ponts, tunnels, viaducs, remblais, tranchées. Pour les pentes fortes, on a parfois recours au système de crémaillère.

À l'inverse d'un véhicule routier, un train ne peut pas changer d'itinéraire par lui-même. Il doit emprunter des appareils de voie, dont les plus connus sont les aiguillages, afin de passer d'une voie à une autre. Une contrainte forte d'exploitation est qu'un train ne peut en dépasser un autre qu'à des endroits particuliers d'une ligne, d'où une moindre souplesse dans l'organisation des circulations et la nécessité d'un suivi rigoureux des plans de marche.

➢ **Différents types des trains :**

Le terme « train » désigne plusieurs types de convois. Le plus connu consiste en une (éventuellement plusieurs) locomotive(s) et des véhicules ferroviaires, voitures ou wagons. Il peut aussi s'agir de plusieurs éléments autonomes constituant un train d'automoteurs. Il a aussi existé des trains simplement poussés à la main ou tirés par des chevaux.

- **Trains de voyageurs :**

Les trains de voyageurs sont constitués par des automotrices (ou autorails s'il s'agit de traction diesel) ou de rames tractées composées d'une ou plusieurs locomotives et une ou plusieurs voitures. Les trains de voyageurs sont souvent adaptés aux distances à parcourir et à la période de transport. Ils peuvent intégrer des voitures destinées à la restauration, à la détente ou au sommeil des passagers. Ainsi, pour les voyages de nuit on peut emprunter un train de nuit, ou un service auto- train qui permet de faire transporter son véhicule avec soi.

De nombreuses compagnies (pareillement en Algérie pour la SNTF) ont usage de classer leurs trains selon la distance parcourue et la desserte. On trouve ainsi souvent : Train omnibus, Train express et des Train direct

- **Trains de marchandises :**

Les trains de marchandises, appelés trains de fret en France, comprennent des wagons ou du matériel à voyageurs devant être acheminé dans la même direction. Il existe des types de wagons spécialisés en fonction de la marchandise à transporter, comme le wagon-citerne, le tombereau, le wagon couvert, plat, etc. De plus en plus fréquemment, un train de marchandises est constitué de wagons de même type (train d'hydrocarbure, train de céréales, etc.). Si tous les wagons ont la même origine et la même destination, on parle (en Algérie) de train direct ou train-bloc, si la rame est composée de wagons variés ayant des destinations diverses, on parle de trafic « diffus » (en Algérie).

Le train de marchandises doit de plus en plus s'adapter aux contraintes de l'inter modalité des transports. Des trains transportant des conteneurs ou des remorques peuvent participer à une chaîne globale, combinée avec le transport maritime et le transport routier.

En Algérie, on appelle train de marchandises un train ayant une vitesse comprise entre 50 et 80 km/h,

- **Autres convois :**

En cas d'accident, on dispose de train de secours, constitué d'équipements de relevage et de vo d'accident sur tout le réseau et en particulier dans les tunnels ferroviaires.

Plus fréquemment, on peut être amené à rencontrer un train de travaux constitué soit d'un ou plusieurs engins moteurs et de wagons, soit du matériel automoteur spécifique aux différentes opérations de voie (bourreuse, régaleuse, dégarnisseuse, train caténaires…) ; ils permettent l'entretien des voies et des ouvrages d'art, et aussi la construction des voies nouvelles.

Les draisines (automotrices légères servant à l'acheminement du personnel chargé de l'entretien des voies sur les chantiers) tirant ou non une ou plusieurs allèges (remorques légères plates servant au transport de l'outillage et du matériel léger) sont considérés comme un train si elles sont capables de fermer le circuit de voie.

- **Sécurité ferroviaire « Voyageurs » :**

Elle a beaucoup varié selon les époques et les pays. En Europe à la fin du XXe siècle statistiquement, c'est dans le train qu'un voyageur risque le moins un accident, et notamment un accident mortel (Le risque en termes de « voyageurs-kilomètres parcourus » est vingt fois moindre que celui des victimes du transport routier).

- **Sécurité « Circulation des trains » :**

La vitesse de circulation, variable, est en soi un facteur de risque qui fait de la sécurité des transports un enjeu important. Les questions de sécurité sont complexes et prennent en compte l'ensemble des éléments constituant un transport : le véhicule, le conducteur, la marchandise, les personnes transportées, les animaux et les infrastructures.

Le Transport de matières dangereuses est réglementé, pour des raisons de sécurité. L'ouvrage de référence, réglementant le transport de marchandises dangereuses aborde aussi les questions de sûreté, afin de limiter les risques d'attentats perpétrés avec des matières et des produits détournés de leur moyen de transport. Sur tous les véhicules qui transportent des matières dangereuses, figurent sur une plaque orange un code d'identification du danger, appelé parfois code Kemler et un numéro ONU qui indiquent quels types de matières est transportées dans le véhicule.

- **Environnement :**

Le transport consomme la plus grande part du pétrole mondial, en produisant du dioxyde de carbone et de nombreux produits nocifs, pour certains responsables de la détérioration de la couche d'ozone et de l'effet de serre. C'est pourquoi, des politiques d'économies d'énergie liées aux transports sont mises en œuvre.

Les stratégies d'économies d'énergies sont techniques, elles reposent sur l'utilisation de sources d'énergie alternatives (comme l'électricité, le gaz naturel pour véhicules, le GPL, les bioénergies...) mais nécessitent de mettre au point des systèmes adaptés.

Le transport est source de 14 % des émissions de CO^2, dont 73 % proviennent du transport routier.

I.3. AVANTAGES DES CHEMINS DE FER :

La répartition du trafic entre les différents modes de transport résulte des décisions prises par les usagers des transports, lesquelles dépendent des avantages que supposent les différentes solutions possibles, ainsi que l'investissement de l'état dans les chemins de fer est bien justifiable vue les bienfaits de la voie ferrée qui peuvent se résumer comme suit :

- Le transport par voie ferrée est plus rapide que par la route (pour son système de guidage et l'absence d'obstacles) et peut même concurrencer l'avion vue les grandes vitesses atteintes par le TGV.
- Il garantit aux états leur indépendance à long terme grâce aux réductions de consommations en hydrocarbures.
- Le moins couteux parmi tous les autres moyens de transport.
- Sécurité vis-à-vis des accidents par rapport à la route.
- Il est non polluant, et peut être bientôt encore plus si l'énergie est produite par les systèmes géothermique et solaire.
- Le dégagement de capacités dans les infrastructures routières et aéroportuaires.
- Gain de temps, confort et sécurité.
- Réduction des dommages corporels et matériel (vu les dégâts des accidents routier).

Ces raisons expliquent la préférence des usagers de se déplacer par chemins de fer, ce qui a poussé les gouvernements à investir dans ce mode de transport qui représente dans nos jours un facteur important dans la mesure du développement d'un pays. D'autre part, sa consommation économique et sa préservation de la nature lui confère le mérite d'être le meilleur système de transport du siècle

I.4. LE RAIL EN ALGERIE ET SON DEVELOPPEMENT :

En Algérie, Le rail marque une négligence regrettable et complètement oubliée jusqu' aux années 80 où il a été un peu redynamisé avec la création de 303 km de lignes nouvelles et le renouvellement de la voie et du ballast sur 800 km. Après la crise sécuritaire algérienne, le rail a connu une période de stagnation et d'ignorance ce qui a détérioré l'état des infrastructures ferroviaires et du matériel roulant.

A partir de l'an 2000, le réseau Algérien a connu l'électrification de 340 km et la réalisation de 500 km de lignes nouvelles.

Aujourd'hui, le secteur ferroviaire connaît une véritable relance, une importante enveloppe allouée au secteur dans le cadre du programme de modernisation de l'infrastructure ferroviaire (Voir la fig.1 ci-dessous), une nécessité absolue, compte tenu de la vétusté de l'infrastructure existante.

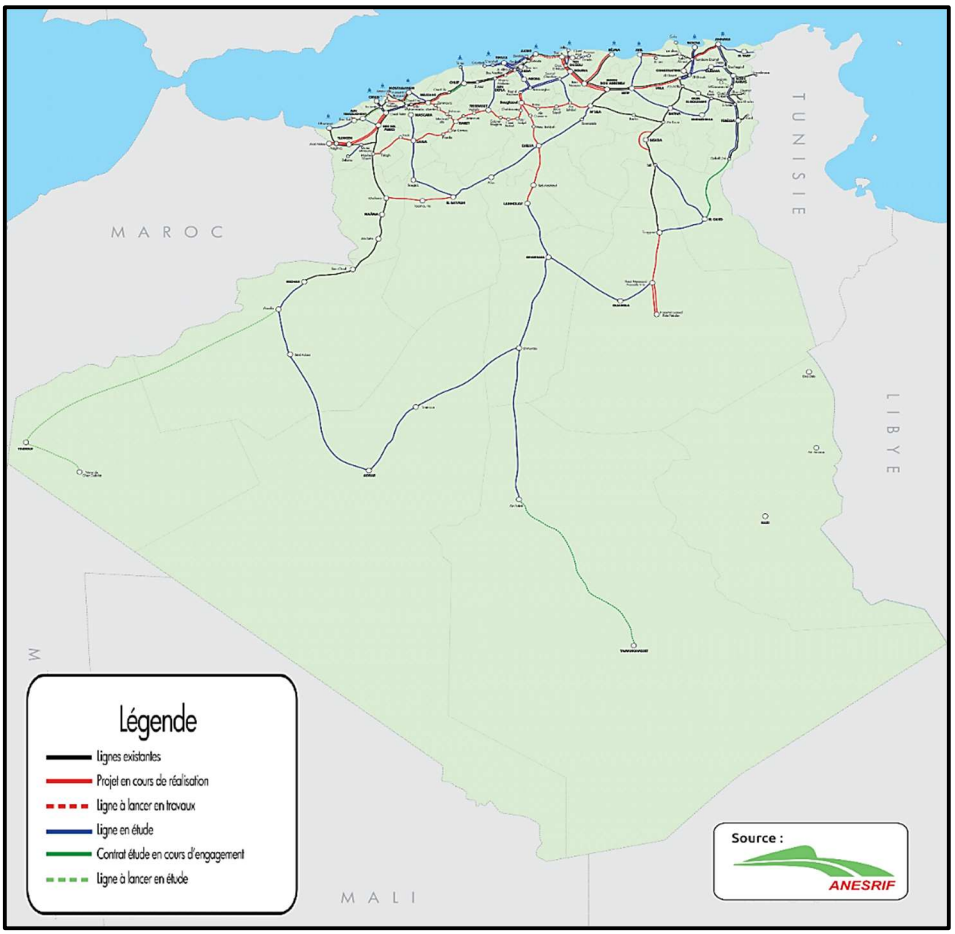


Figure I.1: Plan de développement des chemins de fer en ALGERIE. (Source ANESRIF)

I.5. TRANSPORT FERROVIAIRE EN ALGERIE :

Après les années grises et noires, qu'a vécues l'Algérie durant les deux dernières décennies du XXe siècle, son économie commence à renaître de ses propres cendres. En effet, le développement économique de l'Algérie a connu une accélération significative au cours des dernières années, avec une croissance exceptionnelle digne des pays émergents.

Le schéma national d'aménagement du territoire repose sur 04 grandes lignes directrices :

- **La durabilité :** l'obligation impérative de prendre en compte et d'assurer la préservation des ressources et des milieux naturels.
- **L'équilibre :** rétablir un équilibre durable entre les grandes composantes du territoire Algérien (le littoral et la montagne, les hauts plateaux et le sud).
- **La compétitivité :** adapter les territoires algériens aux exigences de l'économie mondiale.
- **L'équité :** réduire les inégalités économiques et sociales dont souffrent les populations des zones rurales et urbaines défavorisées.

CHAPITRE II. PRESENTATION DU PROJET :

II.1. INTRODUCTION :

D'une par sa situation et de l'importance des régions qu'elle dessert, d'une autre par la nature des produits de base qu'elle véhicule, le tronçon Sétif-El Ghourzi représente un axe stratégique dans le schéma ferroviaire national qui rentre dans le cadre de dédoublement de la ligne Est – Ouest, la remise à niveau de cette infrastructure est un impératif incontournable, les actions suivantes sont programmées :

- La mise à double voie de toute la ligne ferroviaire.
- Relèvement de la capacité portante de la plateforme.
- Rectification des courbes afin d'augmenter la vitesse actuelle de franchissement.
- Modification des sections de tracé qui paraît inopportun en certains tronçon ou cela permet.
- Mise à niveau de la ligne existante.
- Redimensionnement de tous les ouvrages existés (ouvrages d'art, ouvrage de drainage système d'évacuation des eaux).
- L'emploi de long rail soudé (LRS) sur traverses béton (bi-bloc).

Ces actions ont pour objectif principal d'augmenter les capacités de transport sur les lignes à voie unique saturées, ils conduisent également à améliorer la qualité de l'offre de service, le confort et la sécurité, particulièrement pour ce qui concerne le trafic des voyageurs (amélioration de la ponctualité des trains, augmentation des vitesses).

II.2. APRECUE SUR LA VOIE EXISTANTE :

Le canton Bir Larch -Tadjenanet de la ligne de Sétif-El Ghourzi qui relie la wilaya de Sétif à la wilaya de Constantine sur 108 km. Elle a été inaugurée en 1890, exploiter en voie unique étroite. Et après une période de service, cette ligne a subi une rénovation d'infrastructure pour devenir une voie normalisée, et cela pour objet d'éteindre une vitesse de 60 km/h de marchandises à 100 km/h de voyageurs, elle présente les caractéristiques techniques suivantes :

- Longueur de la ligne : ..... 12 km
- Écartement des rails : ..... 1435 mm
- les traverses : ..... Traverses bi-bloc type RSSL
- Déclivité maximale : ..... 10 ‰
- Rayon minimum de courbe : ..... 840 m

- Passages à niveau : 5

- Vitesse max : ..... 100 km/h

- Ouvrages d'art : ..... 3 ponts métalliques

Le dédoublement de la ligne Sétif-El Ghourzi nécessite de prendre en considération les caractéristiques et les éléments de tracé de la voie actuelle, afin de déterminer les modifications qui seront apportés pour la modernisation de cette dernière.

II.2.1. LES ELEMENTS DU TRACE EXISTANT :

Sur cette ligne on s'intéresse à étudier les éléments du tronçon de Pk 354+000 au Pk 366+000 :

II.2.1.1. LES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DU TRACE :

D'après le profil en long de la voie existante établi par la société nationale des chemins de fer français en Algérie, le tracé est constitué d'alignement droit qui varie de 160 m à 10200 m.

Le tableau ci-dessous illustre les différents rayons de courbe dont se compose notre tronçon :

Tableau II.1: Tableau récapitulatif des rayons de courbe existant

Courbe	1	2	3	4	5
Rayon (m)	1200	1100	1100	840	10000

L'objectif de cette modernisation c'est d'atteindre une vitesse maximale de 160 km/h, le rayon minimal correspondant à cette vitesse est de 980 m (calcul de R_{min} dans le chapitre suivant).

D'après le tableau précédent on constate qu'il n'y a qu'un seul rayon inférieur à 1000 m. Finalement un grand changement sur ce courbe s'impose.

II.2.1.2. LES PASSAGES A NIVEAU :

Une des prescriptions du maitre d'ouvrage est la suppression des passages à niveau sur toute la ligne actuelle. Ces passages sont considérés comme un danger très élevé en raison des conséquences telles que les accidents graves parfois mortels ainsi que le retard engendré sur le réseau et les pertes économique et financière. Le tableau ci-dessous illustre les différents passages à niveau de notre tracé avec leurs emplacements sur la ligne actuelle :

Tableau II.2: L'emplacement des passages à niveau sur le tracé existant.

N°	PK	Type	Photo
01	PK 354+950	Chemin de wilaya W118	
02	PK 357+330	Piste	
03	PK 358+975	Piste	
04	PK 360+430	Piste	
05	PK 363+325	Piste	

Il est donc nécessaire de rétablir les communications routières par-dessus ou par-dessous la ligne.

II.2.1.3. LES OUVRAGES :

Après la visite du site du tracé actuel, on a dressé un inventaire des ouvrages existants sur la plateforme actuelle. Les données sont relatives à leurs emplacements, leurs états et leurs dimensions. Tous les ouvrages existant sur le tronçon étudié sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.3: L'inventaire des ouvrages existants sur le tracé actuel

N°	PK	Ouvrage	Photo
01	PK 354+435	Buse maçonnerait	
02	PK 355+907	Pont métallique	
03	PK 357+225	Pont métallique	
04	PK 357+917	3 Buses en maçonnerait	
05	PK 359+900	Pont métallique	

06	PK 360+910	Buse maçonnerait	
07	PK 361+408	Dalot en maçonnerait	
08	PK 362+247	Dalot en maçonnerait	
09	PK 363+321	Dalot en maçonnerait	
10	PK 364+745	Dalot en maçonnerait	

L'inspection des ouvrages répertoriés permettra de conclure sur leur état général pour une conservation future et par la même occasion statuer sur la substitution ou prolongement en rapport avec la nouvelle ligne. L'étude détaillé se fera dans le chapitre de l'étude hydraulique.

II.2.1.4. GARE :

Sur notre tronçon d'étude du Pk 354+000au Pk 366+000 on trouve une gare qui se situent comme il est indiqué ci-dessous :

Tableau II.4: Les Pk de gare Bir-Larch avant le projet

La gare	Pk Axe bâtiment	Pk Axe quais	Pk Début de quais	Pk Fin de quais
Gare Bir-Larch	Pk 353+500	Pk 353+500	Pk 353+400	Pk 353+600



Figure II.2 : La gare de Bir-Larch avant le démarage des travaux

II.3. DESCREPTION GENERALE DU PROJET :

Le projet rentre dans le cadre de développement des transports ferroviaires, notamment la modernisation et doublement de voie de la rocade nord. Il s'inscrit dans le programme complémentaire de soutien à la croissance (PCSC), il consiste à la réalisation de dédoublement de la voie et rectification du tracé de la ligne Sétif-El Ghourzi dans le cadre de développement de transport des voyageurs et des marchandises. La correction des lignes ferroviaires sur ce tronçon permettra aussi d'atteindre la vitesse maximale de 160 km/h au lieu de 60 à 100km/h.

Cette liaison ferroviaire prend naissance à la gare de Sétif de la ligne ferroviaire existante, reliant la ville de Sétif à la ville de El-Ghourzi, en traversant les communes de El-Hassi, Guidjel, El-Eulma, Bir El-Arch, Tadjenent, Mechta-Chelghoum, Telergma et Ain Lahma.

Le couloir proposé c'est le même que celui de la ligne existante sur la plupart des tronçons, a l'exception de certains tronçons où nous ne pouvions pas répondre aux exigences du projet.

Dans son ensemble, le projet traverse un relief ou les terrains sont relativement vallonnés et accidentés qui nécessite une attention particulière pour l'insertion du nouveau tracé rectifié de la ligne des chemins de fer à proximité des obstacles fixes.

Ce projet comporte 9 gares et ainsi que la construction de plusieurs ouvrages d'art le long du nouveau tracé, il permettra également la suppression de plusieurs passages à niveau où se sont produits la plupart des accidents ferroviaires mortels entre Sétif et El-Gourzi.



Figure II.3: Image représentative de projet complet.

II.3.1. OBJECTIF DU PROJET :

- Améliorer le tracé existant dont les rayons varient entre 300 et 800 ce qui réduit la vitesse sous les 80 Km/h à certains endroits, et augmenter la vitesse actuelle des trains de passagers jusqu'à 160 Km/h.
- Mise a niveau de la ligne existante (ligne a voie unique posée sur une plate-forme inexistante, sans sous-ballast).
- Augmenter la vitesse actuelle des trains de passagers jusqu'à 160 Km/h.
- Augmenter et optimiser l'utilisation de cette voie par les dirigeants du secteur ferroviaire au niveau de cette région.
- Amélioration du confort et de sécurité en évitant les sinuosités.

- Diminution du temps de parcours ce qui sert à fournir aux utilisateurs un moyen de transport plus rapide et moderne.
- Soulager le trafic marchandise sur la route nationale RN 5 et sur la nouvelle pénétrante autoroutière, des camions très chargés qui contribue à la dangerosité du transport et à la pollution de la région. En l'occurrence le transport ferroviaire permettra de déplacer un plus grand volume de marchandise en moins de temps, pour offrir un moyen de transport routier et autoroutier plus sûr.

II.4. PRESENTATION DU PROJET D'ETUDE :

En particulier, notre projet consiste à faire l'étude de dédoublement de la voie et modernisation de installations et améliorer le tracé existant le mètre a niveau afin d'augmenter les vitesses jusqu'à 160 km/h sur le tronçon du Pk 354+000 au Pk 366+000. Avec conception de la gare de Bir El-Arch.

Le tronçon de 12 km qui fait objet d'étude, traverse les terrains agricoles des hautes plaines à pentes moyennes.

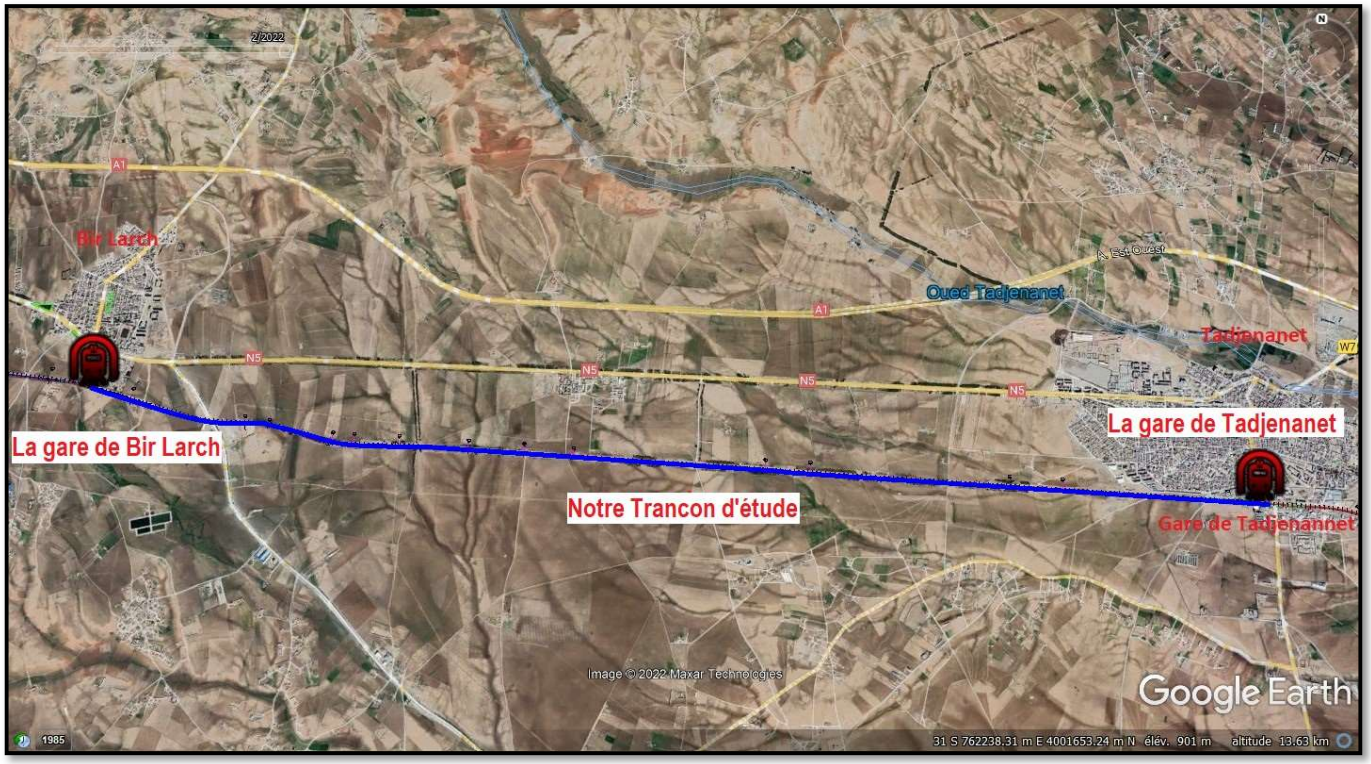


Figure II.4: Situation géographique du tronçon d'étude.

II.4.1. CARACTERISTIQUES DE LA VOIE :

La nouvelle ligne élaborée du projet de réhabilitation et modernisation des installations ferroviaires de la ligne Sétif-El Ghourzi, présentera les caractéristiques suivantes :

II.4.1.1. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES :

- Nouvelle ligne à double voie, écartement standard 1435 mm avec rails UIC 54 posés sur des traverses bibloc.
- Type de trafic : mixte (trains voyageurs et trains marchandises).
- Vitesse voyageur 160 km/h, vitesse marchandise 100 km/h.
- Déclivité max = 16 ‰ en pleine voie, 00 ‰en gare et haltes
- D_{max} = 160 mm.
- Entraxe : 4,20 m.
- Largeur de la plateforme : 13,60 m (plateforme pour voie double).
- Distance axe voie - axe caténaire : 3,25 m (en cas de futur électrification de la ligne).
- Ligne sans passages à niveaux
- Charges à l'essieu pour la superstructure de 25 tonnes.
- Charges à l'essieu pour les ouvrages d'art de 25 tonnes.
- Mode de traction : diesel électrique.

II.4.1.2. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES :

- Type de voie : LRS (Long Rails Soudés) (mixte : voyageur et marchandises).
- Rail UIC 54.
- Appareils de voie : UIC 54 (R500 1/12, R300,190 1/9).
- Système d'attache : attache élastique (Butté isolante 9/5, lame élastique RNTC 01, …Pour la TBA).
- Traverse en Béton Armé (VAX U31 : NAT/NAG) soit 1667 unités/ KM (travelage 60 cm entre TBA) (écartement 1435±2 mm).
- Ballast: 25/50 (DRG = 12, RC > 8 KN/ cm²……).
- Soudure (Soudure Aluminothermique ou Soudure électrique).

II.5. CONCLUSION :

Notre travail consiste à faire une étude APD d'un dédoublement d'un tronçon sur la ligne Sétif-El Ghourzi allons de Pk 354+000 au Pk 366+000, en tenant compte de la mise à niveau et la rectification de tracé existant, puisqu´il faut adapter la voie actuelle aux exigences de modernisation pour permettre d´atteindre une vitesse de 160 km/h, en essayant d´utiliser au maximum l'emprise de la voie existante. Tout en considérant que la ligne peut être électrifiée en future.

CHAPITRE III. ETUDE GEOMETRIQUE

III.1. INTRODUCTION :

L'étude géométrique du tracé de la voie a pour but d'obtenir un roulement parfait et sécurisé des trains, il est donc indispensable de rechercher la meilleure forme géométrique à donner à la surface de roulement de la voie et du tracé adopté pour cette surface, et au même temps qui répond aux conditions et recommandations exigées par la norme SNTF.

Notre tracé d'étude est développé à partir des données topographiques et des visites faites sur le site, il est conçu d'une manière à être conforme aux exigences de la modernisation de la ligne Sétif/El-Gourzi ; en tenant compte des descriptions suivantes :

- ➢ Ligne à double voie.
- ➢ Trafic mixte voyageur-marchandise.
- ➢ Suppression de tous les passages à niveau.
- ➢ Maintenance de la voie actuelle en service lors des travaux de construction.
- ➢ Réduction des expropriations des propriétés privé.

III.2. TRACE EN PLAN :

Le tracé en plan est une succession d'alignements droits et d'arcs de cercles reliés entre eux par des raccordements progressifs. Il représente la projection de l'axe de la voie sur un plan horizontal, qui peut être une carte topographique ou un relief, schématisé par des courbes de niveau. Les caractéristiques des éléments constituant le tracé en plan doivent assurer les conditions de confort et de stabilité. Sans omettre que dans les chemins de fer on trouve deux vitesses caractéristiques :

- V_v : vitesse des trains voyageurs (vitesse rapide).
- V_m : vitesse des trains marchandises (vitesse lent).

III.2.1. CONDITIONS ET REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE EN PLAN :

Il se trouve que pour faire un bon tracé, l'ingénieur doit traiter soigneusement les données disponibles tout en respectant les critères techniques et économiques, on cite les plus pertinentes :

- 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 au maximum les propriétés privées
- Eviter le franchissement des oueds et des routes dans la mesure du possible pour éviter les travaux d'ouvrages d'art et cela pour des raisons économiques, 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, les terrains plastiques et la présence de roches fissurées).

- Talus en remblai (éviter les terrains instables et les sols compressibles).

III.2.2. LES ELEMENTS DE TRACE EN PLAN :

Le tracé en plan est un ensemble d'alignements droits raccordés entre eux par des arcs et des courbes de raccordements. (Voir fig.5 au-dessous) :

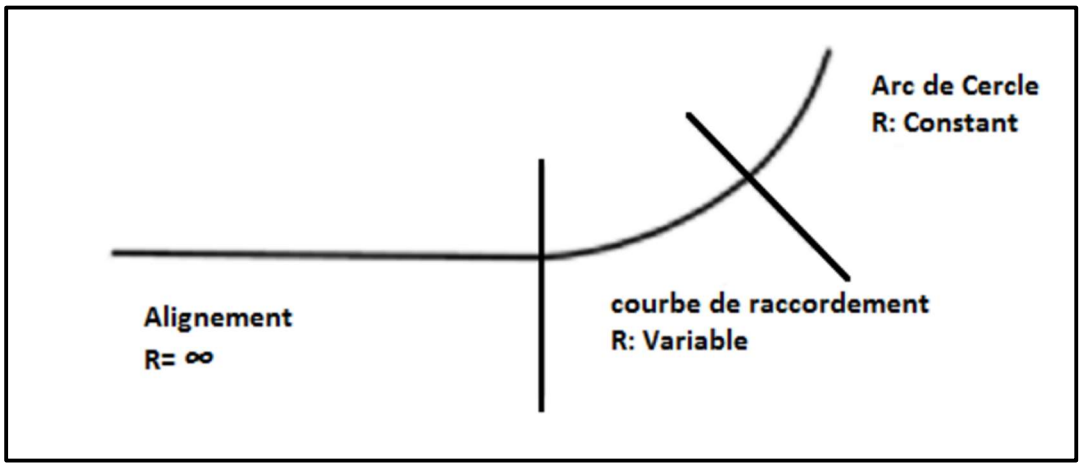


Figure III.1: Les éléments de tracé en plan

III.2.2.1. L'ALIGNEMENT (R= ∞) :

Un alignement droit est une courbe de rayon infini (R=∞), C'est l'élément le plus simple et le plus favorable à l'exploitation, il représente le meilleur tracé qui convient aux voies ferrées sur le plan technique, et cela pour le confort et la sécurité qu'il offre aux usagers (la force centrifuge est nul). Donc il est recommandé d'utiliser plus d'alignement dans le tracé en plan quand la topographie de la zone nous le permet.

Dans la pratique il est nécessaire de ne pas dépasser des limites au-delà de l'alignement minimal recommandé par les normes.

Tableau III.1: Longueur minimale des éléments du tracé

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Longueur minimale des éléments de tracé (m)	V/2= **80 m**	V/3= **54 m**

III.2.2.2. LA COURBE :

Par cette appellation, on désigne les courbes dans le plan ainsi que les éléments de transition qui y sont associés (cercle et courbe de raccordement). Sauf spécification contraire, les paramètres de la courbe sont définis par rapport à l'axe de la voie.

III.2.2.2.1. L'ARC DE CERCLE :

Dans les endroits où la topographie ne permet pas de réaliser les alignements, on a recourt au raccordement circulaire. Vu le poids important des convoie, le rayon sera plus grande possible et sa valeur nominale dépend de la vitesse de base.

III.2.2.2.2. LA COURBE DE RACCORDEMENT :

C'est un élément géométrique qui raccorde l'alignement à un arc de cercle dont la courbure varie progressivement d'un rayon R=∞ à la fin de l'alignement jusqu'à une valeur R constante au début de l'arc de cercle.

Il y a plusieurs types des courbes de raccordement mais le plus utilisable est la clothoïde qui assure, grâce à sa variation linéaire de courbure, la stabilité et le confort. Elle présente en plus un aspect esthétique satisfaisant.

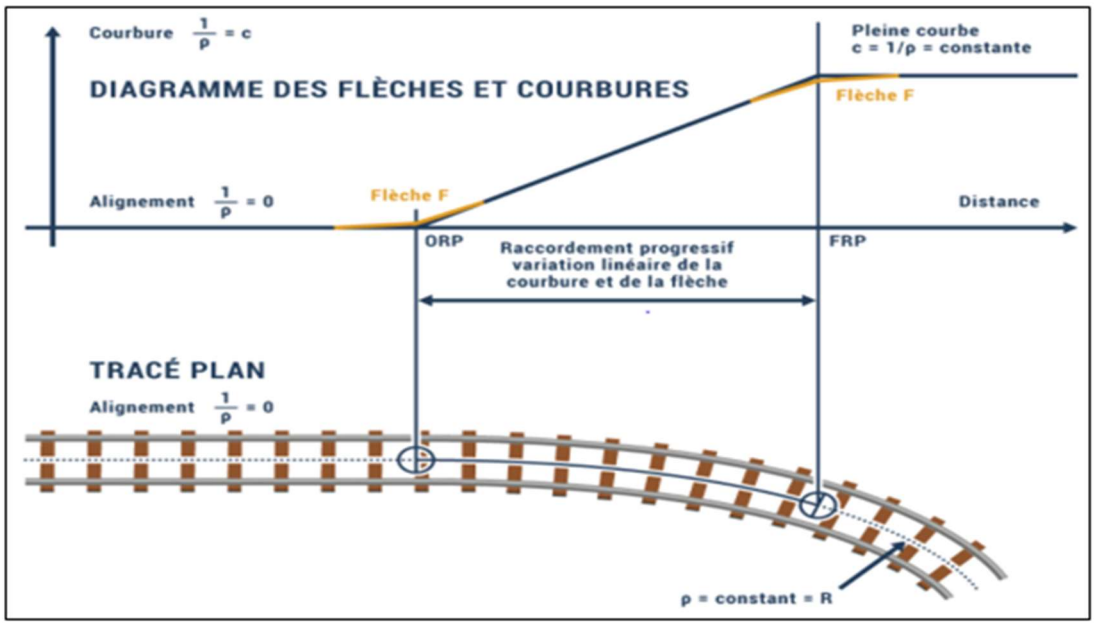


Figure III.2: Diagrammes des flèches et courbures et tracer en plan d'un RP

III.2.2.2.3. CONDITIONS DE RACCORDEMENT :

• **Condition de gauchissement** : On doit limiter dans les zones de variation de dévers la pente relative au profil en long du rail déversé par rapport à l'axe de la voie.

• **Condition de confort optique** : C'est pour assurer une vue satisfaisante au conducteur de la voie en limitant le changement de direction.

• **Condition de confort dynamique** : elle assure la stabilité et le confort dynamique par la progression du dévers et de la courbure.

III.2.2.3. LE DEVERS :

D'après les lois de la mécanique classique un point matériel qui se déplace dans une courbe subit une force centrifuge qui a tendance à la renverser à l'extérieur du virage. Cette force peut conduire au déraillement du train et à la fatigue de la voie et des roulants, pour annuler ou modérer cette force, on surélève le rail ou la file extérieur de la voie, cette différence de niveau dans une courbe est appelée dévers. Généralement elle est réalisée avec une variation progressive dans toute la longueur de courbe de raccordement.

Il y a plusieurs manières de mettre en place un dévers :

- On relève le rail extérieur de la valeur du dévers h sans modifier le niveau du rail intérieur.
- On abaisse le rail intérieur de la valeur de dévers h sans modifier le niveau du rail extérieur.
- On modifie le niveau des deux rails, le rail extérieur étant relevé de h/2 et le rail intérieur abaissé de la même valeur.

Pour des raisons pratiques d'exécution sur le terrain, la plupart des réseaux adoptent la première méthode.

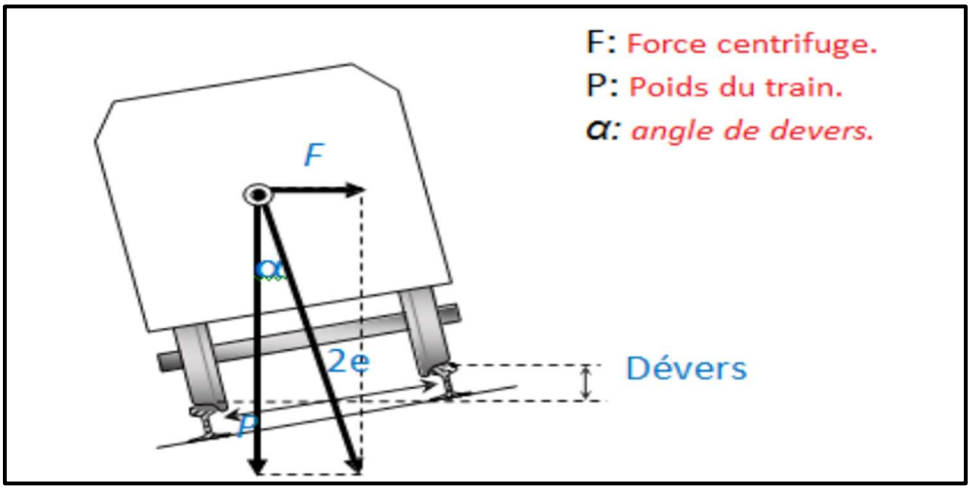


Figure III.3: Force centrifuge et dévers

III.2.2.3.1. DEVERS THEORIQUE :

Le dévers théorique c'est le divers convenable pour une voie à vitesse constante, ce dernier permet d'annuler totalement l'effet de la force centrifuge lors d'un passage du train sur une courbe de rayon R, sa formule est la suivante :

$$d_{th} = \frac{11.8 \times V_V^2}{R}$$

- ✓ **R** : Rayon de courbe (m).
- ✓ V_V : Vitesse des trains rapide (voyageurs) (km/h).
- ✓ d_{th} : Dévers théorique (mm).

III.2.2.3.2. DEVERS PRATIQUE :

A En pratique il est impossible de rouler à un divers théorique car les trains roulent souvent à des vitesses différentes selon leur nature (train de voyageurs ou de marchandises) et leur type. C'est là où il intervient ce qu'on appelle le devers pratique. C'est le divers qui permet la circulation des trains avec des vitesses différentes dans des conditions de sécurité et de confort, aussi bien pour le train rapide des voyageurs que des trains de marchandises et aussi pour éviter l'usure du rail.

La première approche du dévers réel : $0,5 d_{th} < d_p < 0,7 d_{th}$

La seconde formule pour fixer le dévers réel, prend en considération le coefficient de dévers est la suivante :

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

La valeur optimale du coefficient de dévers étant de l'ordre de

$$C = 0,006 \times V_V^2$$

Telle que : V_V : la vitesse du train voyageurs exprimée en Km/h.

Les valeurs limite du dévers en voie autorisées par le référentiel SNTF, sont données dans le tableau suivant :

Tableau III.2: Valeur Limite du dévers pratique

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Dévers maximum (mm).	**160**	**180**

III.2.2.3.3. INSUFFISANCE DE DEVERS :

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

La limitation de l'insuffisance de dévers I est donnée par la formule ci-dessous :

$$I = d_{th} - d_p = \frac{11.8 \times {V_V}^2}{R} - d_p < \text{Imax}$$

III.2.2.3.4. L'EXCES DE DEVERS :

Le dévers théorique qui assure l'équilibre de train lent est inférieur aux devers pratique, ce qui donne des efforts transversaux non compense qui tend a poussé le véhicule vers l'intérieur de la voie, 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'excès de devers E.

L'excès de dévers est exprimé par la formule suivante :

$$E = d_p - d_{th} = d_p - \frac{11.8 \times {V_m}^2}{R} < \text{Emax}$$

III.2.2.3.5. VARIATION DE DEVERS :

Pendant son mouvement sur les raccordements, un véhicule subit une rotation progressive autour d'un axe parallèle à celui de la voie et un gauchissement normalement limité par l'action des ressorts de suspension. Donc, le gauchissement et la vitesse de rotation doivent être limités pour assurer un roulement régulier dans les raccordements.

Dans le raccordement parabolique, le divers varier progressivement de 0 à d_p.

a) Variation de dévers dans les courbes de transition Δd/Δl :

La longueur des courbes de transition sera fonction du dévers adopté et du taux de variation de dévers admissible.

Le tableau suivant reprend les valeurs admissibles de la variation de dévers en fonction de la longueur des courbes de transition $\Delta d/\Delta l$ exprimées en mm/m :

$$\frac{\Delta d}{\Delta l} \geq \frac{d_p}{L_{rp}}$$

Tableau III.3: Variation de dévers dans les courbes de transition Δd/Δl

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Variation de dévers (mm/m)	180/ Vv	216/ Vv

b) Variation de l'insuffisance de dévers dans le temps ΔI/Δt :

La variation d'insuffisance de dévers se détermine par la formule suivante :

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \times V_V}{3.6 \times L_{rp}}$$

- ✓ V_v : vitesse (Km/h).
- ✓ L_{rp} : longueur du raccordement progressif (m).

III.2.3. APPLICATION SUR LE PROJET :

Tout d'abord, nous vous présentons le tableau suivant, qui résume l'ensemble des valeurs limites normales et exceptionnel selon le référentielle SNTF à respecter dans le projet.

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

	FORMULE		APPLICATION	
	Normal	Exceptionnel	Normal	Exceptionnel
Longueurs minimales des alignements (m)	$\frac{V_{max}}{2}$	$\frac{V_{max}}{3}$	80	54
Longueurs minimales des pleines courbes (m)	$\frac{V_{max}}{2}$	$\frac{V_{max}}{3}$	80	54
Rayon minimal Rmin (m)	$\frac{11.8 \times {V_{max}}^2}{d_{max} + I_{max}}$	$\frac{11.8 \times {V_{max}}^2}{d_{max} + I_{max}}$	960	900
Dévers maximal d (mm)	-	-	160	180
Insuffisance de dévers admissible I (mm)	-	-	150	160
Excès de dévers admissible E (mm)	-	-	110	130
Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur(mm/m)	$\frac{180}{V_{max}}$	$\frac{216}{V_{max}}$	1.125	1.135
Limite de la variation d'insuffisance de dévers par rapport au temps (mm/s)	-	-	75	90

On prend le rayon R=1500 m comme exemple pour calculer les dévers et les différents paramètres correspondant à ce dernier.

- Dévers théorique : $\boldsymbol{d_{th} = \frac{11.8 \times {V_{max}}^2}{R} = \frac{11.8 \times 160^2}{1500} = 201.39\ mm}$
- Le coefficient de dévers : $C = 0.006 \times {V_{max}}^2 = 0.006 \times 160^2 = 153.6$

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

$$\boldsymbol{0.5 < \frac{C}{0..118 \times {V_{max}}^2} \leq 0.7}$$

Alors dans ce cas en prend C=165.

- Le dévers pratique : $\boldsymbol{d_p = \frac{1000 \times C}{R} = \frac{1000 \times 165}{1500} = 110\ mm}$

On prend $d_p = 140\ mm$

- Insuffisance de dévers : $\boldsymbol{I = d_{th} - d_p = 201.39 - 140 = 61.39\ mm}$
- Excès de divers : $\boldsymbol{E = d_p - \frac{11.8 \times {V_{min}}^2}{R} = 140 - \frac{11.8 \times 100^2}{1500} = 61.33\ mm}$
- La longueur de clothoïde : $\boldsymbol{L_{rp} = \frac{d_p}{dd/dl} = \frac{d_p}{180/V_{max}} = \frac{140}{1.125} = 124.44\ m}$

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

- Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur : $\frac{dd}{dl} = \frac{140}{140} = 1\ mm/m$
- La variation d'insuffisance de dévers : $\frac{dl}{dt} = \frac{dI}{dl} \times \frac{V_{max}}{3.6} = \frac{61.36 \times 160}{140 \times 3.6} = 19.49\ mm/s$

Ci-dessous le listing des paramètres et des dévers correspondant à chaque rayon qui se trouve sur le tracé du tronçon d'étude, pour les vitesses V_{max} = 160 km/h, V_{min} =100 km/h.

NB : Des tronçons de notre tracé en plan sont joints en plans format A3.

Tableau III.5: Tableau récapitulatif des paramètres du la trace

		Formule	1	2	3	4	5
Rayon		-	1500	1200	1200	5000	50000
Vitesse (Km/m)	V_{max}	-	160	160	160	160	160
	V_{min}	-	100	100	100	100	100
d_{th} (mm)		$\frac{11.8 \times V_{max}^2}{R}$	201.39	251.73	251.73	60.42	6.04
C		$0.006 \times V_{max}^2$	153.60	153.60	153.60	153.60	153.60
C adopté		-	165.00	165.00	165.00	165.00	165.00
d_p (mm)		$\frac{1000 \times C}{R}$	110	137.50	137.50	33.00	3.30
d_p adopté (mm)		-	140	150	150	50	5
I (mm)		$d_{th} - d_p$	61.39	101.73	101.73	10.42	1.04
E (mm)		$d_p - \frac{11.8 \times V_{min}^2}{R}$	61.33	51.67	51.65	26.40	2.64
L_{rp} (m)		$\frac{dp/dd}{dL}$	124.44	133.33	133.33	44.44	4.44
L_{rp} adopté (m)		-	140	150	150	50	10
dd/dl (mm/m)		$\frac{d_p}{L_{rp}}$	1.00	1.00	1.00	1.00	8.62
dd/dt (mm/s)		$\frac{I \times V_{max}}{L_{rp} \times 3.6}$	19.49	30.14	30.14	9.26	4.63

III.3. PROFIL EN LONG :

III.3.1. INTRODUCTION :

La construction du profil en long est la tâche la plus importante par laquelle on peut évaluer un projet ferroviaire, soit sur le plan économique là ou paraîtra l'importance des terrassements (quantité de déblai et de remblai), ouvrage d'art, tunnel…etc.

III.3.2. DEFINITION :

Le profil en long d'une voie ferrée est une ligne continue obtenue par l'exécution d'une coupe longitudinale fictive, il est constitué de lignes droites raccordées par des paraboles. Donc il exprime la variation de l'altitude de l'axe de la voie en fonction de l'abscisse curviligne.

Pour chaque point du profil en long on doit déterminer :

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

III.3.2.1. PROFIL EN LONG DU TERRAIN NATUREL :

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

III.3.2.2. PROFIL EN LONG DU PROJET :

C'est la représentation de l'allure du projet, en général le tracé d'une voie ferrée en profile est constitué par une succession d'alignement droits raccordé par des courbes circulaires.

III.3.2.3. DECLIVITE :

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

III.3.3. ELEMENTS DE COMPOSITION DU PROFIL EN LONG :

III.3.3.1. CHOIX DES ALIGNEMENTS DROITS :

Le profile en long de la voie ferre est caractérisé par des valeurs très faible de déclivités pour assurer des vitesses de circulation convenables et la sécurité lors de freinage en pente est confort au démarrage de véhicule en rampe, donc la déclivité des droites ne peut pas dépasser un certain maximum fixé par la SNTF D'autre part, on emploie un palier de longueur supérieur à 800m pour l'implantation de la gare, on adopte en générale les déclivités maximales suivantes :

- La déclivité de longueur inférieure à 3000 m, ne doit pas dépasser 16‰ et exceptionnellement 18‰.

• La déclivité de longueur comprise entre 3 000 m et 15 000 m, diminue graduellement Pour passer de 16‰ à 13‰, exceptionnellement de 18‰ à 15‰.

• En déclivité de longueur supérieure à 15 000 m, la déclivité ne doit pas dépasser 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 bas 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 eaux pluviales.

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 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 III.6 : Longueur minimale des déclivités.

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Longueur minimale des déclivités	$V/2$	$V/2.5$

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

III.3.3.2. CHOIX DES CERCLES :

Lorsqu'un véhicule traverse un changement de déclivité, il subit une accélération verticale brutale aux extrémités du raccordement, qui provoque une oscillation de la suspension du véhicule et perturbe le confort des voyageurs. Cette accélération est donnée par la formule suivante :

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

Pour une vitesse inférieure à 220 km/h la valeur maximale de cette accélération est de 0.22m/s^2 (Av≤0.05g) (exceptionnellement 0.31m/s²) qui est une valeur de confort acceptable en remplaçant les valeurs de Av dans la formule $R_v = \frac{V^2}{3.6^2 \times A_v}$ on trouve :

Tableau III.7: Valeurs de Rayon vertical minimale.

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Rayon minimum vertical	$0.35V^2$	$0.25V^2$

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.

III.3.4. APPLICATION SUR LE PROJET :

Tableau III.8: Paramètres géométriques de profil en long (SNTF)

		Formule		Application	
		Normal	Exceptionnel	Normal	Exceptionnel
Déclivité maximale	L <3000 m	-	-	16 ‰	18 ‰
	3000<L<15000 m	-	-	16 ‰ à 13 ‰	18 ‰ à 15 ‰
	L >15000 m	-	-	13 ‰	15 ‰
	Gares	-	-	0 ‰	0 ‰
Rayon minimal en raccordements verticaux (m)		$0.35V^2$	$0.25V^2$	8960	6400
La longueur minimale des pentes uniformes et des raccordements en profil en long (m)		V/2	V/2,5	80	64

III.4. CONCLUSION :

Les résultats obtenus dans cette étude sont conformes au référentiel de l'SNTF, et tous les paramètres nécessaires pour le dédoublement, la rectification et le mise à niveau du tracé de le voie existante afin d'atteindre la vitesse de 160 km/h sont pris en compte.

CHAPITRE IV. ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDROLIQUE :

IV.1. INTRODUCTION :

L'Algérie est soumise, comme le monde entier, à des crues importantes qui peuvent être très dommageables et provoquent des dégâts matériels et humains énormes. Ce risque est ressenti plus fortement aujourd'hui en raison du fort développement démographique, économique, urbain, agricole, industriel et touristique.

En clair ce risque est le résultat de la présence à la fois d'un cours d'eau susceptible de déborder après de fortes précipitations (aléa) et présence de biens vulnérables (personnes, constructions, infrastructures, parcelles agricoles) exposés à ces aléas.

Cette étude a donc comporté, pour répondre aux objectifs fixés ci-dessus :

-Identification des bassins traversés par le tracé et leur délimitation, calcul du débit maximal de crue pour différentes périodes de retour.

-Diagnostic des ouvrages existants de point vue structurelle et fonctionnelle et d'étudier les possibilités de les conserver pour le nouveau tracé dans les zones où celui-ci suit l'alignement actuel. L'inventaire des ouvrages de drainage existants est présenté dans le chapitre 02.

-Dimensionnement et localisation des ouvrages de drainage transversal nécessaires pour les débits calculés. On établira un nombre déterminé d'ouvrages de drainage type qui seront utilisés le long de tout le tracé selon le débit de crue calculé.

-Localisation de structures singulières : viaducs et ponts ferroviaires. Calcul hydraulique au niveau des structures et vérification des gabarits entre la lame d'eau et la partie inférieure du tablier de la structure.

-Dimensionnement du drainage longitudinal : caniveaux, regards de visite, conduites…

IV.2. ETUDE HYDROLOGIQUE :

L'hydrologie et la science qui étudient les eaux terrestres, leur origine, leur mouvement et leur répartition sur notre planète (en surface et dans le sous-sol), leurs propriétés physiques et chimiques, leurs interactions avec l'environnement et leur influence sur les activités humaines.

L'hydrologie est une science extrêmement complexe, elle permet de connaitre les caractéristiques climatiques et pluviométrique d'une région.

IV.2.1. CLIMATOLOGIE :

L'étude climatologique d'une région a pour but de définir les principaux caractères climatiques de la zone du projet, afin d'établir l'incidence qu'ils pourraient avoir sur les travaux à réaliser.

IV.2.1.1. CLIMAT :

Le climat et l'environnement de notre zone d'étude influent considérablement sur a bonne tenue de la plateforme en termes de résistance aux contraintes et aux déformations.

La wilaya de Sétif est caractérisée par un climat semi-aride, avec des étés chauds et secs et des hivers rigoureux. Les pluies sont insuffisantes et irrégulières à la fois dans le temps et dans l'espace.

Le facteur altitude joue un rôle important sur la nature de climat, en effet on distingue les diversités climatiques suivantes :

- Un climat à sub-humide froid sur la zone montagneuse du Nord.
- Prédominance de climat semi-aride sur les plaines, les piémonts et dans le Sud des hautes plaines.

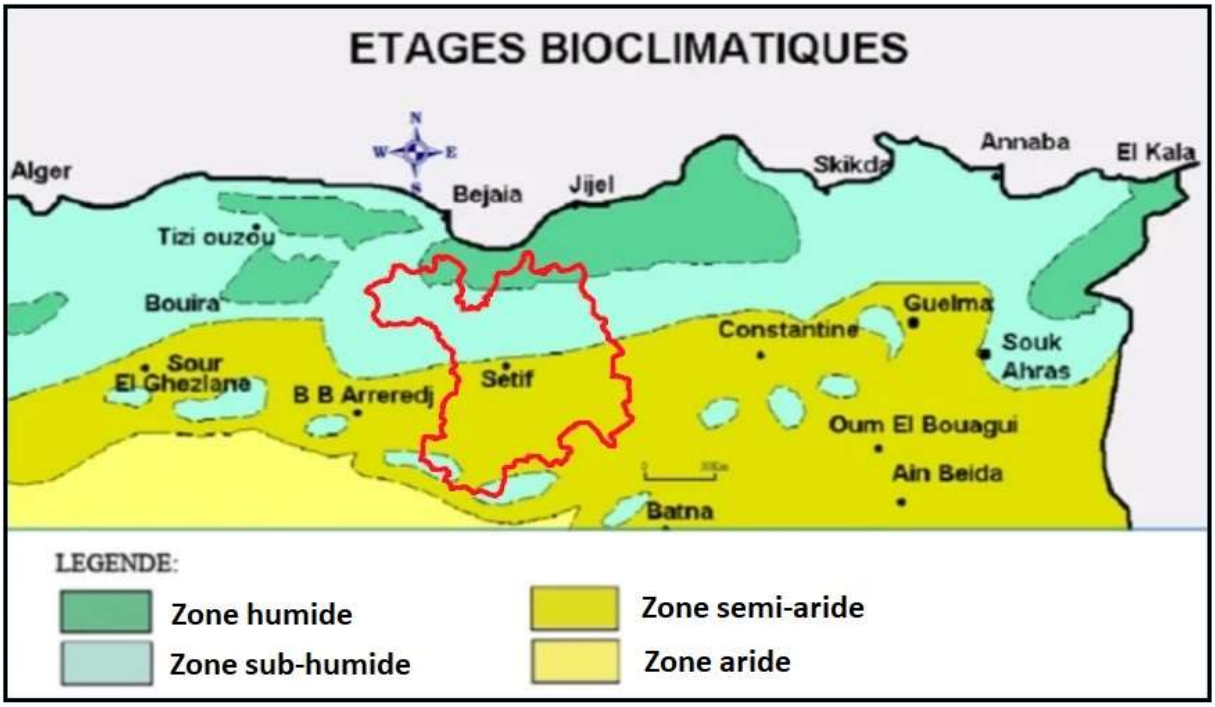


Figure IV.1: Carte des étages bioclimatiques de la wilaya de Sétif.

IV.2.1.2. LA TEMPERATURE :

Du point de vue thermique, l'accentuation des contrastes est remarquée, les températures sont basses en hiver et élevées au cours de la période estivale.

Les températures se caractérisent par des oppositions entre les montagnes du Nord où les écarts sont faibles et les hautes plaines aux fortes variations journaliers et saisonnière.

Pour une période qui s'étale de 1878 à 2018, les températures annuelles mensuelles se présentent comme suit :

Tableau IV.1: Les températures annuelles mensuelles de la willaya de Sétif.

Mois		Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Des
T (°C)	Journée	10	11	14	17	23	29	33	32	27	22	15	11
	Nuit	1	1	3	5	9	14	17	17	14	10	5	2

IV.2.1.3. LES VENTS ET LE SIROCCO :

Les vents sont variables avec une prépondérance des vents Ouest et Nord-Ouest pendant l'hiver, mais les vents de Nord-Est sont également très présents, notamment au printemps en été. Alors que le sirocco se manifeste pendant l'été avec des effets négatifs surtout dans les zones de Guellel, Ain Azel.

IV.2.2. PLUVIOMETRIE :

La pluviométrie est un axe très important du cycle de l'eau, qui conditionne non seulement l'écoulement liquide dans les cours d'eau, mais aussi le taux de transport solide en plus d'autres facteurs bien sûr.

Les données de la région d'étude ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources en eau (A N R H) et de l'Office National de la Météorologie (O N M). Il s'agit d'observations journalières reportées sur des tableaux de cumuls mensuels (T C M). A partir de ces données mensuelles nous avons reconstitué les valeurs de pluies annuelles.

La figure suivante présente la carte pluviométrique de la wilaya de Sétif (extrait de la carte pluviométrique d'Algérie du Nord, échelle = 500000, source ANRH).

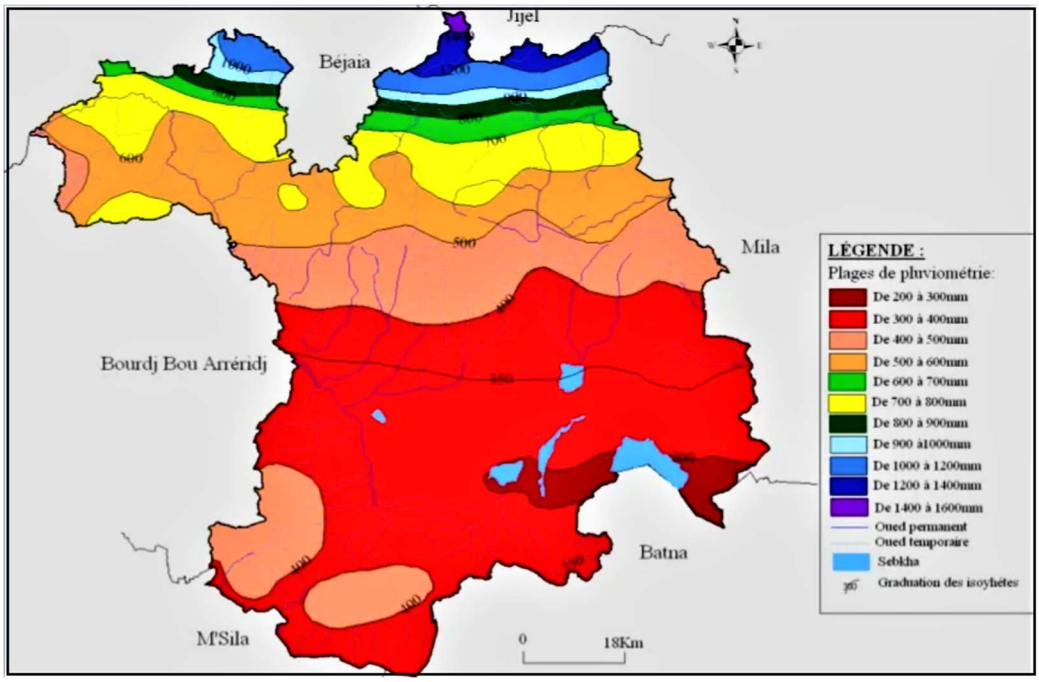


Figure IV.2: Carte pluviométrique de la wilaya de Sétif.

IV.2.2.1. PLUIES ANUELLES :

La pluie annuelle moyenne dans la région est comprise entre 400 et 500 mm d'après la carte des pluies de l'Algérie du nord de l'ANRH, nous prenons en considération la valeur de :

$$P_{moy} = 450 \text{ mm}$$

L'ajustement à une loi normale des pluies annuelles des stations de Bir Larch et de Tadjenent nous montre que les distributions statistiques dans notre région présentent un caractère nettement symétrique.

Dans le tableau suivant nous présentons les pluies annuelles pour différentes fréquences :

Tableau IV.2: Pluies annuelles en mm.

Période de retour	Fréquence	U. Gauss (mm)	Bir Larch (mm)	Tadjenent (mm)
10ans	0.9	1 282	424.8	522.1
20ans	0.95	1 645	458.7	560.9
50ans	0.98	2 054	496.8	604.5
100ans	0.99	2 327	522.2	633.6

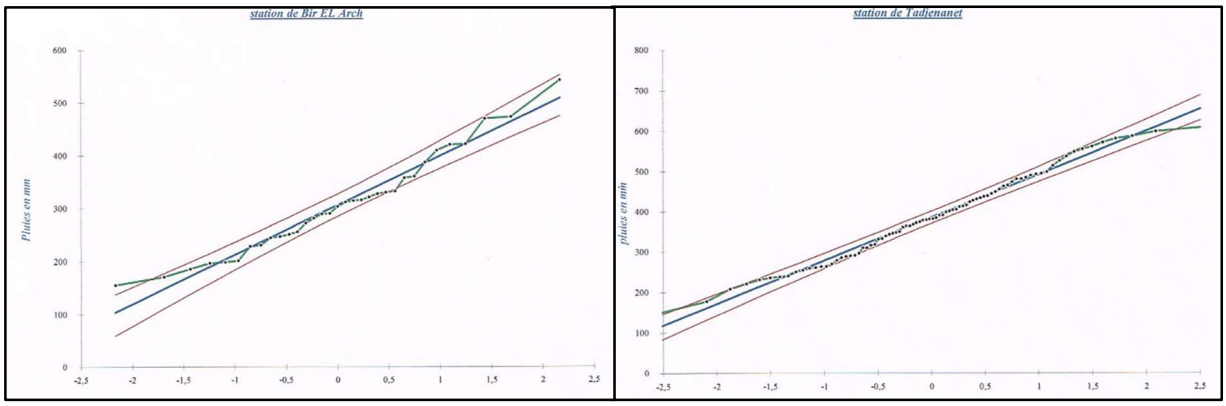


Figure IV.3: Ajustement des pluies annuelles.

IV.2.2.2. PRECIPITATIONS MENSUELLES :

Les pluies moyennes mensuelles représentées par le tableau traduisent clairement les variations saisonnières et leur distribution à l'échelle annuelle. La station prise en considération dans la région d'étude, fait ressortir deux périodes distinctes, une saison sèche et une autre relativement humide.

Tableau IV.3: Répartition mensuelle, station de Tadjenent.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
P en mm	32.7	34.9	32.8	40.6	42.5	34.7	35.8	39.0	43.4	21 .8	11 .0	15.7
P en %	8.5	9.1	8.5	10.5	11.1	9.0	9.3	10.1	11 .3	5.7	2.9	4.1

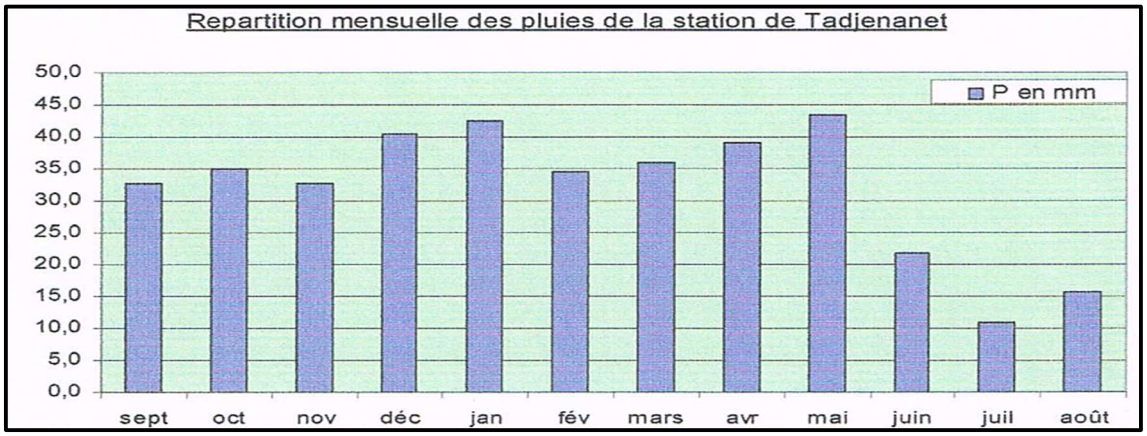


Figure IV.4: Répartition mensuelle de la station de Tadjenent.

On remarque l'existence d'une saison sèche qui correspond aux mois de juin à août, avec des pluies moyennes mensuelles égales ou inférieures à 22 mm et une saison relativement humide qui correspond aux autres mois.

La répartition des pluies mensuelle en % nous montre de façon distincte que les mois les plus arrosés correspondent à décembre-janvier en hivers et à avril – mai au printemps ces quatre mois accaparent à eux seuls plus de 40% des précipitations annuelles. Par contre les mois d'été sont largement déficitaires avec moins de 6% du total annuel pour chaque mois.

IV.2.2.3. PRECIPITATIONS JOURNALIERS :

La protection contre les dégâts des eaux nécessite de s'intéresser aux pluies journalières maximales annuelles.

Théoriquement les valeurs extrêmes s'ajustent à une loi des valeurs extrêmes, en Algérie, il est vérifié que les pluies journalières maximales annuelles s'ajustent à une loi de Gumbel.

Dans le tableau suivant nous présentons les pluies max journalières de Bir Larch et Tadjenent pour différentes fréquences :

Tableau IV.4: Pluies max journalières en mm.

Période de retour	Fréquence	U. Gumbel (mm)	Bir Larch (mm)	Tadjenent (mm)
10ans	0.9	2.25	54.8	54.9
20ans	0.95	2.97	64.4	62.7
50ans	0.98	3 902	76.9	72.7
100ans	0.99	4.6	86.2	80.3

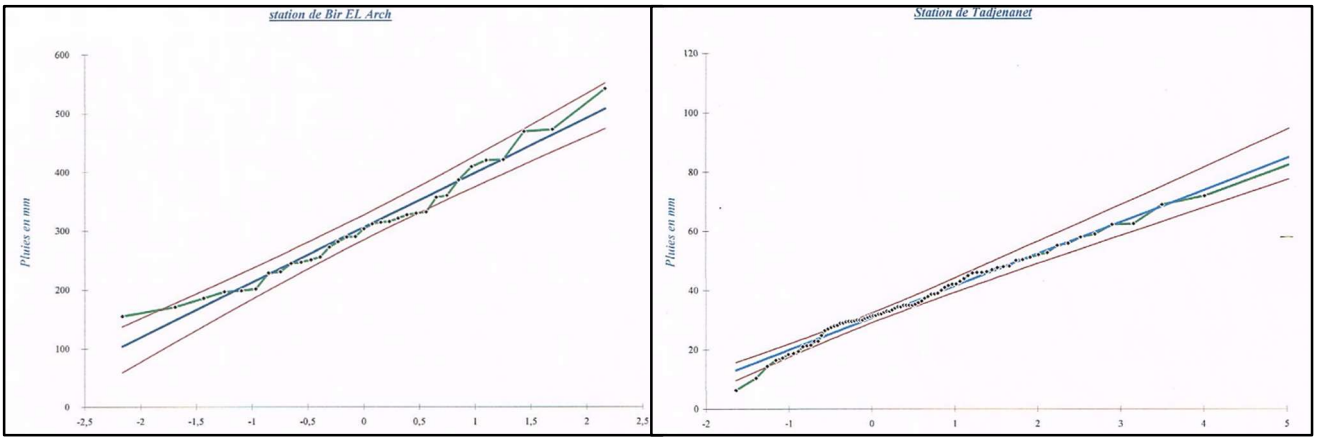


Figure IV.5: Ajustements des pluies max journalières.

IV.2.2.4. PLUIES DE COURTES DUREES :

La recherche de la loi Intensité – Durée – Fréquence s'effectue sur la base des enregistrements pluviographiques. A partir des dépouillements à intensités constantes on a calculé les quantités de pluies correspondantes à différents pas de temps (15mm, 30mn, 1h, 2h, 3h, 6h, 12h et 24 h). Pour chaque pas de temps nous avons sélectionné une valeur maximale par averse. Nous avons obtenu donc une série de données pour chaque pas de temps sur toute la période dépouillée.

La relation Intensité – Durée – Fréquence recherchée est de la forme : $$\frac{P_t}{P_{j\,max}} = a \times t^b$$

- ✓ P_t : pluie correspondante à un pas de temps t.
- ✓ $P_{j\,max}$ pluie journalière maximale.
- ✓ a et b : paramètres climatiques.

La relation obtenue est la suivante : $$\frac{P_t}{P_{j\,max}} = 0.43 \times t^{0.30}$$

Tableau IV.5: valeurs des intensités pour différentes périodes de retour, station de Tadjenent.

Périodes de retour	Fréquences	15 min	30 min	1 H	2 H	3 H	6 H	12 H	24 H
5 ans	0.8	62.3	38.4	23.6	14.5	10.9	6.7	4.1	2.6
10 ans	0.9	71.1	43.8	27.0	16.6	12.5	7.7	4.7	2.9
20 ans	0.95	82.5	50.8	31.3	19.3	14.5	8.9	5.5	3.4
100 ans	0.99	91.1	56.1	34.5	21.2	16.0	9.8	6.1	3.7

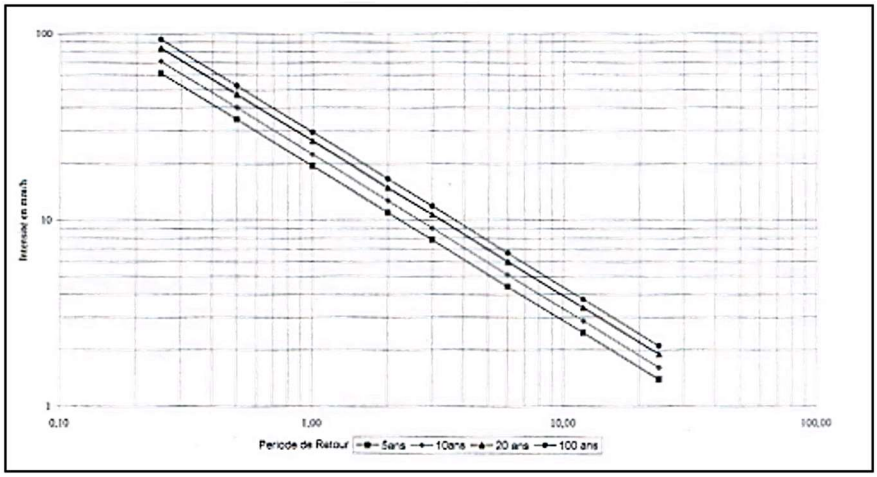


Figure IV.6: Courbes Intensité-Durée-Fréquence en station de Tadjenent.

IV.3. BASSINS VERSANTS :

IV.3.1. INTRODUCTION :

Le tronçon de voie ferrée traverse un certain nombre de bassins versants hydrologiques qu'on se propose d'étudier.

Le bassin versant, appelé aussi bassin drainage d'un oued, en un point donné de son cours, est l'aire limitée par le contour à l'intérieur duquel l'eau précipitée se dirige vers ce point de l'oued.

Le bassin versant à une fonction de collecteur, il recueille les pluies et les transforme en écoulement à l'exécutoire. Cette transformation est en fonction des conditions climatiques et des caractéristiques physiques du bassin versant.

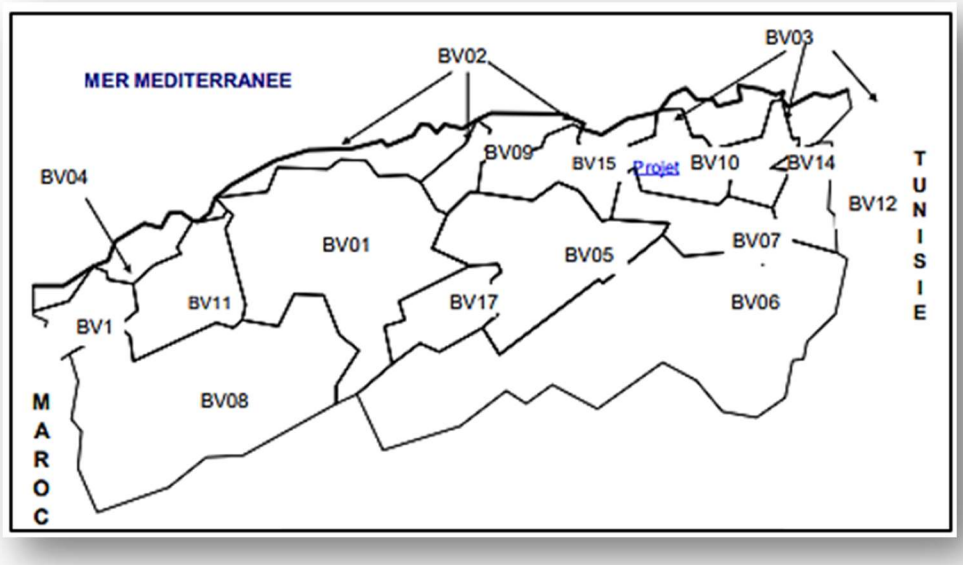


Figure IV.7: Carte de situation de la région d'étude.

IV.3.2. LES CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS :

La détermination des caractéristiques des bassins versants consiste à calculer, ou évaluer, les paramètres explicatifs, indispensables à l'évaluation des débits de crues. Les paramètres physiques peuvent être calculés, sans grandes difficultés, avec une précision satisfaisante.

La superficie (S) des bassins, exprimées en km², est déterminée avec une précision acceptable, la délimitation des lignes de partage des eaux est faite sur les cartes d'état-major au (1/50000).

Les paramètres suivants :

- ✓ Surface.
- ✓ Périmètre.
- ✓ Longueur de l'oued Altitude min.
- ✓ Altitude max, min et moy.
- ✓ Indice de pente globale.
- ✓ Longueur du rectangle équivalent

Sont évalués et calculés pour chaque oued qui traverse la voie ferrée à partir des cartes (1/50000).

Les PK (Points Kilométriques), ont servis de repérage du passage d'un tronçon de la voie ferrée sur l'oued. La délimitation des bassins versants est faite à partir de leur intersection.

L'ordre des bassins a été pris à partir du Pk 354 au Pk 366.

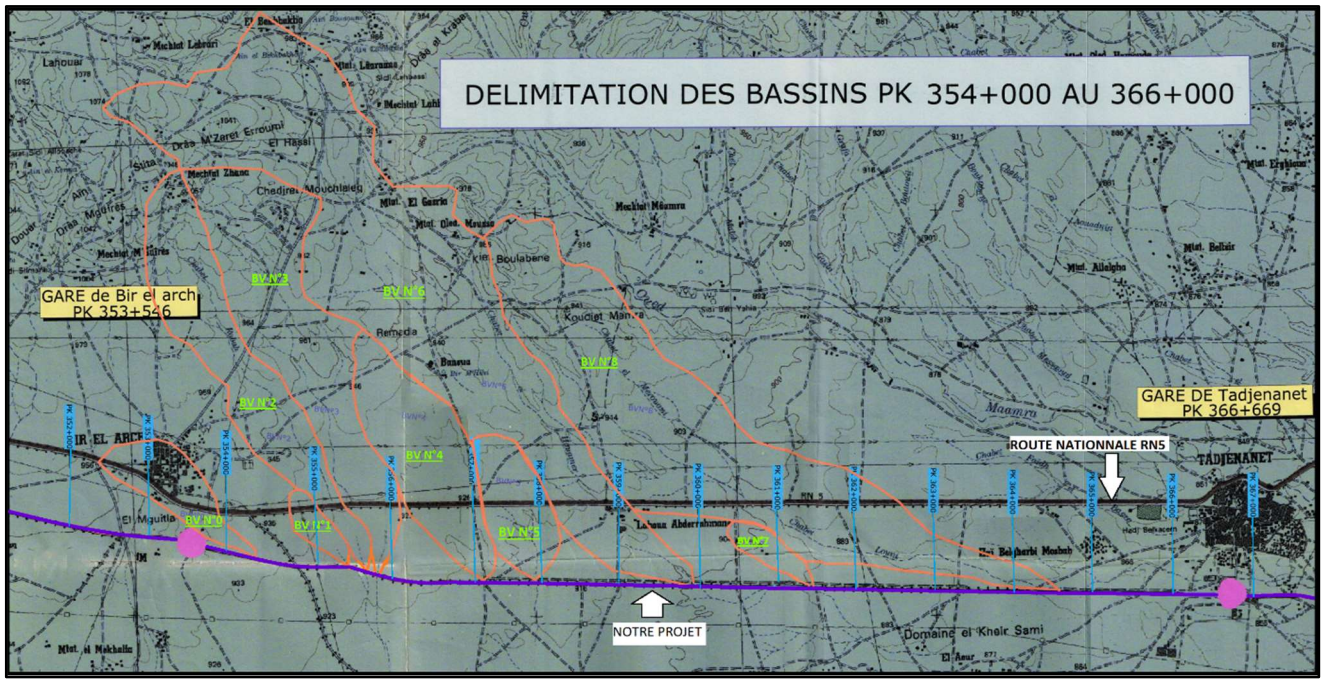


Figure IV.8: La délimitation des bassins versants.

Les caractéristiques des paramètres de bassins versants des oueds traversant la nouvelle voie ferrée Sétif- EL Gourzi sont données par le tableau récapitulatif suivant :

Tableau IV.6: Les caractéristiques des bassins versants.

N° du BV	PK	S (km²)	P (km)	L (m)	K_c	L_r (km)	T_c (h)	H_{max} (m)	H_{min} (m)	H_{moy} (m)	I_g (m/Km)	D_s (m)	I_g (%)
0	354+475	1.04	5.16	1.41	1.42	2.09	2.24	956	932	944	5.75	24	0.57
1	355+600	0.35	2.62	0.71	1.25	0.95	1.56	940	925	932.5	15.9	15	1.59
2	355+800	3.40	12.05	4.84	1.83	5.39	2.30	1051	925	988	23.4	126	2.34
3	355+950	4.81	13.60	5.04	1.74	6.00	2.57	1051	925	988	21.0	126	2.10
4	357+270	2.61	7.65	3.21	1.33	2.94	2.97	960	915	937.5	15.3	45	1.53
5	357+960	1.25	4.60	1.93	1.15	1.41	3.16	932	915	923.5	12.0	17	1.20
6	359+950	11.71	23.48	7.20	1.92	10.64	3.52	1051	900	975.5	14.2	151	1.42
7	361+440	0.36	2.91	0.80	1.35	1.14	1.70	904	890	897	12.3	14	1.23
8	364+765	8.85	18.45	5.01	1.74	8.14	3.50	966	870	918	11.8	96	1.18

- S : Surface en (km^2).
- P : Périmètre en (km).
- L : Longueur du cours d'eau principal en (km).
- K_c : Indice de compacité.
- L_r : Longueur du rectangle équivalent en (km).
- T_c : Temps de concentration en heures.
- H_{max} : Altitude max en (m).
- H_{min} : Altitude min en (m).
- H_{moy} (m) : Altitude moyenne en (m).
- I_g : Indice de pente globale en (m/Km).
- D_s : dénivelée spécifique.
- I_g (%) : Indice de pente globale en pourcentage%.

IV.4. CALCUL DU DEBIT MAXIMAL DANS LES BASSINS (DEBITS DE CRUE) :

L'intérêt de la détermination du débit max, d'un cours d'eau est évident en raison des effets destructeurs bien connus de ces évènements hydrologiques.

Lorsqu'on projette la réalisation d'importants aménagements, on doit déterminer le maximum probable de la crue pour lequel l'ouvrage devra être protégé. La crue max est caractériser par :

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

Nous ne disposons pas d'observation hydrométrique au niveau de la zone d'étude, la recherche de bassins versants ayant des caractéristiques similaires dans la région et disposant de stations hydrométriques n'a pas été concluante.

Pour évaluer les débits max des bassins versants aux sites des franchissements les plus importants, on utilise les formules empiriques qui sont élaborées en fonction de la pluie et des caractéristiques physiques des bassins versants suivantes :

IV.4.1. Formule de SOGREAH-ANRH (1989) :

$$\boldsymbol{Q_t = C_q \times (P_t - P_1)}$$

Q_t : débit de pointe (en m^3/s) de période de retour t.

P_t : Pluie journalière max. de période de retour t.

P_1 = 20 min en Algérie du nord.

C_q : coefficient de ruissellement statistique, avec : $\boldsymbol{C_q = (S/6) \times T_b^{-0.77}}$

T_b : temps de base en heures : $\boldsymbol{T_b = T_{b0} + \left(\frac{L^{1.7} \times (P_a \times V_i)^{0.57}}{1000}\right)}$

T_{b0} = 2.33 pour les stations du Nord Algérie.

L : longueur du talweg principal.

P_a : pluie annuelle en mm.

S : superficie du BV en Km^2.

Vi : pente brute du bassin en % ; $\boldsymbol{V_i = \left(\frac{H_{max} - H_{min}}{L_r}\right)}$

H_{max}, H_{min} : altitudes max et min.

L_r : longueur du rectangle équivalent.

IV.4.2. Formule de Turazza :

$$Q_{max}\% = \left(\frac{Ptc\% \times S \times C}{3.6 \times T_c}\right)$$

Q_{max}% : débit de crue de période de retour voulue (en m3/s).

T_C : temps de concentration du bassin (en heures).

Ptc% : pluie de durée T_C et de période de retour voulue (en mm).

C : coefficient de ruissellement du bassin.

S : superficie du BV (en Km²).

Nous adoptons les coefficients généralement admis en Algérie en supposant que l'averse est généralisée sur l'ensemble du bassin versant et que l'intensité est constante.

IV.4.3. Formule de MALLET et GAUTHIER :

$$Q_{max} = 2K\,Log(1 + AP) \times \frac{S}{L_p^{0.5}} \times \sqrt{(1 + 4Log(T) - Log(S))}$$

Q_{max} : débit de crue de période de retour voulue (en m3/s).

P : précipitation moyenne interannuelle en m.

S : superficie du bassin versant (Km^2).

T : période de retour en années.

L_p : longueur du talweg principal (Km).

A : coefficient régional pris égal à 20 pour l'Algérie.

K : coefficient variant avec la pente du bassin de 0.5 à 5.

IV.4.4. Formule Rationnelle :

$$Q_{max} = C_i \times I \times S_i$$

Qmax : débit de crue de période de retour voulue (en 1/s).

C_i : Coefficient de ruissellement.

I : Intensité de la pluies (exprimée en 1/s/ha).

S_i : Superficie du BV en ha.

IV.4.5. RESULTATS :

Dans le tableau ci-dessous, nous calculons les débits centennaux max des oueds on utilisons les formules qu'on a expliquée :

Tableau IV.7: Les débits max des oueds pour une période de 100 ans.

		Débits max centennaux (Q_{100}) en m^3/s			
N° du BV	PK	Mallet-Gautier	Sogreah-ANRH	Turraza	Rationnelle
0	354+475	3.67	2.41	**4.87**	1.70
1	355+600	1.77	1.06	**2.11**	0.73
2	355+800	6.28	7.70	**15.63**	5.43
3	355+950	8.64	10.02	**20.46**	7.12
4	357+270	5.96	4.86	**10.03**	3.49
5	357+960	3.77	2.23	**4.60**	1.61
6	359+950	17.19	19.16	**39.97**	13.92
7	361+440	1.74	1.04	**2.05**	0.72
8	364+765	15.68	14.54	**30.33**	10.56

La formule de Turraza donne des valeurs nettement plus élevées pour les quantiles de période de retour de cent ans, elle est habituellement la plus utilisée en Algérie, les formules de Mallet et Gautier de Sogreah-ANRH (élaborée sur la base des observations des petits bassins algériens en général inférieurs à 200 km²) et la formule rationnelle sont comparables (les résultats obtenus avec la formule rationnelle sont relativement plus faibles), en effet les résultats obtenus par ces formules ne présentent pas d'importantes disproportions.

Pour la suite de l'étude on se propose de retenir par précaution les résultats de débits max. de la formule de Turraza.

IV.5. CALCUL HYDROLIQUE ET DIMENTIONNEMENT :

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 traversent l'emprise de la voie dans le sens de l'écoulement des eaux et sont implantés le long du tracé. Généralement Sont des buses ou des dalots en béton armé.

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

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

Tel que :

Q_s : débit de saturation de l'ouvrage.

K_s : coefficient de rugosité.

S_m : section mouillée.

P_m : Le périmètre mouillé.

R_h : Rayon hydraulique. $\boldsymbol{R_h = \frac{S_m}{P_m}}$

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

Tableau IV.8: Valeurs de Ks selon SETRA.

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

IV.5.1. DIMENSIONNEMENT DES BUSES :

Les calculs hydrauliques des ouvertures circulaires doivent être vérifiés pour un taux de remplissage h=0.75h.

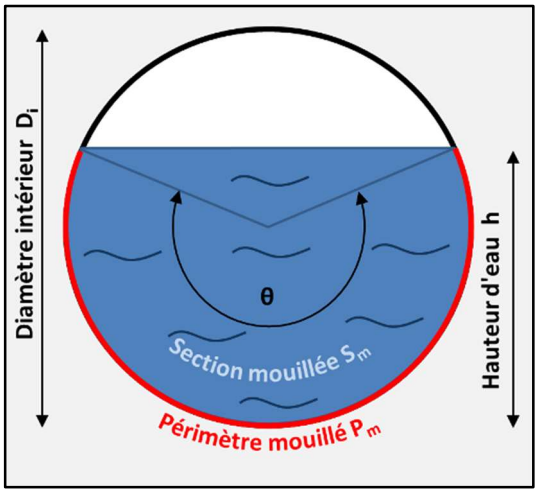


Figure IV.9: Schéma d'un ouvrage busé.

En utilisant la formule de Manning-Strickler :

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

A la saturation :

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

Avec :

$$\boldsymbol{S_m = \pi.\frac{D^2}{4}};$$

$$\boldsymbol{R_h = \frac{D}{4}}$$

$$Q_{max} = K_s \times \pi . \frac{D^2}{4} \times \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} \times I^{1/2}$$

D'où :

$$D = \left[\frac{Q_{\max(50)}}{K_s \times \pi \times \sqrt{I} \times \left(\frac{1}{4}\right)^{5/3}}\right]^{3/8}$$

Application numérique :

Prenons le BV N° 05 (PK 357+960) : $Q_{max\ (100\ ans)} = 4.60\ m^3/s$.

On prend: $K_S = 70$; $I = 0.01$

$$D = \left[\frac{4.60}{70 \times \pi \times \sqrt{0.01} \times \left(\frac{1}{4}\right)^{5/3}}\right]^{3/8} = \mathbf{1.3337\ m}.$$

On choisit un diamètre commercial de **1.5 m.**

- **Vérification des conditions de l'auto curage :**

Condition 0 : ➔La vitesse d'écoulement **V > 1.00 m/s**

Condition 2 : Soit la vitesse d'écoulement calculée comme précédemment, à partir de $\frac{R_q}{10} = (\frac{Q_{max}/Q_{ps}}{10})$ ➔ **V > 0.6 m/s**

Condition 3 : Soit la vitesse d'écoulement calculée comme précédemment, à partir de $\frac{R_q}{100} = (\frac{Q_{max}/Q_{ps}}{100})$ ➔ **V > 0.3 m/s**

Application numérique :

$$Q_{ps} = K_s \times S_m \times {R_h}^{2/3} \times I^{1/2} = K_s \times \pi \times \frac{D^2}{4} \times \left(\frac{D}{4}\right)^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_{ps} = 70 \times \pi \times \frac{1.5^2}{4} \times \left(\frac{1.5}{4}\right)^{2/3} \times 0.01^{1/2} = \mathbf{6.43\ m^3/s}.$$

$$V_{ps} = Q_{ps}/S_m = \frac{6.43}{1.76} = \mathbf{3.63\ m/s}.$$

$$R_q = Q_{max}/Q_{ps} = 4.60/6.43 = \mathbf{0.715}$$

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

Le tableau si dessous montre la vérification des trois conditions d'auto curage de l'ouvrage busé pour BV N° 5 :

Tableau IV.9: Condition d'auto curage de l'ouvrage busé (BV 05).

$R_q = 0.715$			
Condition 01 V > 1 m/s	R_v	V (m/s)	Vérification
	1.0864	3.93	OUI
$R_q/10 = 0.0715$			
Condition 02 V > 0.6 m/s	R_v	V (m/s)	Vérification
	0.5811	2.10	OUI
$R_q/100 = 0.00715$			
Condition 03 V > 0.3 m/s	R_v	V (m/s)	Vérification
	0.2915	1.058	Oui

Le tableau si dessus montre les diamètres calculés des buses avec les vérifications des conditions d'auto curage :

Tableau IV.10: Tableau récapitulatif des dimensions des buses utilisés avec les vérifications des conditions d'auto curage.

N° BV	0	1	2	5	7
Type de l'ouvrage	Buses				
Débit Turraza $Q_{max(100ans)}$ (m^3/s)	4.87	2.11	15.63	4.6	2.05
Diamètre calculée (mm)	1351	987	3×1385	1333	976
Diamètre obtenue (mm)	1500	1000	3×1500	1500	1500
Q_{ps} (m/s)	6.43	2.18	6.43	6.43	6.43
V_{ps} (m/s)	3.93	2.77	3.63	3.63	3.63
Q/Q_{ps}	0.757	0.867	0.810	0.715	0.318
V >1 (m/s)	**4.30**	**3.15**	**4.02**	**3.93**	**3.09**
V>0.6(m/s) Pour ($Q=0.1Q_{ps}$)	**2.32**	**1.75**	**2.19**	**2.10**	**1.63**
V> 0.3(m/s) Pour ($Q=0.01Q_{ps}$)	**1.13**	**0.87**	**1.09**	**1.05**	**0.79**
Vérification	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié

IV.5.2. DIMENSIONNEMENT DES DALOTS :

Le dimensionnement des dalots se fait par la formule de MANNING STRICKLER en écrivant l'égalité du débit d'apport et de saturation, on fixe la travée du dalot et on calcule la hauteur nécessaire avec une hauteur de remplissage de **0.75h.**

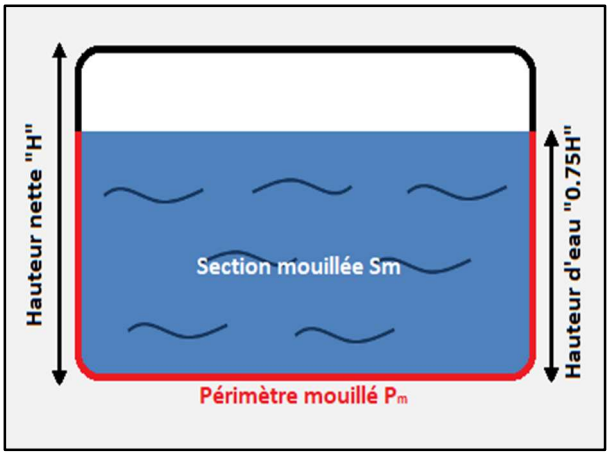


Figure IV.10: Dimensions du dalot.

Dans ce schéma :

- **B** : largeur nette du dalot (**m**).
- **H** : hauteur nette (**m**).
- **0.75H** : hauteur de remplissage (**m**).

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

$$Q_{max} = Q_s$$

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

$$Q_{max} = K_s \times (0.75h.b) \times \left[\frac{0.75h.b}{b+1.5h}\right]^{2/3} \times I^{1/2}$$

$$Q_{max} = K_s \times (0.75h.b)^{5/3} \times \frac{1}{(b+1.5h)^{2/3}} \times I^{1/2}$$

$$Q_{max} \times (b+1.5h)^{2/3} = K_s \times (0.75h.b)^{5/3} \times I^{1/2}$$

$$\frac{Q_{max}}{K_s \times I^{1/2}} \times (b+1.5h)^{2/3} = (0.75h.b)^{5/3} \Rightarrow h = \left[\frac{Q_{max}}{K_s \times I^{1/2}}\right]^{3/5} \times \frac{(b+1.5h)^{2/5}}{0.75.b}$$

$$Avec \quad H_0 = \left[\frac{Q_{max}}{K_s \times I^{1/2}}\right]^{3/5}$$

La résolution de cette équation se fait par la méthode itérative.

Application numérique :

Prenons le BV N° 06 (PK 359+950) : $Q_{max\,(100)} = 39.97\ m^3/s$.

On prend: b = 7 m, I = 0.01 m/m, $K_s = 70$.

$$\boldsymbol{h_{i+1}} = \left[\frac{Q_{max}}{K_s \times I^{1/2}}\right]^{3/5} \times \frac{(b + 1.5\boldsymbol{h_i})^{2/5}}{0.75.\,b}$$

h_0=1.000 ⇒ h_1=1.275
h_1=1.275 ⇒ h_2=1.299
h_2=1.299 ⇒ h_3=1.301
h_3=1.301 ⇒ h_4=1.301 Alors on prend **h = 2 m.**

Après le calcul itératif, les valeurs retenues pour cette section (dalot) sont : **b = 7 m, h= 2 m.**
Alors : **S_m = 10.5, P_m = 10, R_h = 1.05.**

$$Q_s = K_s \times S_m \times {R_h}^{2/3} \times I^{1/2} = 70 \times 10.5 \times 1.05^{2/3} \times 0.01^{1/2} = \mathbf{75.93\ m^3/s}.$$

- **Vérification de la condition pour assurer un écoulement fluvial :**

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{Q_s}{g \times b^2}} = \sqrt[3]{\frac{75.93}{9.81 \times 7^2}} = \mathbf{0.54\ m} < 0.75\boldsymbol{h} = \mathbf{1.5\ m},$$ **Vérifié.**

- **Vérification de la vitesse :**

$$V = \frac{Q_{max}}{S_m} = \frac{39.97}{10.5} = \mathbf{3.80 < 4\ m/s}.$$ **Vérifié.**

- **Vérification des conditions d'auto curage :**

Les conditions d'auto curage consistent à vérifier les vitesses d'écoulement pour les taux de remplissage de **1%** et **10%** des débit, afin d'assurer la durabilité des ouvrages (en vue de l'érosion des parois et la stagnation des eaux) :

$$Q_{ps} = K_s \times S_m \times {R_h}^{2/3} \times I^{1/2} = 70 \times 14 \times 1.27^{2/3} \times 0.01^{1/2} = \mathbf{140.25\ m^3/s}.$$

$$V_{ps} = Q_{ps}/S_m = 140.25/14 = \mathbf{10.01\ m/s}.$$

$$R_q = Q_{max}/Q_{ps} = 39.97/140.25 = \mathbf{0.284}$$

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

La détermination des valeurs du paramètre R_v est selon le tableau d'assainissement

Tableau IV.11: Condition d'auto curage du dalot (BV 6).

$R_q = 0.284$			
Condition 01	R_v	V	Vérification
V > 1 m/s	0.865	8.66	OUI
$R_q/10 = 0.0284$			
Condition 02	R_v	V	Vérification
V > 0.6 m/s	0.437	4.37	OUI
$R_q/100 = 0.00284$			
Condition 03	R_v	V	Vérification
V > 0.3 m/s	0.213	2.13	Oui

Conclusion : dalot bien dimensionné.

Le tableau si dessus montre les dimensions calculées avec les vérifications de l'auto curage :

Tableau IV.12: Tableau récapitulatif des dimensions des Dalots avec les vérifications des conditions d'auto curage.

N° BV	3	4	6	8
Type d'ouvrage	Dalots			
Débit Turraza $Q_{max(100ans)}$ (m^3/s)	20.46	10.23	39.97	30.33
Dimension calculée bxh (mxm)	7.00×0.85	7.00×0.55	7.00×1.30	7.00×1.08
Dimension obtenue bxh (mxm)	7.00×1.50	7.00×1.50	7.00×2.00	7.00×1.50
$Q_{saturation}$ (m^3/s)	49.51	49.51	75.93	49.51
h_C (m) < 0.75h	0.468	0.468	0.540	0.468
$V_{Saturation}$ < 4 (m/s)	1.299	1.299	3.80	1.299
Q_{ps} (m^3/s)	75.93	75.93	140.25	75.93
V_{ps} (m/s)	7.23	7.23	10.01	7.23
Q/Q_{ps}	0.269	0.134	0.284	0.399
V >1 (m/s)	6.159	5.031	8.66	6.79
V>0.6(m/s) Pour ($Q=0.1Q_{ps}$)	3.10	2.56	4.37	3.54
V> 0.3(m/s) Pour ($Q=0.01Q_{ps}$)	1.50	1.12	2.13	1.71
Vérification	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié

Le tableau suivant montre le dimensionnement des ouvrages de drainage qui ont été construites sur notre tracé selon la formule de Turazza :

Tableau IV.13: Dimensions des ouvrages de drainage qui ont été construites sur notre tracé.

N°BV	Exutoire au Pk	Debit Turraza Q_{max} (m^3/s)	Les dimensions calculées	Disposition constructive
0	354+435	4.87	1 Buse Ø1.500	Dalot 1.3 x 1.3 m
1	355+600	2.11	1 Buse Ø1.000	-
2	355+800	15.63	3 Buse Ø1.500	-
3	355+907	20.46	Dalot (7.0 x 1.5) m	Dalot 2 Cellules 3.5 x 2.0 m
4	357+225	10.23	Dalot (7.0 x 1.5) m	Dalot 2 Cellules 3.5 x 2.0 m
5	357+917	4.6	Buse Ø1.500	Dalot 3 Cellules 1.3 x 1.3 m
6	359+900	39.97	Dalot (7.0 x 2.0) m	Dalot 2 Cellules 3.5 x 2.0 m
-	360+910	-	-	Dalot 1.3 x 1.3 m
7	361+408	2.05	1 Buse Ø1.500	Dalot 1.3 x 1.3 m
-	362+247	-	-	Dalot 1.3 x 1.3 m
-	363+321	-	-	Dalot 1.3 x 1.3 m
8	364+745	30.33	Dalot (7.0 x 1.5) m	Dalot 1.3 x 1.3 m

NOTATION : le Débit calculé au pk 364+745 ne correspond pas au dimensionnement de l'ouvrage vu que les % de la quantité recueillis est canaliser par un ouvrage important qui draine toute la ville de Tadjenent.

Les franchissements de type dalot ou buse, dimensionnés pour permettre l'évacuation d'un débit de crue centennale devront présenter les caractéristiques suivantes :

- ✓ Le radier sera enfoncé de 15 cm environ dans le fond du lit mineur du cours d'eau afin de permettre la reconstitution du lit dans l'ouvrage.
- ✓ Les dalots seront implantés de manière à ne pas modifier de façon significative le tracé des cours d'eau au droit de l'ouvrage.
- ✓ La pente de l'ouvrage sera voisine de la pente moyenne du cours d'eau.
- ✓ La mise en place de ces ouvrages devra être accompagnée en fonction des besoins d'aménagements complémentaires pour ralentir la vitesse d'écoulement (bassins de dissipation), pour éviter l'érosion des talwegs secs (fossés de dissipation en aval des

ouvrages) et pour protéger les berges sur des portions non rectilignes de cours d'eau en aval des ouvrages hydrauliques par l'utilisation de techniques végétales.

- ✓ Lors de la pose des dalots, la pente du lit ainsi constitué sera égale à celle du lit naturel.

Le tableau si dessus représente l'inventaire des ouvrages qui ont été construites sur notre tracé avec leurs coordonnées d'implantation :

Tableau IV.14: L'inventaire des ouvrages qui ont été construites sur notre tracé.

N°	Implantation	Ouvrage	Photo
01	PK 354+435	Dalot 1.3 x 1.3	
02	PK 355+907	Dalot 2 Cellules 3.5 x 2.0	
03	PK 357+225	Dalot 2 Cellules 3.5 x 2.0	
04	PK 357+917	3 Dalot 1.3 x 1.3	
05	PK 359+900	Dalot 2 Cellules 3.5 x 2.0	

06	PK 360+910	Dalot 1.3 x 1.3 d'équilibre	
07	PK 361+408	Dalot 1.3 x 1.3	
08	PK 362+247	Dalot 1.3 x 1.3 d'équilibre	
09	PK 363+321	Dalot 1.3 x 1.3 d'équilibre	
10	PK 364+745	Dalot 1.3 x 1.3	

IV.5.3. OUVRAGES D'ASSAINISSEMENTS LONGITUDINAUX :

Ils ont pour but de recevoir et de drainer les eaux de pluie qui s'écoulent sur la plate-forme ferroviaire et les talus ainsi que les eaux interne (eaux infiltrées dans les structures d'assise ou nappe phréatique). Ils peuvent être constitués de :

- **Fossés de drainage :** Des fossés de drainage, de taille différente selon la quantité d'eau reçue, ont été disposés dans les déblais, des deux côtés du palier de la voie.

- **Fossés de crête :** Pour ne pas surcharger le drainage des tronçons en déblai avec des eaux provenant d'aires voisines et dans le but de protéger les talus de déblai, on prévoit généralement l'installation de fossés de crête et de risbermes pour collecter et conduire ces eaux.
- **Fossé de pied de remblai :** Pour prévenir l'érosion des talus de remblai par les eaux écoulées d'aires voisines, ces eaux seront collectées et conduites par des fossés de pied de talus. Les fossés de pied de talus auront une section trapézoïdale.
- **Descente d'eau sur talus :** Elles servent à évacuer :

- Les eaux de ruissellement provenant de plate-forme ferroviaire vers les pieds de talus de remblai

- Les eaux récupérées depuis les fosses de crête des talus de déblai vers les avaloirs situés en bordure de plate-forme. On a adopté les descentes de talus en fonction des situations.

IV.5.3.1. DIMMENSIONNEMENT DES FOSSES :

Ils assurent la collecte et l'évacuation des ruissellements superficiels générés par la plateforme ferroviaire, les bermes et les talus vers les exutoires naturels ou les ouvrages d'assainissement transversaux, ceci est en fonction des pentes du fossé et de la nature des matériaux du sol support.

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

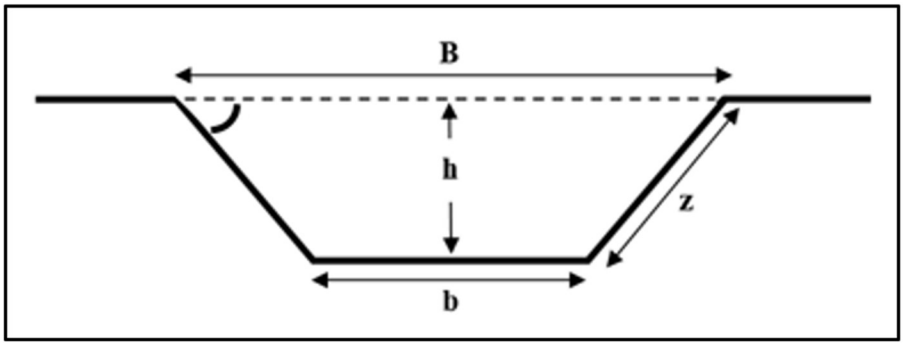


Figure IV.11: fosse de forme trapézoïdale.

IV.5.3.2. CALCUL DES DEBITS D'APPORTS :

Le choix de type de fossé est en fonction du débit à évacuer qui est rapporté par la plate-forme, les bermes et les talus : $\boldsymbol{Q_a = Q_{pf} + Q_b + Q_t}$

Le calcul des débits se fait dans le cas le plus défavorable, où il y a un remblai ou un déblai qui s'étend sur une grande longueur avec une hauteur importante, chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle :

$$\boldsymbol{Q_{max} = 0.278 \times C_r \times I \times A}$$

- Q : Débit de crue correspondant au bassin versant, avec une période de retour T (m^3/s).

- C_r : Coefficient de ruissellement

- I : Intensité de pluie (mm/h).
- A : Surface du bassin versant considérer : la plate-forme / les bermes / les talus, en (km²)

➢ **Surface des sous bassins versant :**

On va travailler selon le cas le plus défavorable :

- Remblai gauche de la voie PK 354+325 jusqu' à PK 354+750.
- Déblai gauche de la voie PK 363+321 jusqu' à PK 364+745.

Tableau IV.15: Surface des sous bassins versant.

	Remblai	Déblai
Bassin versant	**A (km²)**	**A (km²)**
Talus	0.0006375	0.00285
Plate-forme	0.00289	0.00969

Remarque : pour notre projet on n'a pas de berme car la hauteur de déblai est de l'ordre de 2 mètres.

➢ **Temps de concentration :**

Le temps de concentration du bassin versant considérer est calculé à l'aide de la formule de VENTURA (**A< 5 km²**). $\boldsymbol{T_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{I}}}$

S : superficie du bassin versant (**Km²**)
I : pente moyenne du bassin versant (**m/m**).

Tableau IV.16: Temps de concentration.

	Remblai			Déblai		
Bassin versan	**A (km²)**	**P (m/m)**	**TC (h)**	**A (km²)**	**P (m/m)**	**TC (h)**
Talus	0.637×10^{-3}	0.667	0.0039	2.85×10^{-3}	0.667	0.0083
Plate-forme	2.89×10^{-3}	0.04	0.0341	9.69×10^{-3}	0.04	0.0625

➢ **Débit d'apport :**

Le débit utilisé correspond à celui calculé pour une période de retour de 50 ans.

L'intensité de la pluie de durée t et de fréquence f (période de retour T) est estimée par la relation Intensité-Durée-Fréquence de forme suivante :

$$\boldsymbol{I = a \times T_c^{-b}}$$

Avec : a et b sont les paramètres de Montana.

Tableau IV.17: Débit d'apport en remblai.

	Remblai					Déblai				
Bassin Versant	**A** (10^{-3}Km²)	**I** (mm/h)	**Cr**	**Qa** (m³/s)	**Qa total** (m³/s)	**A** (10^{-3}Km²)	**I** (mm/h)	**Cr**	**Qa** (m³/s)	**Qa total** (m³/s)
Talus	0.637	1943	0.72	0.248	0.398	2.85	1094	0.72	0.624	0.942
Plate-forme	2.89	374.1	0.5	0.150		9.69	236.1	0.5	0.318	

✓ **Débit de saturation :**

Pour le dimensionnement des fossés on calcule leur capacité hydraulique (débit de saturation) en utilisant la formule de « Manning Strickler » :

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

Tel que :

- **Sm** : section mouillée. $\boldsymbol{S_m = (b + z.h).h}$ (Avec **z** la pente des berges)
- **Pm** : Le périmètre mouillé. $\boldsymbol{P_m = b + 2.h.\sqrt{1+z^2}}$
- **Rh** : Rayon hydraulique. $\boldsymbol{R_h = \frac{S_m}{P_m}}$
- La hauteur maximale admissible de remplissage pour l'écoulement dans les fossés est la hauteur totale.
- Les dimensions du fossé sont obtenues, en écrivant l'égalité du débit d'apport et le débit de saturation.

$$\boldsymbol{Q_{apport} = Q_s} \quad ; \quad \boldsymbol{Q_{apport} = Q_{max\ (10\ ans)}}$$

$$Q_a = K_s \times S_m \times {R_h}^{2/3} \times I^{1/2} = K_s \times (b + z.h).h \times \left[\frac{(b + z.h).h}{b + 2.h.\sqrt{1+z^2}}\right]^{2/3} \times I^{1/2}$$

Avec **z = 1 ;** alors : $h_{i+1} = \left[\frac{Q_a}{K_s \times b \times \sqrt{I}}\right]^{3/5} \times \frac{\left[1+2\sqrt{2}\times\left({h_i}/{b}\right)\right]^{2/5}}{1+\left({h_i}/{b}\right)}$

On prend : **b = 0.50 m ; Ks = 50 ; I = 0.007**

h_0=1.000 ⇒ h_1=0.473

h_1=0.473 ⇒ h_2=0.575

h_2=0.575 ⇒ h_3=0.552

h_3=0.552 ⇒ h_4=0.556

h_4=0.556 ⇒ h_5=0.556 Alors on prend **h = 0.60 m.**

Donc le types de fossé adopté pour notre projet : **b = 0.5 m**, **h = 0.6 m**, **B = 1.7 m.**

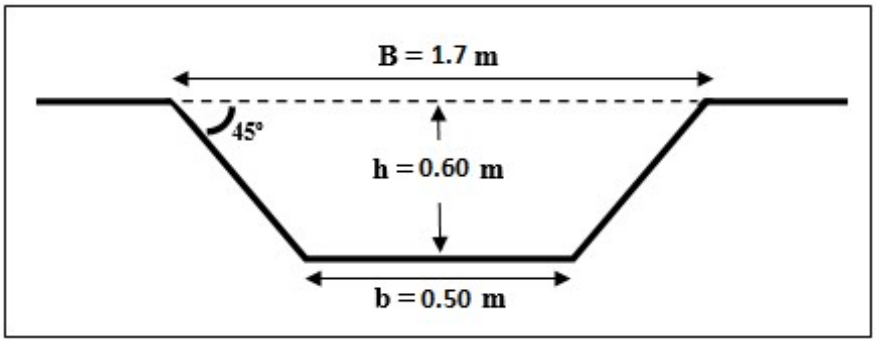


Figure IV.12: Dimensions d'un fossé.

IV.6. CONCLUSION :

Dans un projet linaire tel qu'une ligne ferroviaire, l'étude hydrologique et hydraulique est primordiale et obligatoire, elle permet d'assurer la pérennité de la voie. D'après notre étude précédente et en ce qui concerne l'assainissement, on a surdimensionné les ouvrages hydrauliques pour assurer un bon service à long terme et faire face à l'insuffisance d'entretiens dans notre pays.

On déduit l'importance de ce projet par le volume conséquent des travaux de drainages longitudinaux et transversaux à réaliser le long de la ligne.

CHAPITRE V. ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE :

V.1. L'ETUDE GEOLOGIQUE :

V.1.1. INTRODUCTION :

L'étude géologique a pour objectif de prévenir tous les risques (chute de bloc, glissement de terrain, inondation, sismicité, phénomène de retrait-gonflement des argiles, remontée de nappe phréatique, tassement de sol compressible…) qui pourraient déstabiliser l'ouvrage, une grande partie de ce travail se concentre sur l'interaction entre le sol de fondation et la structure, l'étude doit se conclure par le dimensionnement d'ouvrages en garantissant la stabilité.

V.1.2. LA GEOLOGIE REGIONALE :

L'exploitation de la carte géologique de cette région à l'échelle 1/50.000, appuyée par différentes visites sur site a permis de mettre en évidence les conditions géologiques de l'emprise du projet.

La géologie régionale est caractérisée par la stratigraphie suivante :

❖ **LE QUATERNAIRE**

A : Alluvions actuelles et récentes : Ce sont des sables, des limons, des graviers et des cailloutis leur largeurs n'excédent généralement pas quelques centaines de mètres. Ces dépôts se confondent avec le lit majeur des oueds.

e : Eboulis à blocs : La relative mollesse du relief, par rapport aux zones septentrionales explique leur faible développement.

Q : Terres arables, formations de pente, alluvions anciennes et quaternaire indéterminé : Ce sont des sols bruns qui se développent préférentiellement sur les niveaux marneux et les alluvions.

Qc : Villafranchien : Il est caractérisé par des calcaires lacustres et sols à croûte avec horizons caillouteux ce sont des formations les plus caractéristiques des hautes plaines.

❖ **LE MIO-PLIOCENE**

Le mio-pliocene continental : Limons et conglomérats rouges, poudingues, argiles gypseuses, amas de galets et argiles rutilantes. C'est un ensemble complexe de formations d'origine continentale.

❖ **LES FORMATIONS TELLIENNES :**

Elles sont caractérisées par un empilement de nappes constituées par :

- Unité supérieure à matériel éocène

- Nappe de Djemila.

❖ **TRIAS EXOTIQUE :**

dt : Argiles bariolées, gypses et glaçons calcaro dolomitiques : c'est un amas hétéroclite d'argiles bariolées, de gypse roses ou rouges fibreux et de gros blocs cargneulics calcaro-dolomitiques dégagés par l'érosion.

V.1.3. GEOLOGIE LOCALE :

Les terrains constitutifs du site d'assise sont des terrains sédimentaires d'âges pliocène (villafranchien) ainsi que les formations du mio-pliocene continental. Les formations traversées sont constituées par des encroûtements calcaires à dalles (carapaces) calcaires avec des horizons caillouteux, reposant sur des limons tuffacés ou limons argileux avec passages graveleux.

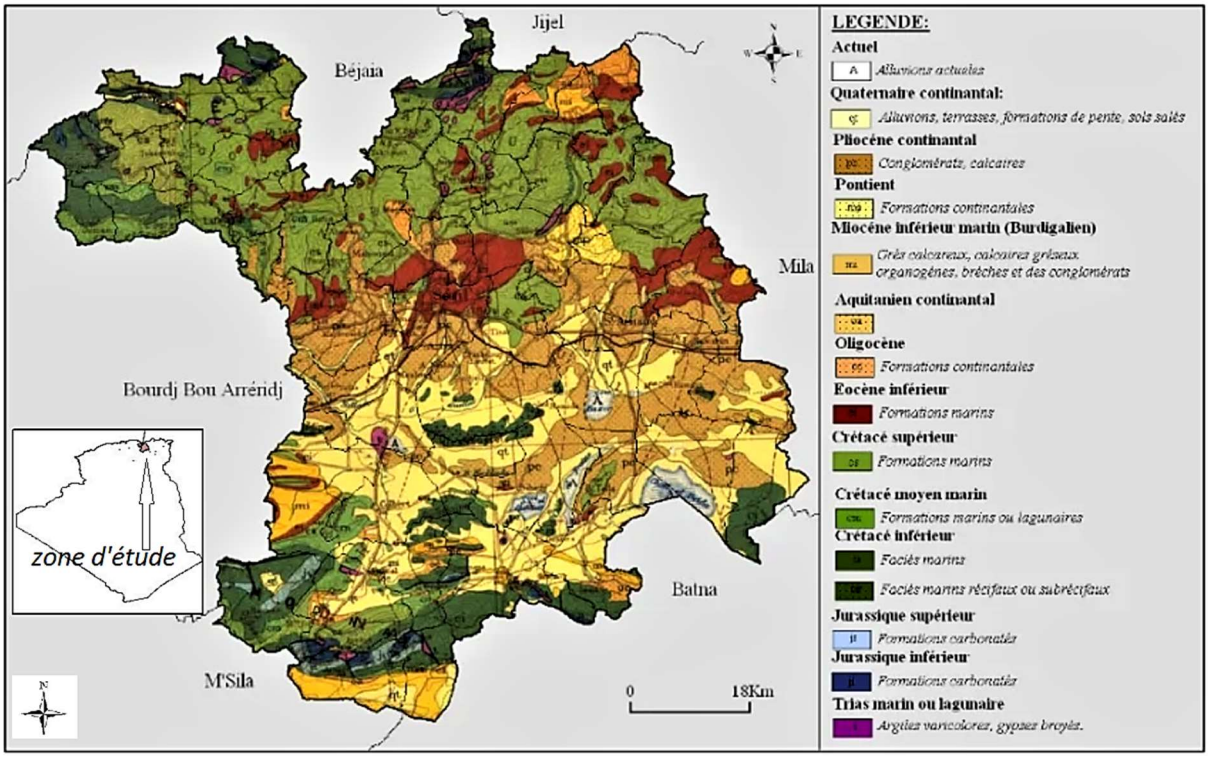


Figure V.1: Carte géologique de la willaya de Sétif.

V.1.4. HYDROGEOLOGIE :

Les études hydrogéologiques ont pour but d'identifier les formations aquifères, ressources en eau et leur hydrodynamisme Ces études, pour ce qui nous concerne permettent de prévoir les problèmes de stabilité à savoir :

- Les désorganisations des surfaces de talus tant en remblai qu'en déblai par les eaux de ruissellements.
- Les instabilités de pentes qui sont dans la quasi-totalité des cas liées à la présence des eaux souterraines.

- Les remontées de nappes au voisinage des remblais et les abaissements au voisinage des déblais.

Les problèmes de stabilité des talus et des ouvrages d'art étant essentiellement liés à la présence d'eau il est nécessaire de connaître le régime hydraulique des oueds qui traversent le secteur d'étude et de contrôler dans les cas les plus défavorables le bon fonctionnement des éventuels systèmes de drainage.

Le niveau statique de la nappe est situé à 7m de profondeur et plus d'après les études effectuées aux alentours du site, d'où aucune influence de cette dernière durant et après l'élaboration projet.

Les formations superficielles traversées par le projet d'étude se saturent très vite en saisons pluviales d'où la modification des caractéristiques géotechniques de la plateforme, ainsi il est nécessaire de réaliser une bonne conception de la chaussée du point de vue épaisseur des remblais et un bon système de drainage des eaux pluviales.

V.1.5. CLIMATOLOGIE :

Le climat et l'environnement influent considérablement sur la bonne tenue de la plateforme en termes de résistance aux contraintes et aux déformations. La région d'étude est classée en ZONE I.

Le tronçon de la voie ferrée traverse un certain nombre de bassins versants hydrologiques pouvant provoquer des inondations sur certains endroits qui présentent une topographie favorable à ces catastrophes.

V.1.6. LA SISMICITE DE LA ZONE D'ETUDE :

D'après la carte sismique d'Algérie et les analyses tectoniques qui ont été faites, montrent la distribution des déférentes zones sismiques en fonction de l'intensité des séismes enregistrés tel que :

➢ Zone 0 : sismicité négligeable ;

➢ Zone I : sismicité faible ;

➢ Zone II a : sismicité moyenne ;

➢ Zone II b : sismicité élevée ;

➢ Zone III : sismicité très élevée.

Et d'après le Règlement parasismique Algérien « RPA 99/version 2003 », la zone d'étude appartient à une zone sismique « IIa » caractérisé par une sismicité moyenne.

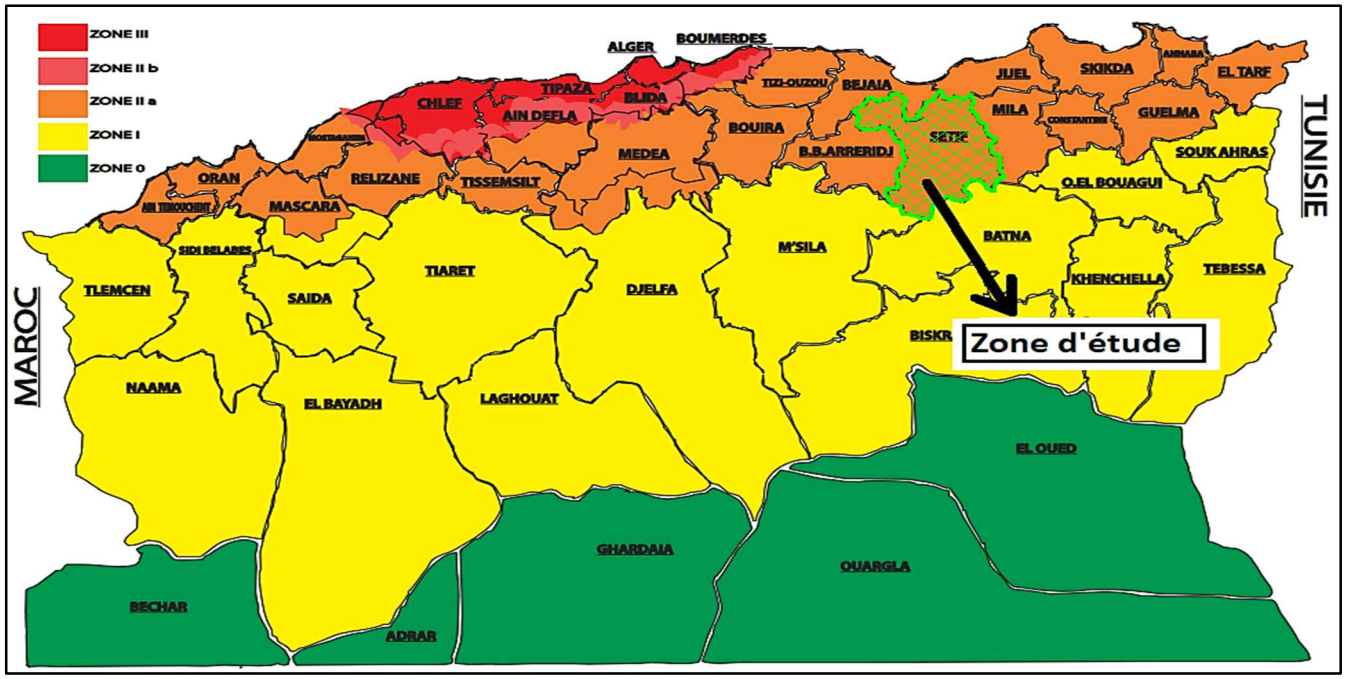


Figure V.2: Situation de la zone d'étude sur la carte sismique d'Algérie.

V.1.7. LES RISQUES GEOLOGIQUES

De manière très général, on distingue quatre types de risques qui pourraient affecter l'environnement de la zone d'étude :

- Le risque que des séismes se produisent est modéré, avec des accélérations sismiques comprises entre 0.8 m/s² et 2.4 m/s².
- Inondations et flux de boues dus au fait que les pluies sont généralement sporadiques à caractère torrentiel dans la région.
- Glissements de pente, motivés par la présence de terrains marneux, potentiellement altérables, dans des fortes pentes.
- Karstifications développées dans les roches calcaires et dolomitiques, peuvent entraîner les effondrements ou les tassements dans le terrain.

V.2. ETUDE GEOTECHNIQUE :

V.2.1. INTRODUCTION :

Afin de prévoir le comportement des terrains, ainsi la stabilité des ouvrages pendant la phase d'exécution et de détecter les zones d'emprunts de matériaux de construction pour les remblais et le corps de la chaussée, une étude géotechnique est indispensable. Elle est considérée comme un élément inséparable des études géologiques et hydrologiques pour la reconnaissance du terrain.

V.2.2. PROGRAMME DE RECONNAISSANCE :

Le programme de reconnaissance géotechnique exécuté dans le cadre de cette étude (tronçon PK 347 +000 au PK 366 +000), Comporte :

- Seize (16) puits de reconnaissance réalisés à la tarière highway le long du tracé, et ce à différentes profondeurs ainsi qu'a différentes distances de l'axe de l'actuelle voie ferrée.

- des prélèvements d'échantillons ont été effectués et soumis aux essais de laboratoire à savoir des essais physiques, mécaniques et analyses chimiques sommaires.

V.2.3. INTERPRETATION DES ESSAIS IN SITU :

Les coupes de reconnaissance jointes en annexe montrent que le sous-sol du site est constitué par :

V.2.3.1. PIUS DE RECCONAISSANCE :

Une campagne de 16 puits de reconnaissance pour l'étude géotechnique du couloir et des structures projetées a été réalisée.

Les travaux sur site ont été supervisés par une personne. Pendant leur exécution, une description visuelle des matériaux affectés, une annotation de la présence d'eau et une prise d'échantillons pour leur analyse en laboratoire ont été effectués.



Figure V.3: Puits de reconnaissance.

Tableau V.1: Les puis de reconnaissance.

Puits	PK	Profondeur	Description
Puits N° 01	**PK 354+000**	**0.00m à 2.00m**	Tuf argileux à argiles tuffacées
Puits N° 02	**PK 354+800**	**0.00m à 2.00m**	Tuf argileux à argiles tuffacées
Puits N° 03	**PK 355+600**	**0.00m à 1.20m**	Argiles et tufs graveleux croûte calcaire
		1.20m à 2.00m	Tufs argileux
Puits N° 04	**PK 356+400**	**0.00m à 2.30m**	Tufs argileux
Puits N° 05	**PK 357+200**	**0.00m à 1.10m**	Limons graveleux
		1.10m à 1.20m	Croûte calcaire
Puits N° 06	**PK 358+000**	**0.00m à 1.00m**	Limons argileux
		1.00m à 2,00m	Tufs argileux humide
Puits N° 07	**PK 358+800**	**0.00m à 0.10m**	Remblais
		0.10m à 0.30m	Tufs argileux
		0.30m à1.95m	Argiles et limons graveleux
Puits N° 08	**PK 359+600**	**0.00m à 0.20m**	Remblais
		0,20m à 1.90m	Limons argileux
		1.90m à 1.95m	Dalle calcaire
Puits N° 09	**PK 360+400**	**0.00m à 1.00m**	Remblai
		1.00m à 1.20m	Limons argileux
Puits N° 10	**PK 361+200**	**0,00m à 1.95m**	Limons noirâtres
		1.95m à 2.00m	Limons tuffacées encroûtés
Puits N° 11	**PK 362+000**	**0.00m à 1.10m**	Limons argileux
		1,10m à 2.30m	Tufs argileux humide
Puits N° 12	**PK 362+800**	**0,00m à 1.00m**	Terre végétale
		1.00m à 1.95m	Tufs argileux humide
Puits N° 13	**PK 363+600**	**0,00m à 0.90m**	Terre végétale
		0.90m à 2.00m	Tufs argileux graveleux
Puits N° 14	**PK 364+400**	**0,00m à 0.85m**	Terre végétale
		0.85m à 1.80m	Tufs argileux graveleux
Puits N° 15	**PK 365+200**	**0.00m à 1.00m**	Limons argileux finement graveleux
		1.00m à 1.40m	Tufs argileux graveleux
Puits N° 16	**PK 366+000**	**0.00m à 1.00m**	Terre végétale
		1.00m à 1.20m	Dalles calcaires

V.2.3.2. COMMENTAIRES :

Les coupes lithologiques établies à partir des coupes de puits permettent de distinguer les formations suivantes :

- **Tufs argileux :** il s'agit de tufs calcaires tendres (encroûtement calcaire) associés avec des argiles.
- **Tufs argilo-graveleux :** tufs calcaires avec associés avec des argiles graveleuses
- **Dalle calcaire :** il s'agit de croûte constituée par une superposition de feuillets à forte teneur en carbonate, très compacte.
- **Limons argileux :** ce sont des limons argileux tufacés avec passages graveleux.

V.2.4. ESSAIS DE LABORATOIRE :

V.2.4.1. ORGANISATION :

Des échantillons prélevés lors de l'exécution des puits de reconnaissance, ont été soumis aux essais d'identification physiques et essais mécaniques suivant :

➢ **ESSAIS PHYSIQUES :**

- Analyses granulométriques :

L'analyse granulométrique permet de déterminer la répartition des différentes familles de grains constituant l'échantillon suivant leur dimension ou grosseur, Elle s'effectue par tamisage pour les grains d'un diamètre supérieur à 80 µm et par sédimentométrie pour les grains les plus fins.

- Mesures de la teneur en eau naturelle :

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

- Détermination des limites d'Atterberg (W_L, W_P et I_P) :

Compte tenu de leur structure, les limons argileux (fraction fine) ont la propriété d'absorber l'eau ou se dessécher, ceci en fonction des conditions d'humidité auxquelles elles sont soumises, et passent ainsi d'un état à un autre. La détermination de W_L et W_P nous donnent une idée approximative des propriétés du matériau étudié, elle permette de le classer grâce à l'abaque de plasticité de Casagrande.

W_L : Limite de liquidité, sépare l'état solide de l'état plastique.

W_P : Limite de plasticité, sépare l'état plastique de l'état liquide.

I_P : L'indice de plasticité.

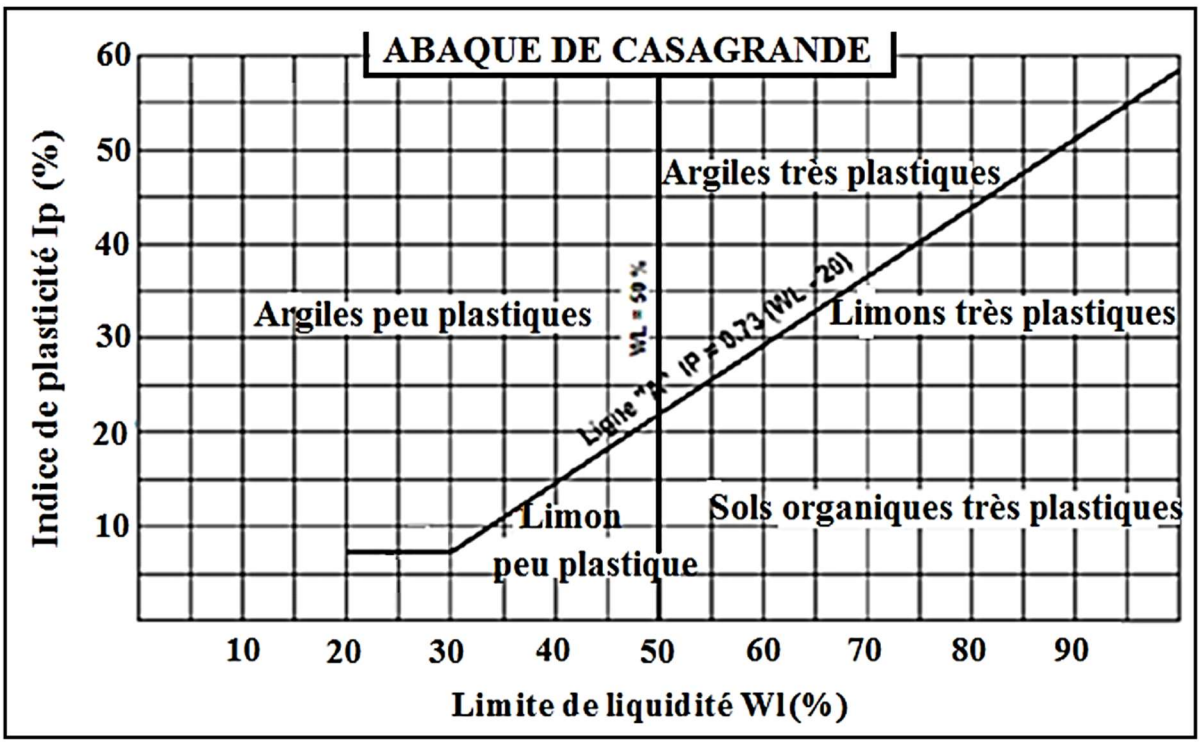


Figure V.4: Limites d'Atterberg

-analyses chimiques :

C'est un essai utilisé en géotechnique pour déterminer la propreté d'un sable, d'un granulat et plus généralement d'un sol, et les différents types d'argiles qu'il contient.

- **ESSAIS MECANIQUES :**

-ESSAIS proctor.

-Essais CBR.

V.2.4.2. INTEPRETATION DES ESSAIS EN LABORATOIRE :

- **UNITE I : TUFS ARGILEUX**

•Les analyses granulométriques indiquent un sol fin, car plus de 50% des éléments passent au tamis 80µ à l'exception du prélèvement au niveau du puits nºT6 qui présente un taux de 46%.

•Cette formation présente des teneurs en eau naturelles faibles à moyennes l'indice de plasticité mesuré est de l'ordre de 32 % avec une limite de liquidité correspondante de 62 %.

•Les limites d'Atterberg permettent de classer cette tranche de sol parmi les argiles parmi les argiles très plastiques par contre au niveau de T6 ce sont des argiles moyennement plastiques.

• Cette unité présente des teneurs en eau supérieures à celles obtenues à l'optimum proctor.

• Le sol présente une valeur moyenne de densité proctor modifiée

• Cette tranche de sol présente une valeur faible de l'indice CBR à 95% de compacité

• Les analyses chimiques montrent que ces sols présentent un taux de carbonates importants

En se basant sur la classification des sols selon la norme (NFP 11-300), il s'agit de sols fins de classe A3ts (argiles, très plastiques) et en classe de portance **QS1-1** selon la classification (UIC).

➢ **UNITE II : LIMONS ARGILEUX :**

• Les analyses granulométriques indiquent un sol grenu, car moins de 50% des éléments passent au tamis 80µ.

• Cette formation présente des teneurs en eau naturelles faibles à moyennes.

• L'indice de plasticité mesuré est de l'ordre de 17 % avec une limite de liquidité correspondante de 40%.

• Les limites d'Atterberg permettent de classer cette tranche de sol parmi argiles moyennement plastiques.

• Cette unité présente des teneurs en eau supérieures à celles obtenues à l'optimum proctor.

• Le sol présente une valeur moyenne de densité proctor modifiée.

• Cette tranche de sol présente une valeur élevée de l'indice CBR à 95% de compacité.

En se basant sur la classification des sols selon la norme (NFP 11-300), il s'agit de sols de classe B6ts et en classe de portance **QS1-3** selon la classification (UIC).

➢ **UNITE III : TUFS ARGILO- GRAVELEUX :**

• Les analyses granulométriques indiquent un sol grenu, car moins de 50% des éléments passent au tamis 80µ.

• Cette formation présente des teneurs en eau naturelles moyennes.

• L'indice de plasticité mesuré est de l'ordre de 17.5 % avec une limite de liquidité correspondante de 40%

• Les limites d'Atterberg permettent de classer cette tranche de sol parmi les argiles moyennement plastiques.

• Les analyses chimiques montrent que ces sols présentent un taux de carbonates de 67%.

En se basant sur la classification des sols selon la norme (NFP 11-300), il s'agit de sols de classe **A2** et en classe de portance **QS1-3** selon la classification (UIC).

➢ **UNITE IV :**

Elle est constituée par les encroûtements calcaires et ayant de bonnes caractéristiques physico-chimiques, mais présentent de faibles épaisseurs.

Les caractéristiques physico mécaniques des unités lithologiques sont consignées dans ce tableau :

Tableau V.2: Les paramètres géotechniques du sol traversé par le projet.

UNITES LITHOLOGIQUE (m)		UNITE I	UNITE II	UNITE III
D max (mm)		50	50	50
TENEUR EAU NATURELLE w_n%		18.69	17.20	20.91
GRANULARITE% TAMISAT	2mm	99	50	78
	80µm	97	31	47
LIMITE D'ATIERBERG	W_L %	62	40	40
	W_P %	31	23.5	22.5
	IP	32	17	17.5
CARACOERISTIQUES MECANIQUES	W_{opm}	14	14	-
	$\gamma_{d\ opm}$	1.78	1.72	-
	CBR à 95%	3	26	-
ANALYSES CHIMIQUES SOMMAIRE	INSOLU	-	-	23.95
	CaC03	-	-	66.41
CLASSES GTR		$A3_{ts}$	$B6_{ts}$	$A2_m$

V.3. CHOIX DE LA PLATEFORME :

1- L'analyse des résultats obtenus, nous font aboutir à une même classification selon la norme **(NFP 11-300)**, il s'agit de la classe A comme premier critère de classification qui regroupe toutes les catégories de sols fins avec pour principales caractéristiques un D_{max} (Plus grand diamètre) inférieur à 50mm et un taux de fines supérieures à 80µ dépassants les 35%.

-Seuls les échantillons des puits T7, T8 et T9 ont abouti à une classification différente soit de classe B6 qui se différencie de la classe A par le taux de fines inférieur à 35%.

2 -Le second critère de classification ou l'on tient compte simultanément de la granulométrie et de la plasticité ou argilosité.

Celle-ci a fait ressortir des matériaux de plasticité égale, la valeur de l'indice de plasticité obtenue pour l'ensemble des matériaux se situe entre 12 et 25% voire même au-dessus T1 et T16, les limites de liquidité obtenues varient de 36% à ce qui caractérise un sol très argileux 62%.

3 - Les valeurs de portance CBR obtenues à 95 % de l'optimum proctor modifié font ressortir des valeurs fluctuantes on relèvera trois niveaux de valeurs :

Niveau de portance 1 : avec une valeur d'indice portant I_p=3 donc <5.

Niveau de portance 2 : avec une valeur d'indice portant I_p comprises entre 5 et 10.

Niveau de portance 3 : avec une valeur d'indice portant Ip comprise entre 15 et 30.

Le premier niveau caractérise les sols de classe A sous classe « A3 » Ces sols constituent des matériaux sensibles à l'eau et à plasticité élevée, qui pour être réutilisées nécessiteraient des traitements associant chaux et liants hydraulique (GTR),dans notre cas ils seront classés en « PST 0 » partie supérieure des terrassements, niveau (0) soit donc en arase terrassements «ARO» qui inévitablement nécessitera selon la position géométrique du profil (déblais / remblais), soit une substitution de matériau et réalisation d'une couche de forme en matériau granulaire insensible à l'eau avec un drainage efficace à la base de la couche ce qui nous permettra d'accéder à un niveau de « PST3», donc une plateforme classée « P3 ».

Le second niveau de portance obtenu caractérisant les sols classés « A2 » qui compte tenu de la fraction argileuse qu'ils comportent rendent ces sols très sensibles et nécessitent également la réalisation d'une couche de forme granulaire insensible à l'eau avec drainage efficace à la base ce qui nous placera en « P3 ».

Le troisième niveau de classification comportant les sols de la classe « B6 » caractérisant les sols comportant une fraction argileuse qui rend leur comportement proche de celui d'un sol fin à plasticité égale.

Les valeurs de plasticité obtenues se situent dans la même fourchette 12 à 25%. Toute fois ces sols contiennent une fraction limoneuse qui leur confère grande sensibilité à l'eau leur emploi en l'état ne permet pas d'assurer une portance suffisante tant à court terme lors de la réalisation qu'à long terme après réalisation pour assurer une déformabilité acceptable, à cet effet il est recommandé de réaliser une couche de forme.

Les résultats de portance obtenue nous imposent la réalisation d'une couche de forme qui devra assurer une portance suffisante.

V.4. CONCLUSION :

La présente étude faisant partie du projet de dédoublement et modernisation de la voie ferrée (Sétif-El Gourzi) est consacrée exclusivement à la section du tronçon Bir Larch - Tadjenent allant du (PK354+000 au PK 366 +000).

Cette nouvelle ligne ferroviaire d'orientation Est Ouest, traversera les terrains agricoles des hautes plaines parallèlement à la ligne existante.

Les terrains traversés par le tracé sont constitués par des encroûtements calcaires à dalles (Carapaces) calcaires avec des horizons caillouteux, reposant sur des limons tuffacées ou limons argileux avec passages graveleux.

Ces formations présentent des caractéristiques physico mécaniques faibles à moyennes. Ces unités du sous-sol de caractéristiques géotechniques moyennes correspondant à des portances convenables, sont discontinues.

Ainsi il conviendra pour le dimensionnement, la réalisation d'une couche de forme en matériaux drainant granulaire, afin d'homogénéiser les plates formes et d'assurer leurs stabilités.

Selon l'UIC 719R, le sol support rencontré tout au long du tracé du projet d'étude, est un sol de classe **QS1.1** Ou **QS1.3**, il conviendra d'opter pour une plateforme de type **P2** qui permettra une bonne traficabilité et une déformabilité minimale à long terme.

Le projet d'étude passera essentiellement en remblais dont les hauteurs à mettre en œuvre sont réduites, d'où la nécessité d'utiliser les emprunts situes tout au long du tracé caractérisé par des encroûtements calcaire et tufs convenant parfaitement pour les remblais.

CHAPITRE VI. DIMENSIONNEMENT DE CORPS D'ASSISE :

VI.1. INTRODUCTION :

L'infrastructure de la voie ferrée est la partie sur laquelle repose cette voie, elle sert à repartir sur la plateforme les charges exercées par les traverses et amortir les vibrations de la superstructure, de plus les couches d'assises contribuent à assurer, par leur nature et leur épaisseur, le bon comportement de la voie ferrée du point de vue rigidité, tenue du nivellement et drainage. Elles comprennent la couche de ballast, la couche sous-ballast, couche de fondation et une couche anti contaminante si nécessaire et une couche drainante.

L'épaisseur et la nature des couches d'assise dépendent :

- Des caractéristiques intrinsèques des sols de plate-forme (nature portance, sensibilité à l'eau et au gel).
- Des caractéristiques globales de la plate-forme qui dépend non seulement des caractéristiques des sols, mais aussi des conditions hydrogéologiques du site.
- Des conditions climatiques du site.
- Du trafic (tonnages, charges, vitesses).
- De l'armement (profil des rails nature et espacement des traverses).

VI.2. LES COUCHES D'ASSISE :

VI.2.1. LE BALLAST :

C'est un élément considéré comme faisant partie de la superstructure. Il résiste à la plupart des efforts exercés sur la voie. Le Ballast sera constitué par de la roche concassée. Les exigences suivantes devront être satisfaites (selon le référentiel technique SNTF et la norme NF P53-695)

– La granulométrie doit être comprise dans le fuseau suivant (25/50mm) et devra respecter les limites mentionnées dans la catégorie" A de la Norme Européenne CEN/TC/154 AD HOC Group Agregates for Railway ballast, conformément au tableau suivant :

Tableau VI.1: Fuseau granulométrique pour ballast (NFP 53-695).

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

– Résistance à la fragmentation Los-Angeles : ≤ 19 %.
– Résistance à l'usure Micro Deval : ≤ 6 %.

- Résistance à la compression : RC ≥ 1200 kg/cm².
- Forme des granulats : l'angularité et la rugosité des surface des granulats garantissent une bonne cohésion de la masse, de plus le contact ballast/traverses doit pouvoir assurer une immobilisation de ces dernières.
- Propreté : les matériaux doivent être expurgés de toute matière impropre. La masse relative des éléments passant au tamis à maille carrées de 1.6mm ne doit pas excéder
  0.5 %.

- **Les principales fonctions du ballast :**

✓ La répartition et la transmission uniforme des charges induites par les véhicules ferroviaires à la plate-forme.

✓ Encastrer les traverses afin d'assurer une bonne stabilité de la superstructure.

✓ Amortissement des vibrations et absorption de bruit, garantissant ainsi la sécurité et le confort des circulations.

✓ Assure en raison de sa granularité particulière le drainage et l'évacuation des eaux superficielles.

VI.2.2. LA SOUS-COUCHE :

C'est la partie intermédiaire de la structure d'assise interposée entre ballast et plate-forme. Elle est constituée de deux couches :

- **La couche sous-ballast :**

Pour la construction du sous-ballast et conformément au document des spécifications techniques (ST590B) il est prévu l'emploi de grave propre entièrement concassée (0 /31.5mm), bien graduée avec une valeur de propreté Vbg ≤1 et un coefficient de forme A ≤25.

- **Couche de fondation :**

La couche de fondation conformément à la spécification technique ST590B, est exécutée en grave sableuse entièrement concassée, avec une valeur de propreté Vbg ≤1 et un coefficient de forme A ≤25 et LA+MDE ≤ 50. Entre autres, les matériaux employés peuvent être issus soit des sous-produits des carrières à ballast, soit des alluvions d'oued.

- **Importance de la sous-couche :**

✓ L'amélioration de la portance et meilleure répartition des charges transmises.

✓ L'Anticontamination entre plate -forme et ballast.

✓ La contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires.

✓ La Protection contre l'érosion et le gel.

✓ L'évacuation des eaux.

La sous-couche ayant une pente transversalement en toit (4% de chaque côté), vers dispositifs d'assainissement longitudinaux

VI.2.3. LES GEOTEXTILES :

Ce sont des géo-synthétiques perméables à l'eau et à l'air peuvent être utilisé comme : séparation et anti-contaminant, filtre drainage et armature.

VI.2.4. LA PLATE-FORME :

Constituée de sol rapporté en remblai ou en place en déblai, la partie supérieure de la plate-forme est aménagée en couche de forme, a une pente transversale de 4%. Dans le cas d'un remblai, cette couche de forme est d'un sol de qualité meilleure. Son taux de compactage est de 95% OPM. Parfois la couche de forme est traitée aux liants hydrauliques. Par contre dans le cas de déblais elle est obtenue par compactage à 95% OPM sur une épaisseur minimale de 30cm.

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

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

NOTA : Le sous-ballast, la couche de fondation et la couche anti-contaminante doivent être posés en pente transversale (4% de chaque côté dans notre projet) afin de mener l'eau de pluie vers l'assainissement.

- **Portance des sols de la plat-forme :**

Pour classer les plateformes, il convient :

- ✓ Tout d'abord d'apprécier la classe de qualité de chaque sol comportant la plateforme.
- ✓ Puis d'apprécier la classe portance de la plateforme complète (couche de forme + sol sous-jacent).

VI.3. DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE D'ASSISE :

VI.3.1. CLASSES DE QUALITE DES SOLS :

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

- La nature géotechnique du sol, à cet égard, on utilise l'indentification géotechnique évoquée dernièrement (fiche 719R).
- Les conditions hydrauliques et hydrologique locales, qui sont donner si :
  - La couche supérieure du sol considéré est hors de toute nappe naturelle (niveau de cette dernière est mesuré avant toute opération de rabattement complémentaire et en période climatique défavorable).
  - Les eaux de pluie sont évacuées correctement de la plat forme et les dispositifs longitudinaux au transversaux d'assainissement sont en bon fonctionnement.

Tableau VI.2: Classes de qualité des sols. (SNTF)

Classification des sols (Identification géotechnique)	Classe de qualité des sols
0.1 Sols organiques. **0.2** Sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonnés, humides et donc non compactables. **0.3** Sols thixotropes. (1) **0.4** Sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse). **0.5** Sols comportant des matériaux polluants (exp : déchets industriels). **0.6** Sols mixtes (minéraux organiques) (1)	**QS0** **Sols impropres**
1.1 Sols comportant plus de 40%de fines (sauf sols 0.2). **1.2** Roches très évolutives (craies, marne schistes altérés). Par exemple : - Caries de $\rho_d < 1.7$ t /m^3 et de fiabilité forte. - Marnes. - Schistes altérés.	**QS1** **Sols mauvais**
1.3 Sols comportant de 15 à 40% de fines (sauf sols 0.2). **1.4** Roches évolutives (craies, schistes non altérés). Par exemple : - Caries de $\rho_d < 1.7$ t /m^3 et de fiabilité faible. - Schistes non altérés. **1.5** Roches tendres. Par exemple : Si **MDE** > 40 et **LA** > 40	**QS1(2)** **Sols mauvais acceptable**
2.1 Sols comportant de 5 à 15% de fines. **2.2** Sols comportant moins de 5% de fins mais uniformes (**Cu** ≤ 6). **2.3** Roches moyennement dures. Par exemple : Si 25 < **MDE** ≤ 40 et 30 < **LA** ≤ 40	**QS2(3)** **Sols moyen**
3.1 Sols comportant moins de 5% de fines. **3.2** Roches dures. Par exemple : Si **MDE** ≤ 25 et **LA** ≤ 30	**QS3** **Bons sols**

(1) Certains réseaux placent ces sols dans certains cas en classe de qualité QS1.

(2) Ces sols peuvent être de qualité QS2 si l'on sait avec certitude que les conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont bonnes.

(3) Ces sols peuvent être de qualité QS3 si l'on sait avec certitude que les conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont bonnes.

VI.3.2. CLASSES DE PORTANCE DE PLATEFORME :

La portance d'une plateforme dépend :

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

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

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

- Dans ce contexte et pour homogénéiser la structure d'assise, nous considérons que le sol support est de type **QS1** tout le long du tracé.
- La plate-forme est de classe de portance **P2**.

Tableau VI.3: Détermination de la classe de portance de la plate-forme (Fiche UIC 719)

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

VI.3.3. EPAISSEUR DE LA COUCHE D'ASSISE « ballast + sous couche » :

Conformément à la fiche UIC 719, l'épaisseur requise de la couche d'assise se calcule selon la formule suivante :

$$e = E + a + b + c + d + f + g \ (m)$$

Avec :

- E : facteur dépendant des classes de portance (P1, P2 ou P3).
- a : facteur dépendant de l'UIC groupes (groupe 1 à 6, UIC 714).
- b : facteur dépendant de type de traverse.
- c : facteur dépendant des conditions de travail.
- d : facteur dépendant de la charge maximale d'essieu des véhicules.
- f : facteur dépendant de la vitesse.

- g : facteur dépendant de l'installation de géotextiles.

Tableau VI.4: Valeur des coefficients de la formule de calcul d'épaisseur selon UIC719R.

Paramètre	Valeur en (m)	Caractéristiques
E	**0.70**	Pour les plateformes de classe de portance P1
	0.55	Pour les plateformes de classe de portance P2
	0.45	Pour les plateformes de classe de portance P3
A	**0**	Pour les lignes de groupe UIC 1 et 2 ou ligne V>160 km/h
	- 0.05	Pour les lignes de groupe UIC 3,4
	- 0.10	Pour les lignes de groupe UIC 5, 6, 7, 8, 9 avec voyageur
	- 0.15	Pour les groupes UIC 7,8 et 9 sans voyageur
B	**0**	Traverse en bois de longueur 2.6 m
	(2.5-L) /2	Travers en béton de longueur L. (L et b en mettre si L>2.5, b peut être négatif)
C	**0**	Pour un dimensionnement normal
	- 0.10	Titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que 7, 8,9 sans voyageur
	- 0.05	Titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC 7,8,9 sans voyageur
D	**0**	Lorsque la charge d'essieu des véhicules remorqués < 200 KN
	+0.05	Lorsque la charge d'essieu des véhicules remorqués < 225 KN
	+0.12	Lorsque la charge d'essieu des véhicules remorqués < 250 KN
F	**0**	Pour toutes les lignes à V≤ 160 km/h et pour les plateformes P3 des lignes à grandes vitesses
	+0.05	Pour les plates-formes de portance P2 des lignes à grande vitesse
	+0.10	Pour les plates-formes de portance P1 des lignes à grande vitesse
G	**+ géotextile**	Lorsque la couche de forme est en sol QS1 et QS2
	0	Lorsque la couche de forme est en sol QS3

Application au projet :

Calcul de l'épaisseur minimale « e » des couches d'assises Selon la fiche (UIC 719 R) :

- Notre sol est de classe $Qs1$ et une plate-forme de classe P2 donc **E = 0.55 m**.
- La ligne étudiée est de groupe $UIC5$: ⇒ $\boldsymbol{a}$ = **- 0.10 m**

• Travers bi-bloc (mixte) pour rail $UIC5$ (pleines voie et voie de gare) type SL, L=2.24m. ⇒ **b=0,13m**

• Pour un dimensionnement normal : c **= 0 m**

• Charge par essieu =225KN ⇒**d=0,05m**

• La ligne parcourue à une vitesse≤ 160 km/h ⇒ **f= 0 m**

• + Géotextile.

➔ **e = 0.55 − 0.10 + 0.13 + 0.05 + 0 + 0 = 0.63 m**

Avec : e = épaisseur de ballast + épaisseur de sous couche = 63 cm

Pour la couche de ballast on a :

• 35 cm pour une vitesse >200km /h

• **30 cm** pour une vitesse comprise entre 120km/h et 200km/h. c'est notre càs.

• 25 cm pour une vitesse comprise entre 80km/h et 120km/h.

• 20 cm pour une vitesse comprise entre 60km/h et 80km/h.

Résultat :

Tableau VI.5: Epaisseurs des différentes couches de la voie.

Couches	Epaisseur (cm)
Ballast	**30**
Sous-ballast	**20**
Couche de fondation	**15**
Couche de forme de type QS2	**50**

La figure si dessous montre les dimensions de la structure d'assise qu'on a calculé :

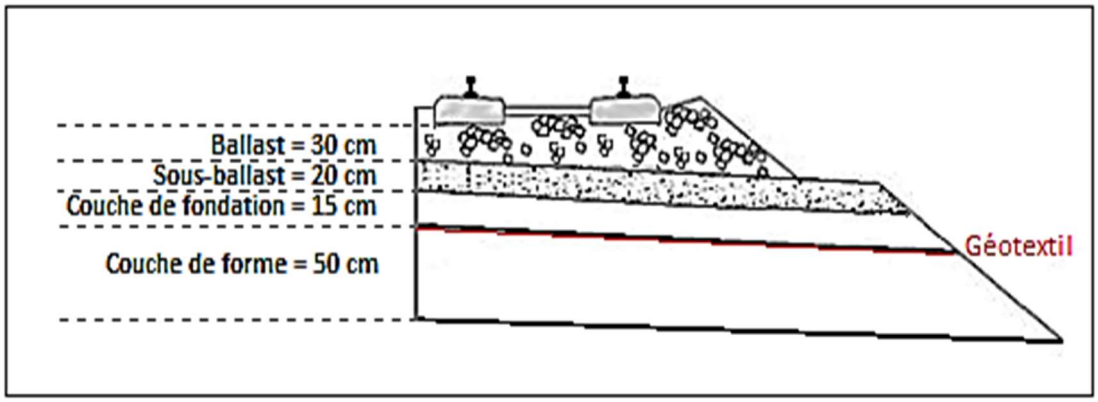


Figure VI.1: Un profil type des couches d'assise.

CHAPITRE VII. PROFILEN TRAVERS :

VII.1. INTRODUCTION :

Une fois le tracé en plan et le profil en long sont établis, la structure d'assise et le réseau d'assainissement sont dimensionnés. On procède au développement du profil en travers qui est une étape très importante dans un projet. Il permet de déterminer la section type projetée pour le couloir ainsi que les volumes des déblais et des remblais.

VII.2. PROFIL EN TRAVERS :

Le profil en travers est une coupe transversale, menée selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la voie projetée, il nous renseigne sur les éléments de la superstructure et de l'infrastructure, sur les valeurs des pentes des talus sur le mode d'assainissement et sur les systèmes éventuels de protection de la voie.

On distingue deux types de profil :

- ✓ Profile en travers type.
- ✓ Profile en travers courant.

VII.2.1. LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS :

- **La plate-forme :** C'est la partie principale sur laquelle repose la voie, elle est composée d'une succession des couches de matériaux compactés, comme elle est responsable de drainage des eaux de surface vers l'extérieur de la voie.
- **L'assiette :**
  C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.
- **L'emprise :** C'est la surface du terrain naturel affectée à la voie, limitée par le domaine public.
- **La voie :** C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.
- **La berme :** Supporte des équipements (barrières de sécurité, signalisations.), sa largeur dépend de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place.
- **Le fossé :** C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la voie et talus et les eaux de pluviales.

VII.2.2. LES ELEMENTS DE PROFIL TYPE :

- **Eléments de la superstructure :**
  - Le type de rail utilisé.
  - La valeur de l'écartement de la voie.
  - La distance entre les axes.
  - Le type de traverse utilisé.
  - La valeur de devers en courbe (maximum).
  - L'épaisseur de la couche de ballast.

- **Eléments de l'infrastructure :**
  - Les épaisseurs et la nomination des chaque couche.
  - Les pentes transversales de chaque couche.
  - La pente latérale de la plate-forme.
- **Eléments du talus :**
  - Les pentes des talus.
- **Eléments d'assainissements :**
  - Le type et dimension des ouvrages d'assainissements longitudinaux.

VII.3. LES PROFILS EN TRAVERS AFFECTES A NOTRE PROJET :

Les profils en travers pour ce projet sont caractérisés comme se suit :

- Type de ligne **:** ligne à double voie mixte.
- Entraxe des voies : 4.2 m
- Ecartement de la voie : 1.435 m.
- Traverse VAX U31 NAG pour rail UIC54.
- Largeurs de la plate-forme : 13.6 m (plateforme pour voie double).
- Pente latérale de la plate-forme : 4%.
- Pente de talus (remblai : 3H/2V ; déblai : 3H/2V).
- Pente latérale de la couche du ballast : 3/2.
- Epaisseur du ballast : 30 cm.
- Epaisseur du sous-ballast : 20 cm.
- Epaisseur de couche de fondation : 15 cm.
- Epaisseur de couche de forme : 50 cm.
- Distance axe voie – axe caténaire : 3.25 m.
- Fossé trapézoïdal (b= 0.50 m ; h= 0.60 m ; B=1.7).

NB : Les profils en travers types sont joints en plans format A3.

VII.4. CALCUL DES CUBATURES :

Les cubatures de terrassement c'est l'évolution des cubes de déblais que comporte le projet afin d'obtenir une surface uniforme et parallèlement sous adjacente à la ligne de projet.

Les éléments qui permettent cette évolution sont :

- Les profils en long.

- Les profils en travers.

- Les distances entre les profils.

Pour notre projet, le calcul des cubatures de terrassement a été fait à l'aide du logiciel **AUTOPISTE**, les détails de calcul sont joints dans l'annexe.

Les résultats du calcul automatique sont résumés dans le tableau ci-après :

Tableau VII.1: Les cubatures de terrassement.

Volume déblai (m^3)	Volume remblai (m^3)
154388.2	12661,7

Tableau VII.2: Les cubatures des couches d'assise.

Nature	Ballast	Sous-ballast	Couche de fondation	Couche de forme
Volume (m^3)	58876.1	33510.4	26141.2	93380.3

CHAPITRE VIII. LES TERRASSEMENTS ET OUVRAGES :

VIII.1. TERRASSEMENTS :

VIII.1.1. INTRODUCTION :

La construction d'une ligne nécessite dans la plupart des cas des aménagements spécifiques tels que talus, remblais, déblais, avec apport ou extraction de matériaux. Des précautions particulières permettent le drainage et l'évacuation des eaux pluviales. Une plateforme neuve se stabilise en plusieurs années, le temps nécessaire dépend du tonnage, de l'importance des terrassements, du soin avec lequel ils ont été faits. D'une manière générale les travaux de terrassement sont exécutés en trois phases :

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

VIII.1.2. CONDITIONS D'UTILISATION DES REMBLAIS :

Dans l'intérêt d'obtenir une bonne couche de remblai on doit s'assurer les conditions suivantes :

- Il faut retirer la couche de terre végétale.
- La réalisation du remblai se fait en couche d'épaisseur de 30cm.
- Un bon compactage des couches de remblai à l'aide des compacteurs.
- Le choix du bon matériau de remblai.
- Il est important que la pente transversale à la surface des remblais soit d'au moins du 4% afin d'éviter les marécages de l'eau de pluie.
- Tous les travaux de terrassements doivent être effectuées conformément aux prescriptions géotechniques et aux fiches de normalisation de terrassement.

VIII.2. OUVRAGES EN TERRE :

L'étude et le contrôle d'exécution des ouvrages en terre ferroviaires doivent être conduit de façon particulière, en effet le bon fonctionnement dynamique du système (véhicule /voie/ballast/ouvrage en terre) et notamment le maintien à un niveau acceptable des efforts engendrés au contact (rail/roue) supposent dès la mise en service, une stabilisation quasi parfaite de l'ouvrage en terre proprement dit.

Pour répondre aux conditions d'environnement, les ouvrages en terre doivent respecter les recommandations suivantes :

- Les matériaux utilisés, et plus particulièrement ceux placés à la surface de l'ouvrage doivent être choisis pour conserver la végétation locale.
- Toute répercussion sur l'hydrogéologie doit être étudiée.
- Les sites archéologiques doivent autant que possible être protégés.

VIII.2.1. LA STABILITE :

La sécurité au glissement, tant à court terme qu'à long terme, doit être montrée par le calcul à partir des caractéristiques du sol.

VIII.2.2. TASSEMENT :

L'étude de tassement des remblais doit vérifier néanmoins que les tassements à atteindre après mise en service sont facilement maitrisables par reprises habituelles sur la ligne considérée. Dans le cas des sols sensibles ou une hydrologie défavorable voici quelque dispositif à prendre :

- **En déblai :** Les terrains sensibles sont protégés par des masque en matériaux flottants, l'eau est éliminée par des dispositifs appropriés (drains, tranchées, revêtements de talus …etc.).

- **En remblai :** Les remblais en sols sensibles à l'eau, au gel sont à protéger par un manteau en sol de meilleure qualité, mise en place des drains verticaux et purge de sol support compressible si la profondeur est petite.

VIII.2.3. PENTES ET TALUS :

Selon le type du sol et leurs caractéristiques physiques et mécaniques on adopte une pente qui assure une stabilité satisfaisante, tant au remblai qu'au déblai.

- **Cas de remblais :** pour les sols utilisables on adopte une pente de 2/3 ou 1/2 et une pente soit 1/1 ou 1 :1,25 dans le cas d'un réseau rocheux.

- **Cas de déblais :** pour les sols grenus (2/3) et pour un sol cohérent 2/3 à 1/2 suivant la hauteur du talus.

Nota : dans notre projet on adopte une pente de 2/3, et nous rappelons que la hauteur des talus, pour les deux cas remblai ou déblai, est de l'ordre de 1 jusqu'à moins de 2 mètres.

VIII.2.4. COMPACTAGE :

La technique de compactage est déterminante concernant la qualité des ouvrages en terre, les taux de compactage dépendent de la nature du sol, du type de compacteur et de l'état d'humidité. L'épaisseur des couches élémentaires à prévoir et l'énergie de compactage nécessaire, Des dispositions particulières peuvent également être recommandées (arrosage, essorage …etc.)

VIII.3. EMPRUNT ET DEPOT :

A partir des études Géologiques et Géotechniques, la plus grande partie de l'excavation peut être utilisable comme noyau de remblai. Cependant les besoins de ce matériel sont supérieurs à la quantité disponible, il faudra ramener des emprunts les matériaux nécessaires pour équilibrer le rapport remblai/déblai.

Le matériau granulaire concassé et traité avec cément nécessaire pour les remblais techniques, la couche de forme, le ballast et sous-ballast, le sol adéquat et sélectionné seront ramenés de carrières proches à l'emplacement du projet.

Le matériau inadéquat et le matériau non apte seront déplacés pour remplir les emprunts qui ont été utilisés pour l'obtention du matériau pour le noyau de remblai.

VIII.4. LES OUVRAGES D'ART :

Pour concevoir un meilleur tracé qui répond aux exigences techniques et économiques tout en assurant la perméabilité transversale de la ligne ferroviaire a projeté et le franchissement des différentes infrastructures existantes et aussi les cours d'eau, on doit doter cette nouvelle ligne des ouvrages d'art suivants :

- Ponts Rail.
- Ponts routiers.
- Passages inferieures (Ponts cadre).
- Les ouvrages hydrauliques (buses, Dalots).

Dans tous les cas, le choix du type d'ouvrage dépend des contraintes imposées, ces conditions sont de deux sortes :

- **Données naturelles :** écoulement des eaux, nature de sol, etc.
- **Exigences techniques :** portée, programme de charge, gabarit, etc.

Toutefois, les contraintes dimensionnelles et fonctionnelles sont :

- ✓ La voie portée, ou l'obstacle franchi
- ✓ Programme de charge.
- ✓ Gabarit.
- ✓ Adaptation architecturale à la région.
- ✓ Sujétion à respecter pendant la construction.

VIII.4.1. LES RETABLISMENT ROUTIERS :

Une des prescriptions du projet est la suppression des passages à niveau que la ligne actuelle présente. Il est donc nécessaire de rétablir les communications routières par-dessus ou par-dessous la ligne.

Les ouvrages de franchissements identifiés le long de la ligne de chemin de fer sont rétablis soit en passage inférieurs (PI), ou en passages supérieurs (PS) qui est le cas rencontré dans notre projet, avec des pistes et routes latérales assurent les rétablissements de toutes les communications routières le long de la ligne ferroviaire entre Bir Larch et Tadjenent.

Le choix de l´emplacement des points de passages le long de la ligne a pris en considération les facteurs suivants :

- ✓ L´importance de la route.
- ✓ Les conditions morphologiques.
- ✓ Les conditions d´accès le plus adéquat pour permettre la continuité des activités agricoles et industrielles.
- ✓ La situation des passages pour les piétons ainsi que les animaux actuels de façon à éviter toute tendance de coupure des clôtures de l´emprise et de risques de dangers.

Deux façons différentes de classer les rétablissements ont été considérés :

- ➢ Selon le type d'interférence avec la voie ferrée :
  - Passage supérieur : si le chemin ou la route traverse la voie ferrée dessus,
  - Passage inférieur : si le chemin ou la route traverse la voie ferrée dessous.
  - Route/Chemin parallèle : si le chemin ne requit pas un ouvrage spécifique pour traverser la voie ferrée.
- ➢ Selon leur importance :

- Route type 0 : pour les Routes Nationales ou similaire, et composées de deux chaussées séparées avec une barrière rigide.
- Route type 1 : pour les routes d'une importance comparable à une Route National, et composées d'une seule chaussée.
- Route type 2 : pour les routes d'une importance mineure.
- Chemin type 3 : pour les chemins plus importants.
- Chemin type 4 : pour les chemins et pistes moins importants.
- Route type 5 : pour les ronds-points.
- Route type 6 : pour les voies urbaines plus importants.
- Route type 7 : pour les voies urbaines moins importants.

Les passages supérieurs ont été conçus respectant une hauteur libre à partir de la cote plus haute du rail de 7,02 m. Le tableau suivant recueille tous les passages supérieurs projetés sr notre tronçon :

Tableau VII.1: Les coordonnées des passages supérieurs projetés.

PK	Type
354+950	Passage supérieure
357+330	Passage supérieure
358+975	Passage supérieure
360+430	Passage supérieure
363+325	Passage supérieure

VIII.5. CONCLUSION :

Souvent sur les chantiers le rapport déblais/remblais n'est pas équilibré, ce qui impose d'exporter ou d'importer des terres. Dans notre tracé les volumes des matériaux nécessaires pour les remblais sont plus conséquents que les volumes des matériaux excavés.

On peut conclure que dans notre projet les ouvrages d'art plus utilisé sont des Dalots et Passages supérieurs.

Dans Après la fin de ce chapitre, nous parlons dans le prochain chapitre à propos de La gare ferroviaire Bir Larch.

CHAPITRE IX. AMENAGEMENT DE LA GARE DE BIR LARCH :

IX.1. INTRODUCTION :

Les gares ont progressivement acquis une importance historique, sociologique et esthétique qui dépasse largement leur simple fonction technique. Elles sont à l'image des chemins de fer un de éléments caractéristiques du développement industriel et de l'urbanisation de XIX^{ème} siècle. Les gares ferroviaires sont apparues en Angleterre durant les années 1820, puis en France, et finalement dans les autres pays touchés par l'industrialisation, dont les colonies. Devenues purement fonctionnelles et victimes d'une relative perte d'identité au cours des années 1950, les gares connaissent un renouveau architectural depuis, en partie grâce à l'apparition des trains à grande vitesseau début des années 1980 et au développement de la desserte ferroviaire péri-urbaine. À l'origine de la création des chemins de fer, les premières gares furent appelées « embarcadères » (lieu d'embarquement) par analogie avec la voie d'eau, ou parfois « débarcadères ». Le terme « gare » venu de la voie fluviale, désignait sur les lignes àvoie unique, les points dotés d'une voie d'évitement (de garage) destinée à permettre le croisement des trains.

Une gare est ordinaire un lieu d'arrêt des trains, une gare comprend diverses installations, qui ont une double fonction :

- Permettre la montée ou la descente des voyageurs.
- Le chargement et le déchargement des marchandises.

IX.2. TYPES DES GARES :

- **Gare de voyageur :** Les gares de voyageurs sont généralement implantées dans les grandes villes, et dans les lieux de grandes populations, ces gares sont chargées de tous installations pour recevoir les voyageurs.
- **Gare marchandise :** Les gares de marchandise sont implantées dans les lieux industriels, agricoles et commerciaux importants, à proximité des grandes villes, des ports, des mines, des raffineries de pétrole et des grands laboratoires.

Les gares marchandise sont chargées de toutes les installations pour le chargement, le déchargement et le stockage des marchandises. Émis et reçus par eux.

- **Gare mixte :** Ces gares seront implantées dans la ville industrielle, agricole et commerciale, et elles seront chargées de plusieurs installations pour recevoir les passagers et pour charger, décharger et stocker les marchandises délivrées par la gare.
- **Gare de croisement :** C'est l'une des plus petites gares, Ces gares sont implantées généralement sur les chemins de fer à voie unique, et elles sont chargées d'effectuer le travail de réception des trains des deux côtés de la gare en toute sécurité après l'arrêt de l'un des deux (ou sans arrêt).

IX.3. ETUDE DU PLAN DE MASSE D'UNE GARE :

Le concepteur de la gare est appelé à établir un plan de masse en tenant comptedes fonctions de toutes les installations de base qui la constituent. Dans ce stade (03) éléments sont nécessaires pour l'étude du plan de masse :

- **Catégorie de la gare :** C'est en fonction de cet élément que l'on peut déterminerson rôle et ses constituants.
- **Son trafic :** C'est par lui, que l'on estime et on évalue l'importance de la gare pour l'aménager d'une façon convenable.
- **Son emplacement :** Généralement, c'est l'élément qui définit et détermine les deux éléments précédents.

IX.3.1. CONSIDERATIONS GENERALES :

Une gare moderne doit remplir son rôle dans un climat satisfaisant et avec un service convenable et agréable, pour cela, plusieurs agents peuvent intervenir pour évaluer la qualité du service :

- **La rapidité du travail :** C'est le facteur primordial intervenant dans la comparaison globale avec ses concurrents.
- **La sécurité :** Le transport fait appel à des véhicules lourds dont il faut écarter le public en dehors des espaces aménagés pour l'accès, on doit séparer matériellement entre le cheminement dupublic et ceux des véhicules, ce qui oblige à recourir aux croisements à niveaux différents.

  Toutes les aires destinées aux voyageurs ou marchandises doivent portées le souci de sécurité sur l'ensemble de la gare.
- **Rupture de charge des voyageurs :** Il occasionne dans le voyage un temps mort qu'il faut s'acharner à réduire en simplifiant les parcours et les formalités.
- **Politique commerciale :** L'aspect commercial subit la concurrence des autres modes de transport, le transport commercial doit chercher la meilleure rentabilité par la meilleure productivité, le rôle des installations de transit reste déterminant, la satisfaction des usagers sera d'autant plus complète que les opérations fastidieuses du transit se déroulent dans un cadre :
  - ✓ Simple : sans risque d'erreur.
  - ✓ Propre : ensemble sanitaire adéquat.
  - ✓ Agréable : qualité de l'architecture, éclairage, accès facile, aire de stationnement, positionnement.
  - ✓ Souplesse : évolutive.

IX.4. AMENAGEMENT DE LA GARE :

IX.4.1. INSTALATIONS DE BASE D'UNE GARE :

Dans une gare ferroviaire, on peut trouver plusieurs installations et constructions selon le type, la conception et la catégorie de la gare.

IX.4.1.1. INSTALATION D'UNE GARE VOYAGEURS :

Le bâtiment de voyageurs (B.V) : C'est un espace réservé aux voyageurs dans lequel on peut trouver une salle d'attente, guichet de billet, poste de sécurité, kiosque...etc.

Les bâtiments à usages divers (B.U.D) : Qui comprennent des locaux de service exclusivement réservés aux agents du chemin de fer, tels que cabine de signalisation, magasin, magasin des coulis, bureaux….

Quais : C'est une bande parallèle à la voie ferrée qui permet l'accès aux trains.

Abris de quais : C'est une installation sur le quai qui a pour but de protéger les voyageurs des intempéries.

Les passages sous terrain et les passerelles : ils sont construits dans les gares afin de permettre aux voyageurs de traverser la voie et de changer le quai en pleine sécurité.

IX.4.1.2. INSTALATION D'UNE GARE MARCHANDISES :

Les installations de la base d'une gare de marchandises sont :

Un BS (bâtiment de service) : pour accomplir les formalités de l'acte commercial.

Des cours de débord : pour embarquement et débarquement des marchandises.

Quais de débord.

Halle à marchandises : utilisé pour le stockage des marchandises ainsi que le chargement et déchargement dans les trains.

Parking : pour stationnement des véhicules.

IX.4.2. LA MARGE DE GLISSEMENT A L'AVAL DES SIGNAUX :

La marge de glissement est la section de voie située dans le prolongement d'un parcours train à l'aval d'un signal fermé, sur laquelle aucune autre circulation n'est autorisée.

La marge de glissement a pour but de minimiser les conséquences d'un accident et même en cas d'interdiction d'occupation, d'éviter une collision lorsqu'un train n'a pas pu être arrêté avant cette marge.

SelonUIC741. Les longueurs de la marge de glissement sont définies comme suit :

- **50-200 m :** selon la vitesse de la ligne, comme à l'aval des signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaire sou de sortie :

  LG = 200mpourV≥60km/h.

  LG = 100 m pour 40 km/h ≤ V ≤ 60 km/h.

  LG = 50mpourV<40km/h.

- **50 m :** à l'aval des signaux de blocs.

Remarque : Lorsqu'on ne peut pas réaliser cette marge, faute de quoi, on doit systématiquement réduire la vitesse d'entrée avant le signal.

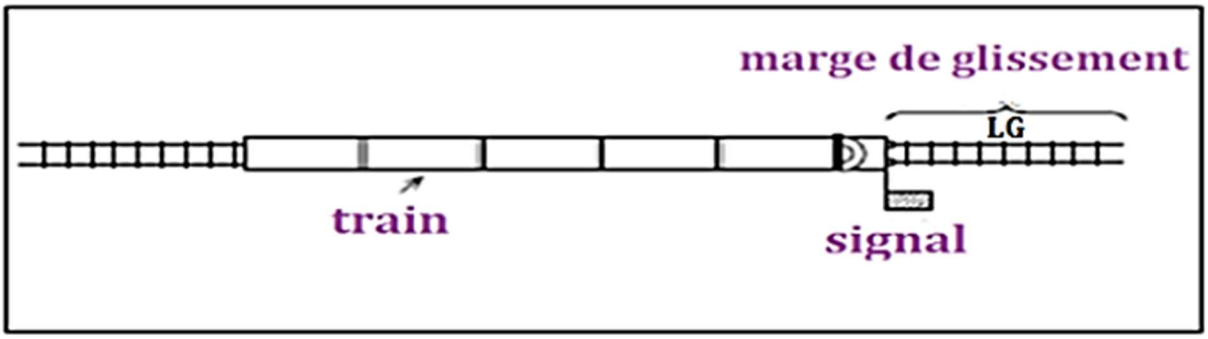


Figure IX.1: Schématisation de la marge de glissement.

IX.4.3. GARAGE FRANC (GF) :

Le garage franc (GF) marque la limite de la partie de la voie à occuper par les véhicules garés. La valeur théorique du garage franc est de 3.57 m entre l'entraxe de la voie directe et la voie déviée (voie de stationnement).

En raison de sécurité, le garage franc sera installé à 1.0 m de distance di garage franc théorique, et sa formule est : $GF = \left({}^{3.57}/_{\tan \alpha}\right) + 1$ m :

α : varie selon le type de l'appareil de voie.

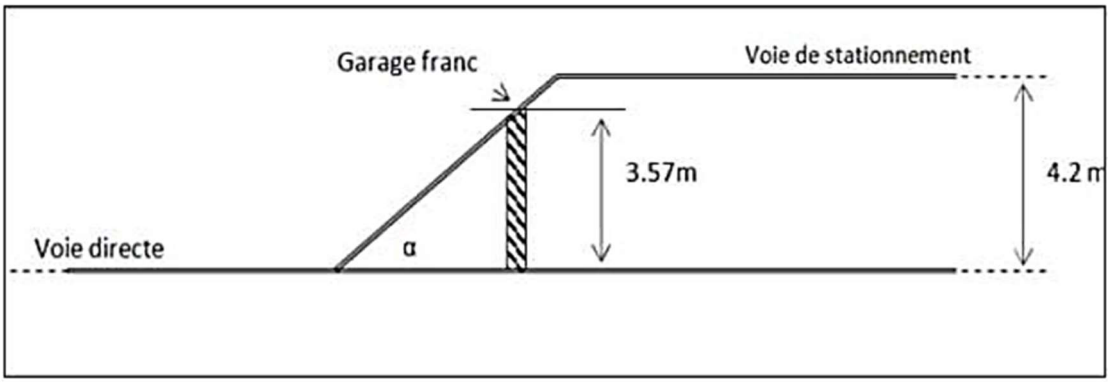


Figure IX.2: Garage franc.

IX.4.4. HEURTOIRE :

Les heurtoirs matérialisent la fin d'une voie de garage ou de sécurité. Ils sont placés aux extrémités des voies en cul-de-sac pour éviter que les véhicules en mouvement n'en franchissent les extrémités.

En règle générale, les heurtoirs doivent être précédés, à 10 m. de distance, par des patins de freinage, qui après chaque déplacement doivent être remis en place.

Il existe deux principaux types de heurtoirs :

- ✓ Les heurtoirs fixes.
- ✓ Les heurtoirs patinant, petit et grand modèle.

IX.5. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES GARES :

IX.5.1. LA LONGUEUR UTILE D'UNE VOIE DE STATIONNEMENT :

C'est la longueur nécessaire et suffisante qui permet au train de stationner sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisines. Donc La longueur utile représente la distance séparant deux garages francs. Selon la SNTF La longueur utile minimale **Lu** est 1200 m pour la voie principale et 800 m pour la voie de service.

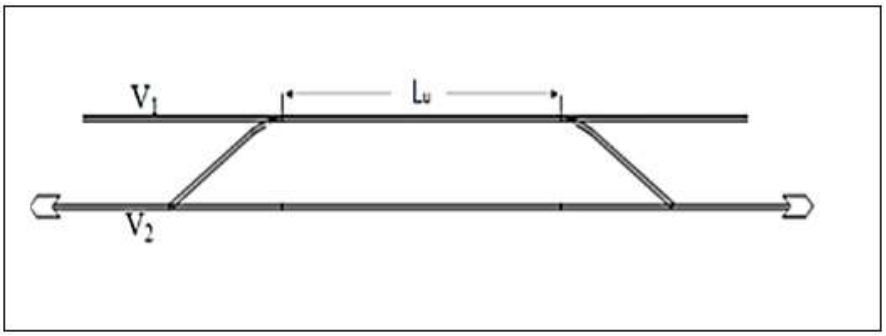


Figure IX.3: Longueur utile Lu.

La longueur utile est donnée par le règlement comme suit :

LU = LG + LS + LT + LA + LC

LU : Longueur utile.

LG : Longueur de glissement.

LS : Longueur de sécurité.

LT : Longueur maximale de train.

LA : marge de tolérance d'arrêt.

LC : tronçon d'isolation pour le système de contrôle.

IX.5.2. DECLIVITE DANS LES GARES :

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

IX.5.3. LES QUAIS :

- **La longueur des Quais (selon SNTF) :**

- Grande ligne 450m.
- Service régional 350 m.
- Banlieue 225 m.

- **La largeur des Quais (selon SNTF) :**

- Quai latéral : 6m
- Quai intermédiaire : 8m

- **La hauteur des Quai (selon SNTF) :**

La hauteur nominale du bord du quai devra être de 550 mm ou de 760 mm au-dessus de la table de roulement selon le type de matériel roulant qui est susceptible de s'arrêter à ce quai.

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

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

Pour les bordures de quai implantées à la hauteur nominale de 550 mm 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).

- **L'entraxe des Quais :**

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

IX.6. APPLICATION AU PROJET :

IX.6.1. LOCALISATION DE LA GARE DE BIR LARCH :

La future gare de Bir Larch située entre PK 352+633 et PK 354+269, est en effet une gare intermédiaire conçue comme gare voyageurs, il se développe en palier (0%). Le futur bâtiment de voyageurs étant situé au PK 353+617. Cette gare intermédiaire sera caractérisée par un trafic voyageur moyen.



Figure IX.4: Emplacement de la Gare de Bir Larch.

IX.6.2. GEOMETRIE DE TRACE :

Notre gare se constituer de 5 voies, dont deux voies sont des voies principales et deux voies d'évitement (ou de dépassement), et 4 voies terroirs. En termes généraux le tracé de la ligne principale se développe en droit, ainsi que les autres lignes qui sont parallèles à celle-ci. Pour permettre la liaison entre les différentes lignes, il a été nécessaire de placer 3 heurtoirs et 17 appareils de changement de voie dont leurs caractéristiques sont présentées ci-dessous :

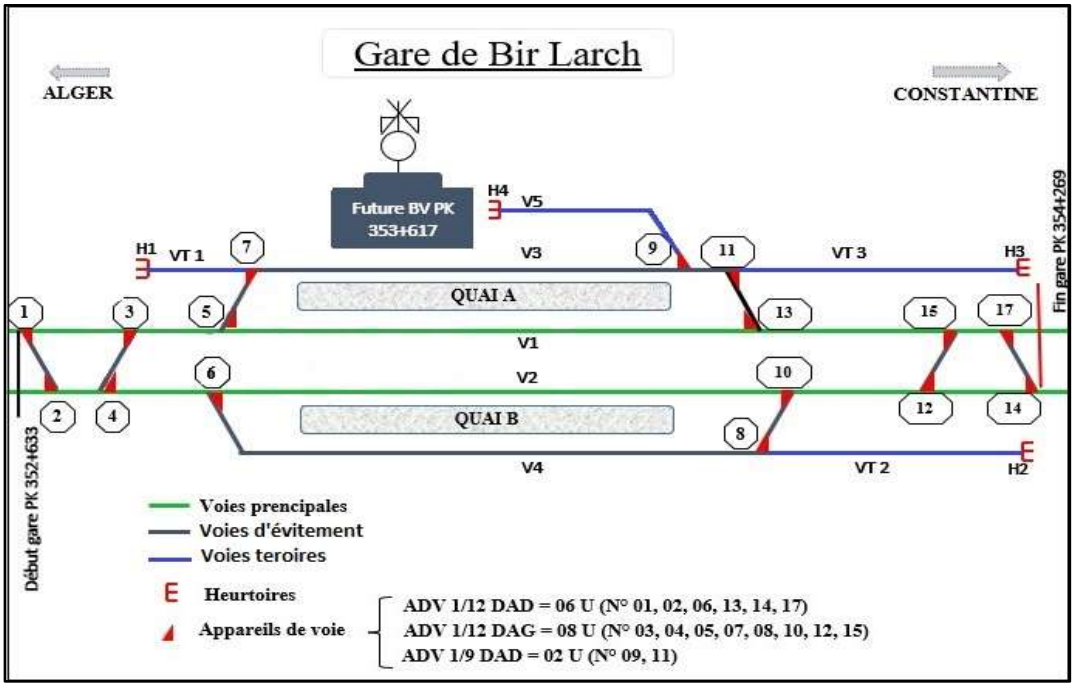


Figure IX.5: Schématisation de la gare de Bir Larch.

Toute la gare se développe en palier (i=0‰) et de linéaire 1636 m.

IX.6.3. CAREACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA GARE :

Les caractéristiques géométriques recommandées pour notre gare sont comme suit :

- **Longueurs de la marge de glissement :**

Comme V =160km/h≥60km/h. alors → LG = 200m

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

Selon le maitre de l'ouvrage longueurs utiles des voies de la gare sont :

Longueur utile de V1 Lu = 985.73 m.

Longueur utile de V2 Lu = 1017.10 m.

Longueur utile de V3 Lu = 794.70 m

Longueur utile de V4 Lu = 976.54 m.

Longueur utile de V5 Lu = 156.70 m.

Longueur utile de VT1 Lu = 108.27 m

Longueur utile de VT2 Lu = 216.35 m

Longueur utile de VT3 Lu = 371.73 m

- **Les Quais :**

Quai A entre la voie 1 et la voie 3, Quai B entre la voie 2 et la voie 4

Tableau IX.1: Les dimensions des Quais.

QUAIS	PK DEBUT	PK FIN	LONGUER	LARGEUR	Hauteur	Entraxe
QUAI -A-	353+525.83	108+210.698	225m	6m	0.55 m	13.51 m
QUAI -B-	353+775.83	108+210.698	225m	6m		

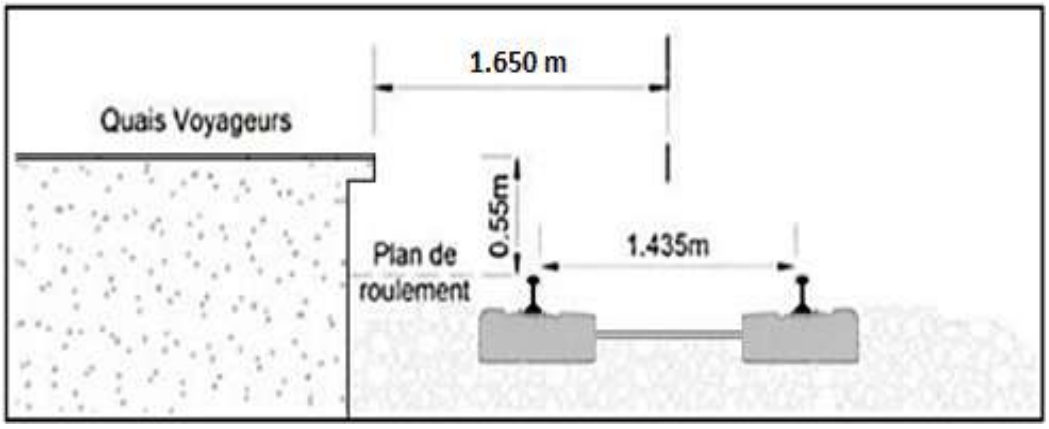


Figure IX.6: Gabarits – Quais Voyageurs.

- **Les abris de quais :**

Largeur : 02 abris de largeur de chaque un est de 3 m.

Longueur : Longueur de chaque abri est de 12 m.

Entraxe : On prend un entraxe de 60 m entre 02 abris,

Hauteur libre : H=3.10m.

- **Longueur de garage de franc :**

$$L_g = \left({}^{3.57}/_{\tan \alpha}\right) + 1 \text{ m}$$

- Pour l'appareil de voie type 1/12 : GF= 44 m.

- Pour l'appareil de voie type 1/9 : GF= 33 m

- **Distance de bords de quais par rapport l'axe de la voie : (Norme UIC 741) :**

L (mm)=1650+ (3750/∞) + ((1435-1435) /2) =1650mm

- **La passerelle :**

Elle permet le franchissement sans risques des voies, ils existent :

- Passerelle supérieure

- Passerelle inférieure

Pour notre gare, un passage inférieur est conçu pour les déplacements des passagers au sein de la gare, entre les quais et le bâtiment de voyageurs dont les dimensions suivantes :

- Deux voiles et radier et la dalle avec l'épaisseur (50cm, 60cm).
- La largeur doit être : B≥2.4 m, donc on prend : B=3m.
- La hauteur doit être :H ≥2.4 m, donc on prend : H=3m.

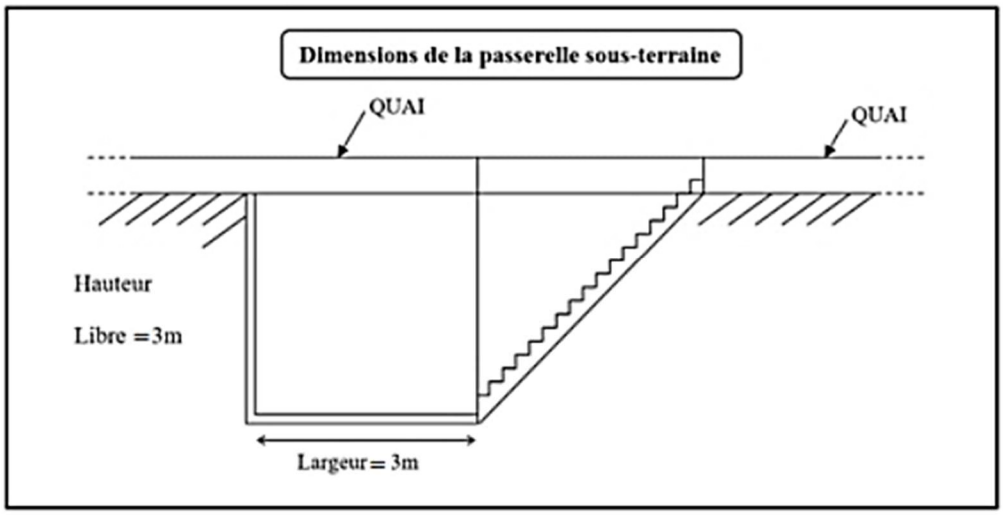


Figure IX.7: Schéma d'une passerelle sous-terraine.

IX.7. DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT DE LA GARE :

IX.7.1.1. ASAINISEMENT 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 desplates-formesde4%.

IX.7.1.2. ASSAINISEMENT LONGITUDINALE :

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, généralement ces conduites sont percées sur leurs faces supérieures.

IX.8. PROFIL EN TRAVERS TYPE :

Les profils en travers types de la gare de Bir Larch sont joints en plans format A3.

IX.9. CONCLUSION :

La conception de la gare de Bir Larch est conforme aux normes en vigueur pour répondre aux exigences de sécurité et de confort, afin d'absorber la demande sur ce mode de transport qui ne cesse d'augmenter au cours du temps.

CHAPITRE X. SIGNALISATIONI FERROVIAURE :

X.1. DEFINITION :

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

X.2. OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION :

Les trains doivent circuler en toute sécurité, et donc les installations de signalisation permettent de résoudre les cinq grands problèmes suivants :

- ✓ L'espacement des circulations pour éviter les rattrapages (cantonnement ou block).
- ✓ La protection des circulations dans les établissements (convergence, cisaillement...).
- ✓ La circulation, dans les deux sens, sur une même voie (le nez à nez).
- ✓ Les risques de déraillement par excès de vitesse.
- ✓ Le franchissement des voies ferrées par des routes sur un même niveau (passages à niveau).

On prévient ces risques notamment par :

- ✓ La mise en place d'une signalisation.
- ✓ L'établissement d'un régime d'exploitation de la ligne (double voie ou voie unique).
- ✓ La mise en place d'un système d'espacement des trains.
- ✓ La mise en œuvre de procédures d'exploitation.

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

X.3. LES SIGNAUX :

Pour transmettre au conducteur des ordres et informations liées à la sécurité des circulations, il est fait usage de signaux. Ces dernières sont essentiellement utilisées pour assurer les fonctions suivantes :

- ✓ Signalisation d'arrêt.
- ✓ Signalisation de limitation de vitesse
- ✓ Signalisation de direction.

Chacune de ces fonctions comprend habituellement une signalisation d'annonce et une signalisation d'exécution ou de rappel.

L'usage veut que la signalisation d'arrêt (exécution et annonce) soit explicitée séparément, alors que les deux dernières forment un tout. En outre, l'expression «la signalisation d'arrêt » est réservée à la signalisation d'exécution d'arrêt.

En l'absence de toute signalisation restrictive un panneau présente un feu vert de voie libre. Le feu vert indique au mécanicien que la circulation en marche normale est autorisée, si rien ne s'y oppose.

X.4. IMPLANTATION LONGITUDINALE :

Afin de permettre au mécanicien de s'arrêter devant un signal d'arrêt (ou un point à protéger) ou de respecter une limitation de vitesse dans une zone délimitée, il est nécessaire de le prévenir à une distance suffisante pour que le freinage puisse être mis en œuvre dans les conditions normales, c'est le rôle des signaux d'annonce à distance.

Ces distances sont appelées, respectivement :

- Distance d'arrêt.
- Distance de ralentissement.

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

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

X.5. LES TYPES DE SIGNALISATION FERROVIAIRE :

X.5.1. SIGNALISATION CLASSIQUE :

De plus que les signaux cités précédemment. Voici les principaux éléments considérés au sein du système de signalisation :

X.5.1.1. CANTONNEMENT :

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

Remarque : une voie ferre est composée de plusieurs canton et chaque canton est isole indépendamment par un joint isolant.

- **Principe de base de cantonnement**

La ligne de chemin de fer est divisée en plusieurs secteurs que l'on appelle des cantons. Chaque canton, est protégé par un signal, le cantonnement le moyen généralement employé pour assurer l'espacement des trains circulant dans le même sens sur une même voie.

Par principe, on n'admet que la présence d'un seul train dans un canton donné. Lorsqu'un train entre dans un canton, les essieux du train engendrent un court-circuit entre les deux fils du rail. Cela provoque la fermeture du signal à l'entrée du canton, il présente donc un feu rouge. Lorsque le train pénètre dans le canton suivant, le signal protégeant présente à son tour un feu rouge, alors que le signal du premier canton présente désormais un feu orange, Lorsque le train

pénètre dans le troisième, le signal le protégeant donne l'indication feu rouge. Le signal du second canton donne l'indication feu jaune, et le signal du premier canton donne désormais l'indication voie libre. (Feu vert). Pour ce type de signalisation, il n'y a donc pas d'intervention humaine. C'est le train qui se protège lui-même.

Le schéma ci-dessous explique le principe de cantonnement :

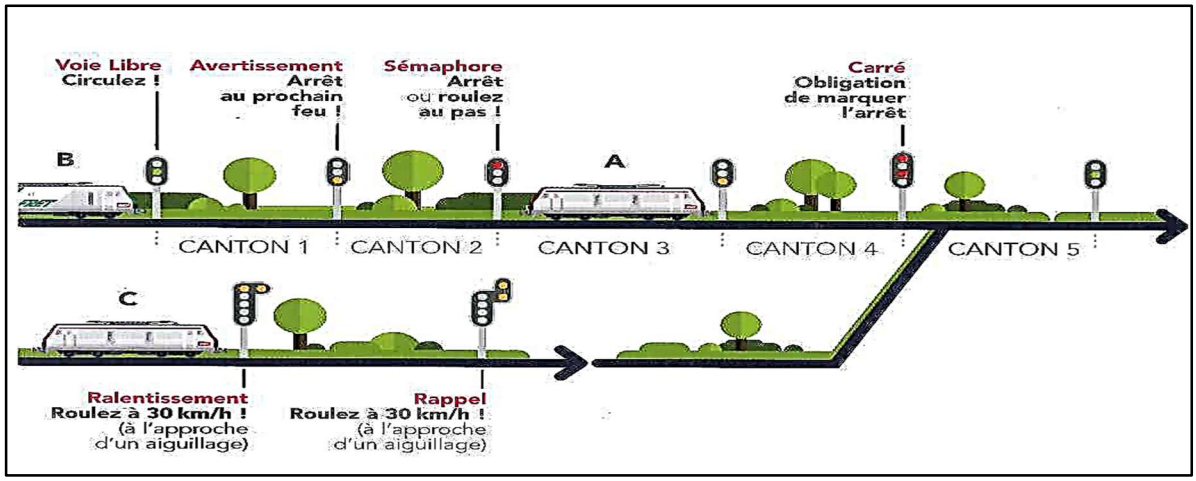


Figure X.1: Schéma illustratif de canton.

- **FERMETURE ET OUVERTURE DE CANTON :**

Les différents systèmes utilisés pour gérer les signaux sont appelés "blocks", et selon la Catégorie de ligne on utilisera l'un des trois types de blocks ci-dessous :

- **Le block manuel (B.M) :** est utilisé sur des lignes à trafic faible, dont l'exploitation est assurée manuellement. Le nombre de signaux implantés sur les voies est très réduit, les installations de commande sont simples, L'inconvénient ce type de block est qu'il ne permet pas un gros débit sur les lignes.

- **Le block automatique à permissivité restreinte (B.A.P.R) :** est utilisé sur des lignes à trafic moyen. C'est un système automatique, mais la longueur des cantons est relativement importante (plusieurs kilomètres). Ce système présente l'avantage d'une sécurité accrue par rapport au block manuel (le risque d'erreur humaine est diminué), tout en restant économique car le nombre de signaux implantés reste faible. De par son fonctionnement ce type de block ne permet pas des débits élevés sur une ligne.

- **Le block automatique lumineux (B.A.L) :** Il est utilisé sur les lignes principales, les cantons sont courts, il est donc plus couteux (plus de signaux), c'est le système le plus souple pour régler les circulations des trains, avec des cantons courts, l'espacement des trains est réduit et donc le franchissement des signaux d'espacements fermé s'en marche à vue y est autorisé.

Remarque : Sur les lignes à très faible trafic la signalisation est souvent remplacée par un système qui de cantonnement téléphonique parfois assisté par informatique

- **TYPES DE CATONNEMENT :**

  - **Le « cantonnement absolu »** : dans ce cas, la règle du cantonnement est appliquée strictement. Il est interdit de pénétrer dans un canton occupé.

  - **Le « cantonnement permissif »** : consiste à admettre un train suivant dans un canton occupé, sous conditions particulière, notamment de respecter la marche à vue, c'est-à-dire que le mécanicien doit être en mesure d'arrêter son train devant tout obstacle imprévu.

X.5.1.2. SYSTEME D'ENCLENCHEMENT :

Le module Enclenchement a pour objectif principal de permettre le passage en sécurité des trains dans la zone d'action du poste, en commandant les appareils de voie dans la position requise par les itinéraires, en gérant les enclenchements, l'espacement des circulations sur les parties de voie avec signalisation latérale et en commandant l'ouverture des signaux qui leur sont associés.

Dans le projet de rénovation et modernisation de la zone de signalisation de la ligne Sétif - El Ghourzi, il est prévu d'installer en tant qu'élément de sécurité essentiel un enclenchement électronique dans chaque gare.

Dans ce cas la Gare de Bir Larch qui se situe sur notre tronçon, sera doté d'un système d'enclenchement.

X.5.1.3. POSTE DE COMMANDE LOCAL :

Il a été prévu d'installer dans chaque gare disposant d'un enclenchement situé dans la cabine de commande des bâtiments techniques, un système de commande local de type vidéographique, doté d'un écran graphique actif basé sur un ordinateur de bureau.

Le Poste de Commande Local (PCL) est le système qui permet de contrôler les enclenchements en mode local, moyennant l'envoi d'ordres à l'enclenchement et la visualisation de l'état des éléments de signalisation liés à ceux-ci. Il contiendra tous les éléments de commande et les indications nécessaires pour contrôler la zone qui est du ressort de l'enclenchement, ainsi que les commandes et indications de cantonnement associés.

X.5.1.4. SYSTEME D'AIDE A LA MAINTENANCE (SAM)

Pour la ligne Sétif - El Ghourzi, la structure suivante de systèmes d'aide à la maintenance est prévue :

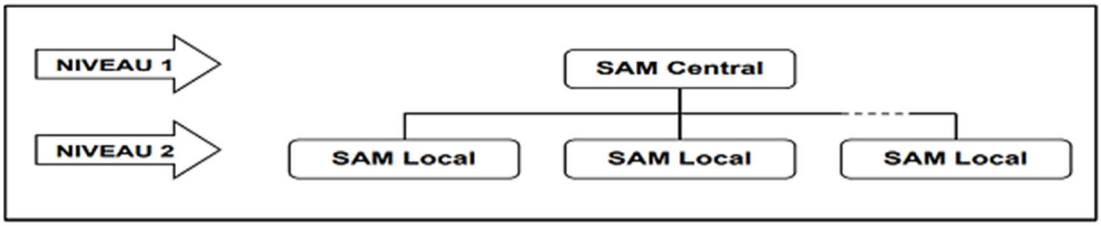


Figure X.2: Organigramme de systèmes d'aide à la maintenance (SAM).

X.5.1.5. COPMTEURS D'ESSIEUX :

Les compteurs d'essieux, à la technologie électronique, seront employés pour détecter la présence des véhicules ferroviaires sur les sections de la voie.

Les informations sur les états des compteurs d'essieux seront fournies au moyen d'un câble en cuivre relié à l'équipement d'évaluation situé dans le box ou la salle technique dans chaque gare. Cet équipement sera branché à l'équipement de sécurité de contrôle des éléments ou enclenchement.

X.5.1.6. LES CABLEES :

En ce qui concerne les câbles de signalisation, il faudra distinguer les câbles principaux des secondaires, les câbles principaux étant ceux qui sont tendus tout le long du trajet et dans les gares, liaisons entre bâtiments/loges et armoires de distribution, et les secondaires étant ceux qui sont tendus, liaisons entre armoires de distribution et boîtes de distribution installées à proximité des voies.

X.5.2. SIGNALISATION MODERNE :

Les systèmes de signalisation classique ont été installé il y a 80 ans, il était révolutionnaire et adapte aux besoins de l'époque. Mais aujourd'hui nous avons besoin de faire circuler beaucoup plus de train qu'avant, et avec l'augmentation du trafic et de la demande l'SNTF réseau doit installer L'ERTMS pour améliorer les performances et augmenter les capacités de circulation du réseau existant, surtout dans les zones à fort besoin.

Dans la ligne ferroviaire Sétif - El Ghourzi Le type de système de signalisation choisi par le maitre d'ouvrage est ERTMS.

X.5.3. Définition du système ERTMS :

European **R**ailways **T**raffic **M**anagement **S**ystem signifie en Français système européen de la gestion de la circulation ferroviaire

Fonctionnement d'ERTMS :

Avec L'ERTMS il existe des balises au sol qui communique avec un autre système à bord de train. Contrairement à l'ancienne version, l'ERTMS permet de transmettre via une antenne GSM sa position et sa vitesse en continu à n'importe quel moment. Et ce détail change tout, car le centre de commande et le chauffeur du train qui suit ne sont plus obligés d'attendre l'entrée ou la sortie du train de la zone pour savoir où il se trouve. Du coup, la distance entre les trains est plus précise et facile à ajuster, et les feux de signalisation latéraux deviennent inutiles.

Grace à ce système les informations d'accélération, de ralentissement ou d'arrêt sont transmises en continu et en direct au conducteur de train qui peut ajuster sa conduite à tout moment. C'est extrêmement sûr et précis. Donc on peut rouler plus vite et plus rapprochée, et donc faire passer plus de trains par heure et même faire repartir de façon plus fluide le trafic après des perturbations.

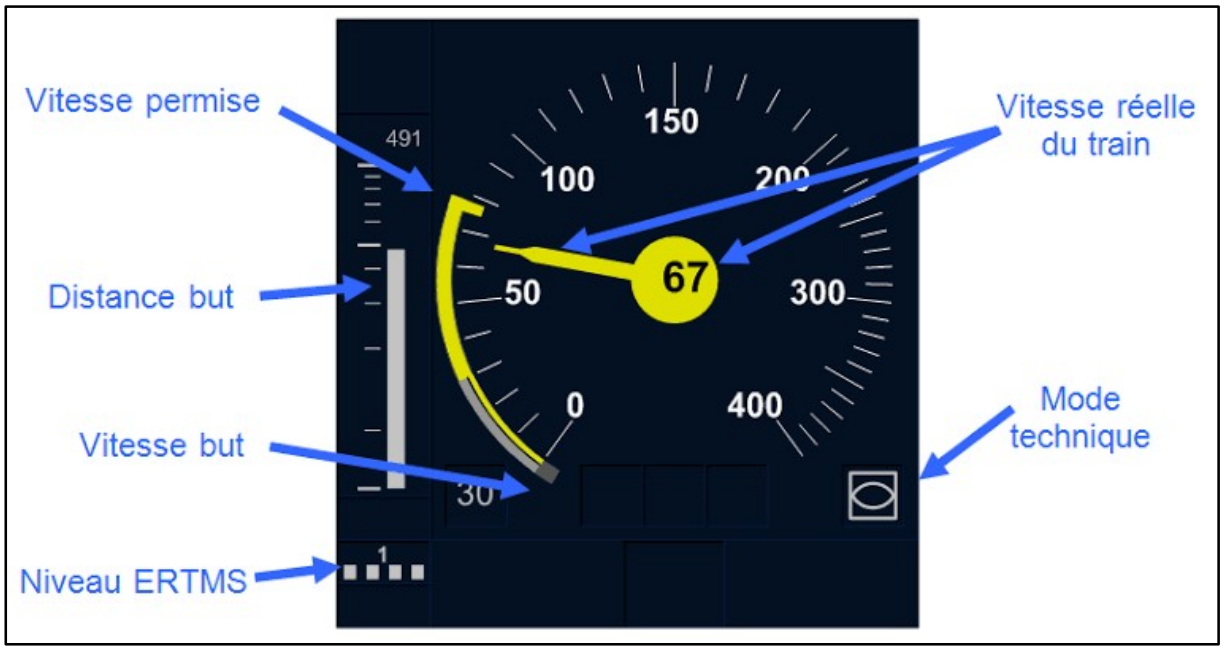


Figure X.3: Principe de fonctionnement du système ERTMS.

X.5.4. L'application du ce système a notre projet :

L'ERTMS/ETCS de niveau 2 -qu'a été proposé par le maitre d'ouvrage- servira de système principal pour exercer les fonctions de contrôle et protection du train dans le champ d'action du projet, sur la ligne Sétif - El Ghourzi.

Le niveau 2 d'ERTMS/ETCS est un système de contrôle de la marche des trains fondé sur une communication bidirectionnelle par radio entre l'équipement embarqué et celui de voie.

Dans ce niveau d'application, les autorisations de mouvement sont générées dans les équipements fixes de voie et sont transmises au train à travers l'Euroradio.

Le niveau 2 d'ERTMS/ETCS fournit une surveillance continue de la vitesse qui prémunit également contre les dépassements indus de l'autorisation de mouvement, tandis que la détection des trains et la surveillance de l'intégrité de leur composition sont effectuées par l'équipement de voie fixe (enclenchements, compteurs d'essieux, etc.).

Le niveau 2 d'ERTMS/ETCS repose sur l'Euroradio pour assurer la communication entre la voie et le train. Les eurobalises servent de dispositifs de transmission ponctuelle, essentiellement à titre de référence et de localisation du train, mais aussi pour réaliser la transition entre les niveaux 1 et 2 d'ERTMS.

Dans la figure suivante, on peut voir une représentation schématique des différents sous-systèmes qui composent la solution prévue de ERTMS / ETCS niveau 2.

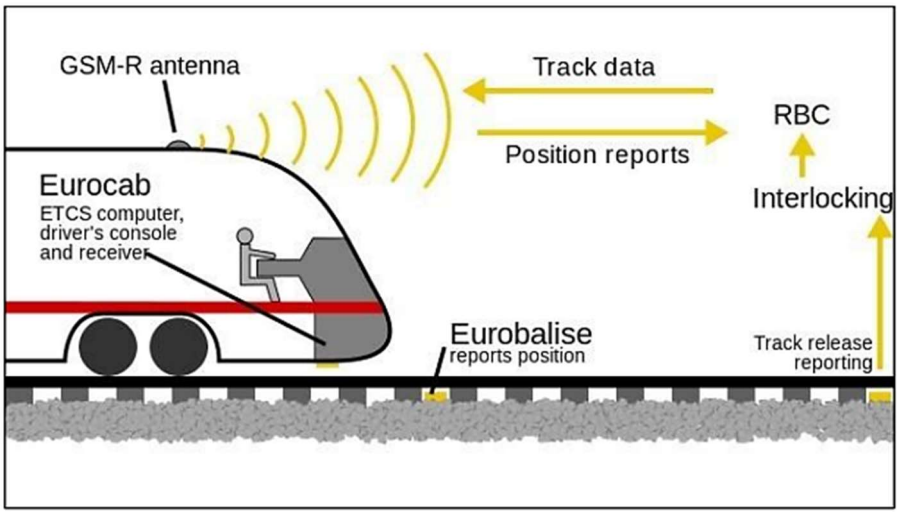


Figure X.4: Illustration du système ERTMS/ETCS niveau 2.

Grace à l'ERTMS, cette nouvelle configuration va permettre à SNTF Réseau de faire circuler plus de passagers ou des marchandises et de désaturer le réseau existant.

Avec l'ERTMS :

- ✓ La signalisation devient numérique.
- ✓ Toutes les informations arrivent dans la cabine du conducteur.
- ✓ Cela permet une meilleure absorption des aléas.
- ✓ Des gains de capacité.

X.6. CONCLUSION :

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

CHAPITRE XI. ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT :

XI.1. INTRODUCTION :

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

Dans le cadre des projets de tracé des voies ferrées, l'étude d'impact sur l'environnement suit les différentes phases de la conception du projet.

Dans le même ordre d'idées, l'étude d'impact sur l'environnement du projet de la mise à double voie Sétif – El Ghourzi, particulièrement le tronçon du Pk 354+000 au Pk 366+000 a fait l'objet d'une démarche logique, articulée en trois phases distinctes :

- **Phase 01 :** Recenser les documents et information concernant la voie ferrée existante, et définir le contexte économique, social et environnemental où la voie ferrée est inscrite. L'objectif étant de définir les conditions existantes de l'environnement avant la réalisation du projet.
- **Phase 02 :** La détermination des effets directs ou indirects importants du projet sur l'environnement. Ces éléments identifiés devront servir pour le meilleur choix de la variante de manière à atténuer les éventuels risques pouvant surgir à l'issue de ce projet.
- **Phase 03 :** il s'agit d'identifier un ensemble de mesures d'atténuation et de préciser la modalité de leur mise en œuvre pour permettre au projet une meilleure intégration dans le milieu récepteur.

XI.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT :

Les objectifs du présent Étude d'impact sur l'environnement sont les suivants :

- ✓ Assurer l'intégration des contraintes et opportunités inhérentes au milieu dans la démarche de conception de la nouvelle voie ferrée.
- ✓ Identifier et évaluer l'importance des impacts appréhendés du projet sur le milieu physique, biologique et humain, ainsi que sur le climat sonore et le paysage.
- ✓ Proposer des mesures visant à atténuer les impacts identifiés afin d'optimiser l'intégration du projet dans le milieu récepteur.

XI.3. DESCRIPTION DU MILIEU :

XI.3.1. MILIEU PHYSIQUE

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

- **De point de vue morphologique :** La wilaya de Sétif est caractérisée par un territoire riche et varié, son relief est extrêmement divers, il est marqué par les paysages montagneux humide et boisé de l'Atlas tellien au Nord et les monts du Hadna à caractère steppique au Sud, entre ces deux ensembles repose la zone des hautes plaines avec une morphologie et propriété totalement différentes, cette zone présente un paysage favorise la culture des céréales, des cultures maraîchères et l'élevage.

- **De point de vue géologique :** La willaya possède des gisements qui peuvent être utilisé comme des matériaux de construction :

Tableau XI.1: type de ressource minière de la willaya de Sétif.

Nature	Utilisation
Argiles	Briques, tuiles, céramique, faïence
Calcaires	Ciment, chaux, agrégats
Dolomies	Industrie
Grès	Brique de silice
Gypse	Plâtre, céramique

- **De point de vue hydrogéologique :** La wilaya de Sétif est caractérisée par :

  - Un ruissellement qui prend un caractère torrentiel provoque des inondations brusques et une érosion considérable.
  - Un réseau hydrographique dense composé par de nombreux oueds mais tributaire de l'extérieur de la wilaya.

- **De point de vue climatique :** La wilaya de Sétif est caractérisée par un climat continental semi-aride, avec des étés chauds et secs et hivers rigoureux. Les pluies insuffisantes et irrégulières à la fois dans le temps et dans l'espace, en effet le facteur altitude joue un rôle important sur la nature de climat.

- Il faut noter que certaines zones de la wilaya sont sensiblement touchées par les risques de sismicité, inondation et glissement de terrains.

XI.3.2. MILIEU ECOLOGIQUE :

La qualité des milieux, la diversité écologique des espaces et paysages confèrent à la wilaya des atouts forts en matière environnementale et patrimoniale, se traduisant par des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique, floristique et touristique.

- **La végétation :** Le champ de la willaya de Sétif est caractérisé en particulier par une couverture végétale faible loin du pourcentage minimal de l'équilibre écologique, ce pourcentage est estimé à 25 % de la superficie totale de wilaya, sachant que les forets représentent plus que 66 % de la superficie totale de wilaya dont 62750 hectares de forêts naturelles.

- **Faune :** La faune terrestre présente dans la wilaya est, en général, pauvre et se limite à des espèces généralistes, dû fondamentalement à l'usage intensif d'agriculture sur le sol, avec des surfaces peu abondantes de végétation naturelle et avec une faible continuité.

XI.3.3. MILIEU HUMAIN :

Selon les résultats du recensement général de la population et de l'habitat (RGPH 1998), ont enregistré une population totale de 1311413 habitants à Sétif. Pour 2004, la population totale de la région a été estimée à 1489979 habitants.

XI.3.4. ACTIVITES ECONOMIQUES :

La wilaya de Sétif est dotée d'une base industrielle tournée essentiellement vers la plasturgie, l'agroalimentaire et les matériaux de construction. C'est ainsi que Sétif figure parmi les cinq premières zones pilotes devant accueillir les futures ZIDI (Zones Intégrées de Développement Industriel). Initiative menée par le Ministère de l'Industrie et de la Promotion de l'Investissement.

L'activité commerciale est également très dynamique avec plus de 12 000 PME, ce qui place la ville de Sétif au deuxième rang national, après la wilaya d'Alger. Présence de plus en plus importante d'entreprises chinoises, espagnoles, coréennes, allemandes et italiennes et françaises.

Ce secteur constituerait également un centre d'intérêt du fait que la ville de Sétif dispose d'un héritage culturel inestimable à travers ses sites archéologiques tels que la nécropole orientale romaine, le quartier du temple, le quartier des basiliques, la muraille byzantine, la citadelle byzantine, le cirque, l'aqueduc, le mausolée de Scipion l'Africain, le musée national d'archéologie, etc.

XI.3.5. LES INFRASTRUCTURES DE BASE :

- **Réseau routier :** Une importante ossature de liaisons terrestres longue de 3.578.37 km est composé de
  - Autoroute Est ouest de 74.8 km.
  - Un ensemble de 634.49 kms de tronçons de routes nationales structuré par (RN5, RN9, RN28, RN77et RN78).
  - D'un linéaire de 708 km en chemins de wilaya.
  - D'une consistance de 2161.18 km de chemins communaux dont 1.381.91 kms revêtus.
- **Le réseau ferroviaire :** La wilaya est une zone de transit caractérisée par des flux d'échanges et de transport des marchandises (direction de la planification et de l'aménagement, 2010, p. 34). La ligne de chemin de fer qui la traverse et les gares de Sétif, El Eulma et Bir Larch ainsi que les centres de tri de Mezloug et Ras El Ma constituent les infrastructures à moderniser et à renforcer.
- **Les infrastructures aéroportuaires :** Un aérodrome bien équipé assurant la desserte de la wilaya avec Alger et la France. Avec un nombre de passagers de plus en plus croissant.

- **Transport urbain :** Le développement durable ouvre des perspectives nouvelles aux villes, c'est une dynamique d'action orientée vers la réalisation d'un projet de long terme, parmi les défis auxquels se sont attelées les autorités locales la réalisation du tramway de Sétif (mis en œuvre en2018), le dédoublement, l'élargissement des voies et la réalisation d'ouvrages (ponts, trémies).

- **Réseau d'énergie :**

- **Réseau d'électricité :** La wilaya est alimentée en très haute tension à partir du réseau d'interconnexion national avec un taux d'électrification de la wilaya de 99.5% en 2018.

- **Réseau gaz :** Haute pression avec un taux de raccordement au réseau gaz est de 95% en 2018.

XI.4. ANALYSE DES IMPACTS :

XI.4.1. IDENTIFICATION DES IMPACTS :

L'identification des impacts du projet est basée sur l'analyse des relations conflictuelles possibles entre le milieu traversé et l'infrastructure à implanter. Cette analyse permet de mettre en relation les sources d'impact associées aux phases de pré-construction, de construction et d'exploitation voie ferrée et les différentes composantes du milieu susceptibles d'être affectées.

XI.4.2. ACTIVITES GENERATRICES DES IMPACTS ENVISAGES :

De manière à bien identifier les impacts environnementaux engendrés par l'aménagement de la voie ferrée, il convient de déterminer les activités susceptibles de modifier le milieu. Ces activités sont issues de la description des aménagements proposés.

Tableau XI.2: Les activités génératrices des impacts envisagés.

	Les causes	Les principales conséquences
Géologie et géomorphologie	- Les principales causes des altérations géologiques et géomorphologiques locales sont les terrassements, l'exploitation de carrières et d'emprunts, la création de décharges et l'occupation de l'espace par l'infrastructure elle-même.	-Augmentation des risques d'instabilité de versants. -Changements dans la géomorphologie locale.
Hydrologie	- Les cours d'eau localisés dans la zone d'influence des travaux peuvent souffrir de différentes altérations aussi bien pendant la construction que pendant l'exploitation de l'infrastructure. C'est le principal problème dans la zone d'étude qui présente un réseau hydrographique important	-Interruption ou déviation dans le réseau de drainage. -Pollution des eaux superficielles en raison du déversement de substances.

Végétation	- Les principales altérations sur la végétation sont dues aux interventions pendant la phase de construction, compte tenu du débroussaillage effectué sur les zones que le tracé occupera, sur les pistes d'accès, les emprunts, etc.	-L'ampleur de cette altération dépendra du type de végétation affectée et de la largeur qu'occupera l'infrastructure. À la fin des travaux, cette occupation prévaudra de manière permanente sur la plus grande partie de la superficie. Il s'agira d'un impact sans possibilité de récupération, malgré le traitement végétal des talus.
Faune	- Les impacts que la construction et la mise en service de la voie ferrée exerceront sur la faune sont différents, et peuvent se diviser en quatre types principaux : destruction ou dégradation de biotopes propres à la faune, effet barrière, animaux renversés et contraints de s'enfuir	-Altération de la perméabilité : effet barrière qui renvoie à l'interception des mouvements de la faune, est due spécialement aux talus et aux fermetures. -Altération en raison de bruits, pollution, déchets cet effet est plus important pendant les travaux. -Altération due aux installations complémentaires. L'impact qui se produire sur la faune en raison de l'alimentation électrique pendant les travaux.
La qualité de l' air	- Pendant la construction, les concentrations de particules dans l'air, de gaz d'hydrocarbures, de fumées et les odeurs augmenteront à la suite des travaux de débroussaillage, excavation, remblayage, circulation de machines, etc.	La pollution atmosphérique principalement sur la végétation, la faune et la santé humaine. -L'impact sur la qualité de l'air pendant les travaux est presque totalement réversible une fois ces derniers conclus, l'unique impact résiduel étant une certaine quantité de polluants déposés sur le sol et la végétation plus proches.
Bruit et des vibrations	- En ce qui concerne le niveau de bruit, pendant la construction, les niveaux acoustiques augmenteront à la suite des travaux de débroussaillage, excavation, remblayage, mouvement des machines, etc. dans les zones proches des travaux.	- Les risques peuvent concerner l'endommagement superficiel des structures (fissuration du crépi, extension des fissures existantes…)
Paysage	- Les impacts visuels dépendent de la manière dont le nouvel aménagement se lie dans le paysage avant et après - L'aménagement permettra d'évaluer ces impactes	- La perte de la qualité intrinsèque du projet due à l'intrusion de défrichements, remblayages et structures. - La difficulté de s'adapter avec le paysage existant sans perdre ses caractéristiques. - Les emprunts et les décharges qui apparaissent pendant les travaux.
Gisements archéologique	- Est dû de l'effet du projet sur des éléments culturels et sur le patrimoine.	- Le patrimoine archéologique à la suite de débroussaillage et de terrassements. - Le gaspillage des ressources fragiles, limitées, singulières et irremplaçables qui peuvent être considérées comme des éléments « non renouvelables »
Milieu social	- Pendant la phase des travaux, certaines répercussions se produiront sur les populations des alentours, ainsi que sur les usagers des routes et des chemins qui sont traversés par le chemin de fer.	- L'aire de travaux constituera un obstacle à la circulation locale, un effet appelé « barrière ». - Une altération du mode de vie des habitants de la zone. - L'altération des structures d'irrigation et l'effet barrière.

XI.4.3. IMPACTS POSITIFS :

La réalisation de ce projet ferroviaire, emmènera à la wilaya de Sétif un développement sur le plan sécuritaire, économique, et touristique. Les retombées de cette voie :

- ✓ Le développement du réseau ferroviaire de la wilaya.
- ✓ Une réponse aux besoins de confort, et de la sécurité dans le déplacement.
- ✓ Optimiser l'utilisation du transport ferroviaire et contribuer à réduire le trafic routier.
- ✓ Une contribution au développement touristique de la wilaya.
- ✓ Le développement et la croissance économiques des régions traversées par le projet.
- ✓ Des emplois seront créés de façon temporaire pendant les travaux de construction et durablement après leur achèvement.

XI.5. LES MESURES PRISES POUR MINIMISER LES IMPACTS :

Tableau XI.3: Les mesures prises pour minimiser les impacts.

L'IMPACT		LES MESURES PRISES
Sur la qualité de l' air	- L'émission de poussières et de particules de taille variable lors des terrassements.	- Arrosage des pistes, notamment par vent fort et temps sec pour limiter les envols de poussières. - Eviter les opérations de chargement et de déchargement de matériaux par vent fort. - Vitesse de circulation des engins limitée à 30 km/h dans les zones sensibles à la poussière. - Couverture ou protection contre le vent des stockages temporaires de matériaux pulvérulents
	- D'épandage et le malaxage des liants hydrauliques.	- Pas d'épandage par vent supérieur à 40 km/h. - Pas de circulation sur des surfaces venant d'être traitées. - Etanchéité des épandeurs, afin d'éviter toute fuite lors du transport des produits.
Sur la flore	- Les déboisements - Le dépôt temporaire de matériaux. - La circulation des engins le long du projet en construction.	- Les arbres doivent être déplacé et non pas déboisé. - Le bon choix des localisations des dépôts temporaires de matériaux (matériaux extraits lors des terrassements, ou nécessaires à la construction du canal…), - Eviter les dépôts de matériaux dans la Zone humides. - La propagation de la poussière sera limitée par l'arrosage des voies de circulation sur le chantier par temps sec.
La faune	- Implantation d'une infrastructure étrangère dans une zone de colonisation faunistique - Risque de perturbation liée au bruit et la vibration	- La pose des barrières pour la faune le long des passages des forêts ou des zones de colonisation faunistiques. - Impact de vibration sera modéré dans le temps. - Création des passages pour animaux.

Sur les eaux	**Les eaux superficielles :** - Dérivations des écoulements durant la construction de l'ouvrage. - La pollution des eaux. - L'érosion des talus en cours de création	- Drainage et collecte des eaux de ruissellement issues des terrassements dans des bassins de décantation avant rejet dans le cours d'eau. - Stockage du carburant, confinement et maintenance du matériel sur des aires aménagées à cet effet. - Mise en œuvre d'une toile ou grille de protection dans les secteurs sensibles à l'érosion.
	- Les eaux souterraines : - Risques de pollution par rejets directs d'eaux de lavage, d'eaux usées. - Risque de pollution par une mauvaise gestion des déchets. - L'abaissement du niveau des nappes phréatiques	- La mise en végétation immédiate des talus, des fossés et berges de cours d'eau, en saison favorable - Le traitement des eaux de chantier dans des bassins de décantation/ filtration provisoires avant rejet dans les cours d'eau sensibles. - Le rejet à l'aval des captages, au-delà de leur aire d'alimentation après décantation. - En cas de dépôts de fines après un orage, le nettoyage immédiat du chantier
Sur les habitants	La fermeture partielle ou totale des certains itinéraires. - Traverse des terrains agricoles. - Les bruits.	- Maintenir l'accès aux résidences et aux secteurs utilisés pour diverses activités socio-économiques. - Restaurer les lieux affectés lorsque les travaux seront terminés - Crée des ponts routiers pour permettre aux agriculteurs de déplacé des deux côtes de rail - Crée des pistes parallèles a la voie ferrée - Baliser les infrastructures temporaires ou permanentes - Réaliser les travaux en dehors de la période nocturne pour limiter la perturbation des résidents avoisinants les aires de travaux

XI.6. CONCLUSION :

L'objectif principale à atteindre est celui d'intégrer l'équipement dans le paysage qu'il traverse avec le minimum de nuisances économiques, environnementale et écologiques. Et pour atteindre cet objectif, nous estimons souhaitable de réaliser un suivi et une surveillance des mesures de préservation et de récupération, ce suivi doit être réalisé au moyen d'un programme de surveillance qui encadrera la phase de construction et d'exploitation de la future voie ferrée et des infrastructures prévues dans le cadre du présent projet.

CHAPITRE XII. DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF :

Tableau XII.1: Devis quantitatif et estimatif.

Lot N°	Désignation	Unité	Prix unitaire de base en H. T	Quantité	Montant DA H. T
1	Forfait				
1.1	Etudes d'exécution	F	-	-	4 500 000
1.2	Installation générale du chantier	F	-	-	150 000 000
PRIX TOTAL		154 500 000 DA			
2	TERRASSEMENT				
2.1	La dépose de la voie existante	ml	440	13 400	5 896 000
2.2	Décapage	m³	219	72 250	15 822 750
2.3	Déblais et mise en dépôt	m³	400	154 377,9	61 755 280
2.4	Déblai mise en Remblais	m³	800	12 661,7	10 192 320
2.5	Evacuation des terres en excès	m³	350	212 250	74 287 500
PRIX TOTAL		167 953 850 DA			
3	COUCHES D'ASSISE				
3.1	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme	m³	600	93380.3	56 028 150
3.2	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation	m³	1859	26141.2	48 596 490
3.3	Fourniture et mise en œuvre de la couche de sous-ballast	m³	2231	33510.4	74 761 702
3.4	Fourniture et mise en œuvre de la couche de ballast	m³	3080	58876.1	181 338 388
PRIX TOTAL		360 724 730. 00 DA			
4	TRAVAUX DE LA VOIE SUR LE PARCOUR				
4.1	Fourniture des rails NEUFS UIC 54	T	176260	2640	465 326 400
4.2	Fourniture des traverses bi-bloc en béton armé (VAX U31 NAT)	U	9256	40170	371 813 520
4.3	Fourniture des attachés pour rails UIC 54 (butées isolantes, lames élastiques, goujons et semelles)	U	2257	40170	90 663 690
4.4	Pose de la voie	ml	1988	24100	47 910 800
4.5	Soudures aluminothermiques et électriques	U	19715	2752	54 255 680
PRIX TOTAL		1 029 970 090. 00 DA			
5	TRAVAUX DE LA VOIE DANS LA GARE				
5.1	Fourniture des rails NEUFS UIC54	T	176260	596	105 050 960
5.2	Fourniture des traverses bi-bloc en béton armé (VAX U31 NAT)	U	9256	18137	167 876 072

5.3	Fourniture des attachés pour rails UIC 54 (butées isolantes, lames élastiques, goujons et semelles)	U	2257	18137	40 935 209
5.4	Pose de la voie	ml	1 988	5441	10 816 708
5.5.1	Fourniture des appareils de voie simples				
	UIC 60-500-1/12	U	9 474 040	14	132 636 560
	UIC 60-190-1/9	U	6 841 980	2	13 683 960
5.5.2	Pose des appareils de voie simples				
	UIC 60-500-1/12	U	112 933	14	1 581 062
	UIC 60-190-1/9	U	106 216	2	212 432
5.6	Bâtiments de Voyageurs	F	25 000 000	-	17 417 400
5.7	Les Quais avec tous ces installations (Fourniture et mise en œuvre)	F	19 417 281	2	38 834 562
5.8	Passage souterrain (Étude, fourniture et mise en œuvre)	F	10 609 063	1	10 609 063
PRIX TOTAL		539 635 988. 00 DA			
6	OUVRAGES				
	DRAINAGE ET ASSAINISSEMENTS				
6.1	Fossés trapézoïdaux en béton armé	ml	6 200	15270	94 674 000
6.2	F/P Dalot en béton armé (1.0x1.0)	F	985 300	9	8 867 700
6.3	F/P Dalot en béton armé 2x (3.5x2)	F	8 344 800	1	25 034 400
	OUVRAGES D'ART				
6.4	Passages supérieures	F	150 000 000	5	750 000 000
PRIX TOTAL		123 816 945/ 878 549 100. 00 DA			
7	Signalisation				
7.1	Modernisation de l'ancien système (Déplacement des enceins signaux ou création des nouveaux signaux)	F	64965755	-	64 965 755
7.2	L'installation de l'ERTMS				
	Etude	F	1121760	-	1 121 760
	Fourniture	F	32049249	-	32 049 249
	Travaux (Montage, raccordement, intégration sur site et essais)	F	35307068	-	35 307 068
	Génie civil (pose ou construction)	F	27989949	-	27 989 949
PRIX TOTAL		161 433 781. 00 DA			
MONTANT TOTAL DU PROJET (en H. T)		3 292 767 539. 00 DA			
MONTANT TOTAL FINAL (en TTC)		3 951 321 046. 036 DA			

MONTANT TOTAL EN TTC (EN LERTTRES) :

Trois milliards neuf cent cinquante et un millions trois cent vingt et un mille quarante-six Dinar Algérien.

CHAPITRE XIII. CONCLUSION GENERALE :

De nos jours, les infrastructures de transport symbolisent le degré du développement de pays, du fait qu'elles permettent les échanges commerciaux et facilitent les déplacements et les communications. Pour cela, l'état a investi dans le domaine ferroviaire en lançant un programme de modernisation des anciennes lignes et création des nouvelles lignes.

Le tronçon étudié fait partie du projet de mise a double voie et modernisation des installation sur la ligne Alger – Constantine, entre Bir Larch et Tadjenanet du PK 354+000 au PK 366+000.

L'étude d'avant-projet détaillé nous a permis d'utiliser le bagage théorique durant les années de formation à l'ENSTP en le mettant en pratique d'une part, et de préparer à l'intégration à la vie professionnelle d'une autre part.

En générale, dans ce projet nous avons suivi sur les normes et les réglementations SNTF et UIC, afin de cerner tous les problèmes techniques et les contraintes qu'on a pu rencontrer tels que :

- ✓ Le choix d'un tracé en plan parallèle à la voie existante afin d'éviter le maximum d'expropriations.
- ✓ Un choix rationnel de la ligne rouge pour rester sur des côtes proches à celles de la voie actuelle aussi que l'équilibre des volumes des cubatures.
- ✓ Une structure d'assise économique et efficace pour résoudre la faible portance du terrain.
- ✓ Un réseau d'assainissement efficace afin de garantir la pérennité de la ligne ferroviaire.

Tout cela en tenant en considération le confort, la sécurité des usagers aussi bien que l'environnement et l'économie de la région.

Cette étude, nous a fait connaitre la conception de la gare des voyageurs de Bir Larch en respectant les normes citer précédemment.

Ce projet de fin d'étude a été une occasion pour nous de profiter de l'expérience pratique des ingénieurs du terrain d'une part et d'autre part apprendre une méthodologie rationnelle, et le plus occasion pour nous d'approfondir nos connaissances dans le domaine ferroviaire et de mieux maîtriser l'outil informatique en l'occurrence les logiciels : AutoCAD, Covadis, Global mapper…

Bibliographie

[1] Carnet de profil en long de la ligne Sétif - El Gourzi établi par la société nationale des chemins de fer français en Algérie

[2] : Groupe d'experts nationaux et internationaux, Règlement Parasismique des Ouvrages d'Art 2008, Alger, Ministère des Travaux Publics.

[3] les normes UIC (741). Quais des gares à voyageurs-Règles pour l'implantation des bordures des quais par rapport à la voie.

[4] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2e Edition.

[5] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 3e Edition.

[6] UIC 406 R, calcule de la capacité d'une ligne ferroviaire.

[7] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 2005.

[8] Mehdi Ali KHODJA, *schéma Directeur d'Aménagement Touristique de la wilaya de Sétif,* Mai 2015.

[9] SETIRAIL, « Rapport de l'étude géologique ».

[10] SETIRAIL, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».

[11] Sétra, Guide technique : Assainissement routier, Octobre 2006.

[12] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 7.2.2 : Ouvrages en terre pour plateformes ferroviaires.

[13] SNTF, Fiche de normalisation : aménagement et gare, trace des voies, 3e édition, JUIN 1985.

[14] SNTF, chapitre 10, signalisation et télécommunication, version 2.

[15] Nationale des Transports Ferroviaires, [http://www.sntf.dz], Société Algérie.

[16] Mémoires de voie ferrée école nationale des travaux publics.

ANNEXE

ANNEXE 01 : Listing de la géométrie.

Listing Axe En Plan

Axe : Axe projet BIR LARCH – TADJENANET (PK 354+000 AU PK 366+000)

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	115.90gr	587.337	354+000.000	756090.804	4000829.617
Clothoïde 1	Paramètre	458.258	140.000	354+587.337	756659.917	4000684.442
Arc 1	Rayon	1500.000 m	227.470	354+727.337	756796.081	4000651.955
	Centre X	757098.636 m				
	Centre Y	4002121.125 m				
Clothoïde 2	Paramètre	-458.258	140.000	354+954.806	757021.495	4000623.110
Droite 2	Gisement	100.30gr	299.654	355+094.806	757161.452	4000620.263
Clothoïde 3	Paramètre	-424.264	150.000	355+394.460	757461.103	4000618.830
Arc 2	Rayon	-1200.000 m	235.634	355+544.460	757611.027	4000614.988
	Centre X	757530.348 m				
	Centre Y	3999417.704 m				
Clothoïde 4	Paramètre	424.264	150.000	355+780.094	757843.070	4000576.239
Droite 3	Gisement	120.76gr	66.910	355+930.094	757986.108	4000531.159
Clothoïde 5	Paramètre	424.264	150.000	355+997.004	758049.491	4000509.721
Arc 3	Rayon	1200.000 m	263.480	356+147.004	758192.529	4000464.640
	Centre X	758505.250 m				
	Centre Y	4001623.176 m				
Clothoïde 6	Paramètre	-424.264	150.000	356+410.484	758452.373	4000424.342
Droite 4	Gisement	98.83gr	456.823	356+560.484	758602.347	4000423.980
Clothoïde 7	Paramètre	-500.000	50.000	357+017.307	759059.092	4000432.395
Arc 4	Rayon	-5000.000 m	152.145	357+067.307	759109.085	4000433.233
	Centre X	759176.191 m				
	Centre Y	3995433.683 m				
Clothoïde 8	Paramètre	500.000	50.000	357+219.452	759261.224	4000432.960
Droite 5	Gisement	101.40gr	1553.754	357+269.452	759311.214	4000431.943
Clothoïde 9	Paramètre	-707.103	10.000	358+823.205	760864.591	4000397.752
Arc 5	Rayon	-50000.000 m	90.605	358+833.205	760874.589	4000397.531
	Centre X	759769.307 m				
	Centre Y	3950409.749 m				
Clothoïde 10	Paramètre	707.099	10.000	358+923.810	760965.170	4000395.446
Droite 6	Gisement	101.53gr	7116.256	358+933.810	760975.166	4000395.206
				366+050.066	768089.370	4000224.294
Longueur totale de l'axe 12050.066 mètre(s)						

Listing Profil En Long Projet

Axe : Axe projet BIR LARCH – TADJENANET (PK 354+000 AU PK 366+000)

Elts Caractéristiques				Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente	-0.93 %	1261.195	354+000.000	934.388
Cercle 1	Rayon Sommet Absc. Sommet Alt.	15000.000 m 355+400.367 m 922.040 m	93.769	355+261.195	922.686
Pente 2	Pente	-0.30 %	190.352	355+354.964	922.109
Cercle 2	Rayon Sommet Absc. Sommet Alt.	25000.000 m 355+620.988 m 921.418 m	85.794	355+545.317	921.533
Pente 3	Pente	0.04 %	670.571	355+631.111	921.420
Cercle 3	Rayon Sommet Absc. Sommet Alt.	-15000.000 m 356+307.755 m 921.693 m	81.056	356+301.682	921.692
Pente 4	Pente	-0.50 %	175.777	356+382.738	921.505
Cercle 4	Rayon Sommet Absc. Sommet Alt.	-25000.000 m 356+433.545 m 920.939 m	87.458	356+558.515	920.627
Pente 5	Pente	-0.85 %	437.242	356+645.973	920.037
Cercle 5	Rayon Sommet Absc. Sommet Alt.	15000.000 m 357+210.673 m 915.780 m	80.997	357+083.216	916.321
Pente 6	Pente	-0.31 %	670.328	357+164.213	915.852
Cercle 6	Rayon Sommet Absc. Sommet Alt.	30000.000 m 357+927.461 m 913.631 m	85.724	357+834.540	913.775
Pente 7	Pente	-0.02 %	544.320	357+920.264	913.632
Cercle 7	Rayon Sommet Absc. Sommet Alt.	-20000.000 m 358+459.787 m 913.502 m	126.429	358+464.585	913.502
Pente 8	Pente	-0.66 %	452.413	358+591.014	913.072
Cercle 8	Rayon Sommet Absc. Sommet Alt.	-30000.000 m 358+846.587 m 910.749 m	93.566	359+043.427	910.103
Pente 9	Pente	-0.97 %	2055.175	359+136.993	909.343
Cercle 9	Rayon Sommet Absc. Sommet Alt.	18000.000 m 361+366.412 m 888.604 m	91.156	361+192.168	889.448
Pente 10	Pente	-0.46 %	441.082	361+283.324	888.796
Cercle 10	Rayon Sommet Absc. Sommet Alt.	-50000.000 m 361+493.605 m 887.293 m	71.768	361+724.406	886.760
Pente 11	Pente	-0.61 %	2146.817	361+796.174	886.377
Cercle 11	Rayon Sommet Absc. Sommet Alt.	-25000.000 m 363+791.706 m 873.844 m	85.357	363+942.991	873.386
Pente 12	Pente	-0.95 %	498.172	364+028.347	872.724
Cercle 12	Rayon Sommet Absc. Sommet Alt.	25000.000 m 364+763.160 m 866.888 m	81.563	364+526.519	868.008
Pente 13	Pente	-0.62 %	1441.888	364+608.082	867.369
				366+049.970	858.425
Longueur totale de l'axe 12049.970 mètre(s)					
Longueur développée totale de l'axe 12050.265 mètre(s)					

Annexe 02 : Tableau de vérification des conditions d'auto-curage :

CANALISATIONS CIRCULAIRES PARTIELLEMENT REMPLIES

H/D	TETA	Q/QPS	V/VPS	S/SPS	L/D	RH/D	RFR
0.02	0.2838	0.001	0.14	0.005	0.280	0.013	0.151
0.04	0.4027	0.003	0.22	0.013	0.392	0.026	0.187
0.06	0.4949	0.007	0.29	0.024	0.475	0.039	0.210
0.08	0.5735	0.013	0.35	0.037	0.543	0.051	0.228
0.10	0.6435	0.021	0.40	0.052	0.600	0.064	0.241
0.12	0.7075	0.031	0.45	0.068	0.650	0.075	0.251
0.14	0.7670	0.042	0.50	0.085	0.694	0.087	0.260
0.16	0.8230	0.056	0.54	0.103	0.733	0.099	0.266
0.18	0.8763	0.071	0.58	0.122	0.768	0.110	0.272
0.20	0.9273	0.088	0.62	0.142	0.800	0.121	0.276
0.22	0.9764	0.106	0.65	0.163	0.828	0.131	0.279
0.24	1.0239	0.126	0.68	0.185	0.854	0.142	0.281
0.26	1.0701	0.148	0.72	0.207	0.877	0.152	0.283
0.28	1.1152	0.171	0.75	0.229	0.898	0.161	0.284
0.30	1.1593	0.196	0.78	0.252	0.917	0.171	0.284
0.32	1.2025	0.222	0.80	0.276	0.933	0.180	0.284
0.34	1.2451	0.249	0.83	0.300	0.947	0.189	0.283
0.36	1.2870	0.277	0.86	0.324	0.960	0.198	0.281
0.38	1.3284	0.307	0.88	0.349	0.971	0.206	0.279
0.40	1.3694	0.337	0.90	0.374	0.980	0.214	0.277
0.42	1.4101	0.368	0.92	0.399	0.987	0.222	0.274
0.44	1.4505	0.400	0.94	0.424	0.993	0.229	0.271
0.46	1.4907	0.433	0.96	0.449	0.997	0.237	0.268
0.48	1.5308	0.466	0.98	0.475	0.999	0.243	0.264
0.50	1.5708	0.500	1.00	0.500	1.000	0.250	0.260
0.52	1.6108	0.534	1.02	0.525	0.999	0.256	0.255
0.54	1.6509	0.568	1.03	0.551	0.997	0.262	0.250
0.56	1.6911	0.603	1.05	0.576	0.993	0.268	0.245
0.58	1.7315	0.637	1.06	0.601	0.987	0.273	0.239
0.60	1.7722	0.672	1.07	0.626	0.980	0.278	0.233
0.62	1.8132	0.706	1.08	0.651	0.971	0.282	0.227
0.64	1.8546	0.740	1.09	0.676	0.960	0.286	0.221
0.66	1.8965	0.773	1.10	0.700	0.947	0.290	0.214
0.68	1.9391	0.806	1.11	0.724	0.933	0.293	0.207
0.70	1.9823	0.837	1.12	0.748	0.917	0.296	0.200
0.72	2.0264	0.868	1.13	0.771	0.898	0.299	0.192
0.74	2.0715	0.898	1.13	0.793	0.877	0.301	0.184
0.76	2.1176	0.926	1.14	0.815	0.854	0.302	0.175
0.78	2.1652	0.953	1.14	0.837	0.828	0.304	0.166
0.80	2.2143	0.977	1.14	0.858	0.800	0.304	0.157
0.82	2.2653	1.000	1.14	0.878	0.768	0.304	0.148
0.84	2.3186	1.021	1.14	0.897	0.733	0.304	0.138
0.86	2.3746	1.039	1.14	0.915	0.694	0.303	0.127
0.88	2.4341	1.054	1.13	0.932	0.650	0.301	0.116
0.90	2.4981	1.066	1.12	0.948	0.600	0.298	0.104
0.92	2.5681	1.073	1.12	0.963	0.543	0.294	0.091
0.94	2.6467	1.076	1.10	0.976	0.475	0.289	0.077
0.96	2.7389	1.071	1.09	0.987	0.392	0.283	0.061
0.98	2.8578	1.057	1.06	0.995	0.280	0.274	0.041
1.00	3.1416	1.000	1.00	1.000	0.000	0.250	0.000

Annexe 03 : Fiches de laboratoires des puits de reconnaissance.

LOG DE SONDAGE
Projet Dédoublement de la ligne féroviaire : Sétif - El Gourzi
No PUITS n°1
Localisation PK 354+000
Profondeur 2 m
X= Y= Z= Date

m	Recup	NS	Litho	Echt	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
0.	—	V							tuf argileux à argiles tuffacées
-1.									
-2.									

LOG DE SONDAGE
Projet Dédoublement de la ligne féroviaire : Sétif - El Gourzi
No PUITS n°2
Localisation PK 354+800
Profondeur 2 m
X= Y= Z= Date

m	Recup	NS	Litho	Echt	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
0.	—	V							tuf argileux à argiles tuffacées
-1.									
-2.									

LOG DE SONDAGE

Projet Dédoublement de la ligne féroviaire : Sétif - El Gourzi

No PUITS n°3

Localisation PK 355+600

Profondeur 2 m

X= Y= Z= Date

m	Recup	NS	Litho	Echt	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
0.	—	V							argiles et tufs calcaireavec passages graveleux
-1.									tufs argileux
-2.									

LOG DE SONDAGE

Projet Dédoublement de la ligne féroviaire : Sétif - El Gourzi

No PUITS n°4

Localisation PK 356+400

Profondeur 2.30m

X= Y= Z= Date

m	Recup	NS	Litho	Echt	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
0.	—	V							tufs argileux
-1.									
-2.									

LOG DE SONDAGE

Projet Dédoublement de la ligne féroviaire : Sétif - El Gourzi

No PUITS n°5

Localisation PK 357+200

Profondeur 1.20 m

X= Y= Z= Date

m	Recup	NS	Litho	Echt	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
0.	—	V							limons graveleux
-1.									croute calcaire

LOG DE SONDAGE

Projet Dédoublement de la ligne féroviaire : Sétif - El Gourzi

No PUITS n°6

Localisation PK 358+000

Profondeur 2 m

X= Y= Z= Date

m	Recup	NS	Litho	Echt	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
0.	—	V							limons argileux
-1.									tufs argileux humide
-2.									

LOG DE SONDAGE

Projet Dédoublement de la ligne féroviaire : Sétif - El Gourzi

No PUITS n°7

Localisation PK 358+800

Profondeur 1.95 m

X= Y= Z= Date

m	Recup	NS	Litho	Echt	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
0.	—	V							remblais
									tufs argileux
									argiles et limons graveleux
-1.									

LOG DE SONDAGE

Projet Dédoublement de la ligne féroviaire : Sétif - El Gourzi

No PUITS n°8

Localisation PK 359+600

Profondeur 1.95 1.95 m

X= Y= Z= Date

m	Recup	NS	Litho	Echt	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
0.	—	V							remblais
									limons argileux
-1.									
									dalle calcaire

LOG DE SONDAGE

Projet Dédoublement de la ligne féroviaire : Sétif - El Gourzi

No PUITS n°9

Localisation PK 360+400

Profondeur 1.20 m

X= Y= Z= Date

m	Recup	NS	Litho	Echt	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
0.	—	V							remblais
-1.									limons argileux

LOG DE SONDAGE

Projet Dédoublement de la ligne féroviaire : Sétif - El Gourzi

No PUITS n°10

Localisation PK 361+200

Profondeur 2 m

X= Y= Z= Date

m	Recup	NS	Litho	Echt	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
0.	—	V							limons argileux noiratres
-1.									
-2.									limons tuffacées encroutées

LOG DE SONDAGE

Projet Dédoublement de la ligne féroviaire : Sétif - El Gourzi

No PUITS n°11

Localisation PK 362+000

Profondeur 2.30 m

X= Y= Z= Date

m	Recup	NS	Litho	Echt	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
0.	—	V							limons argileux
-1.									tufs argileux humide
-2.									

LOG DE SONDAGE 1

Projet Dédoublement de la ligne féroviaire : Sétif - El Gourzi

No PUITS n°12

Localisation PK 362+800

Profondeur 1 m

X= Y= Z= Date

m	Recup	NS	Litho	Echt	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
0.	—	V							terre végétale
-1.									tufs argileux humide
-1.95									

LOG DE SONDAGE
Projet Dédoublement de la ligne féroviaire : Sétif - El Gourzi
No PUITS n° 13
Localisation PK 363+600
Profondeur 1 m
X= Y= Z= Date

m	Recup	NS	Litho	Echt	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
0.	—	V							terre végétale
-0.9									tufs argileux graveleux
-2									

LOG DE SONDAGE
Projet Dédoublement de la ligne féroviaire : Sétif - El Gourzi
No PUITS n°14
Localisation PK 364+400
Profondeur 1 m
X= Y= Z= Date

m	Recup	NS	Litho	Echt	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
0.	—	V							terre végétale
-0.85									tufs argileux graveleux

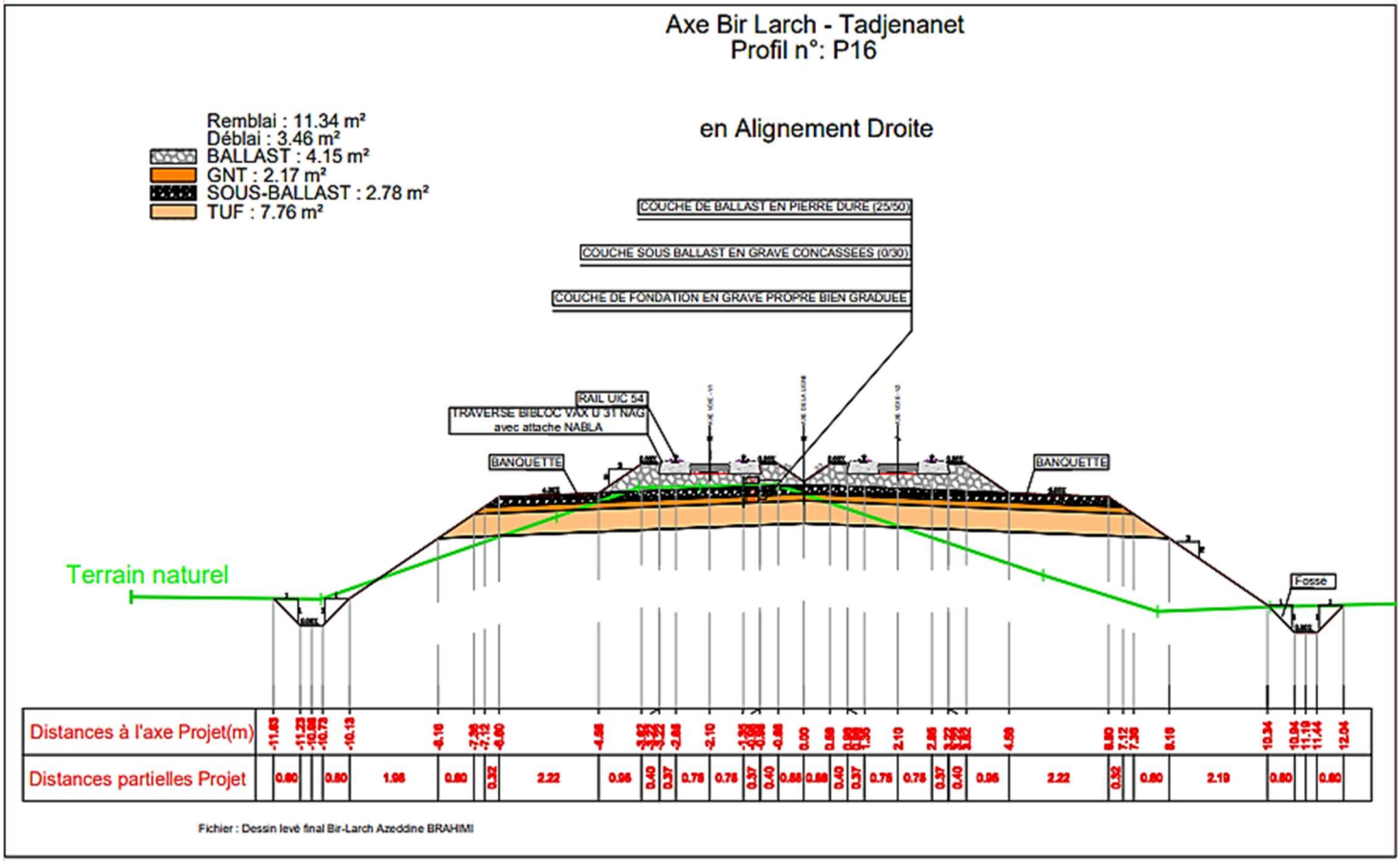
LOG DE SONDAGE
Projet Dédoublement de la ligne féroviaire : Sétif - El Gourzi
No PUITS n°15
Localisation PK 365+200
Profondeur 1.40 m
X= Y= Z= Date

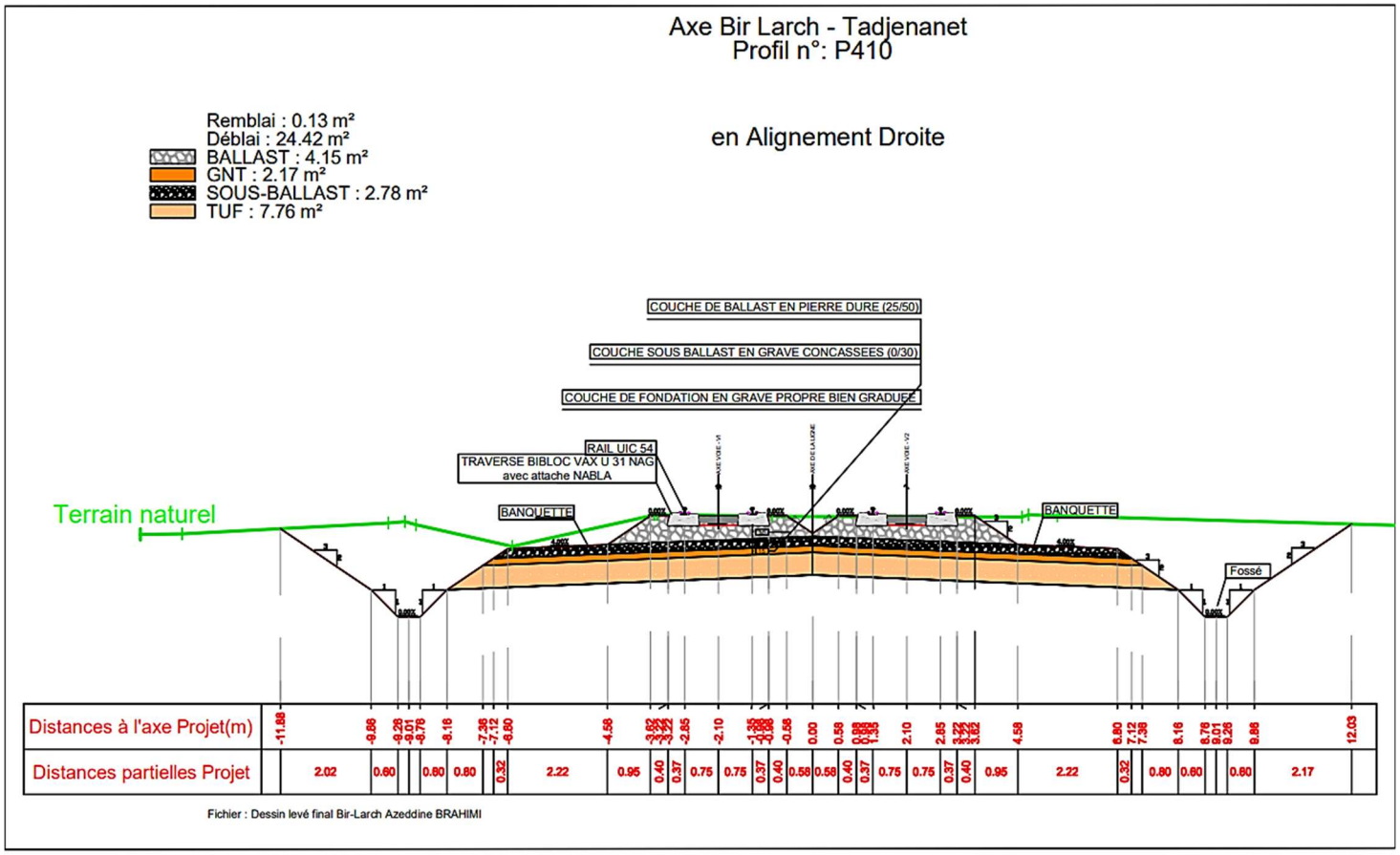
m	Recup	NS	Litho	Echt	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
0.	—	V							limons argileux finement graveleux
-1.									tufs argileux graveleux

LOG DE SONDAGE
Projet Dédoublement de la ligne féroviaire : Sétif - El Gourzi
No PUITS n°16
Localisation PK 366+000
Profondeur 1.20 m
X= Y= Z= Date

m	Recup	NS	Litho	Echt	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
0.	—	V							terre végétale
-1.									dalles calcaires

Annexe 04 : Profils en travers courants :

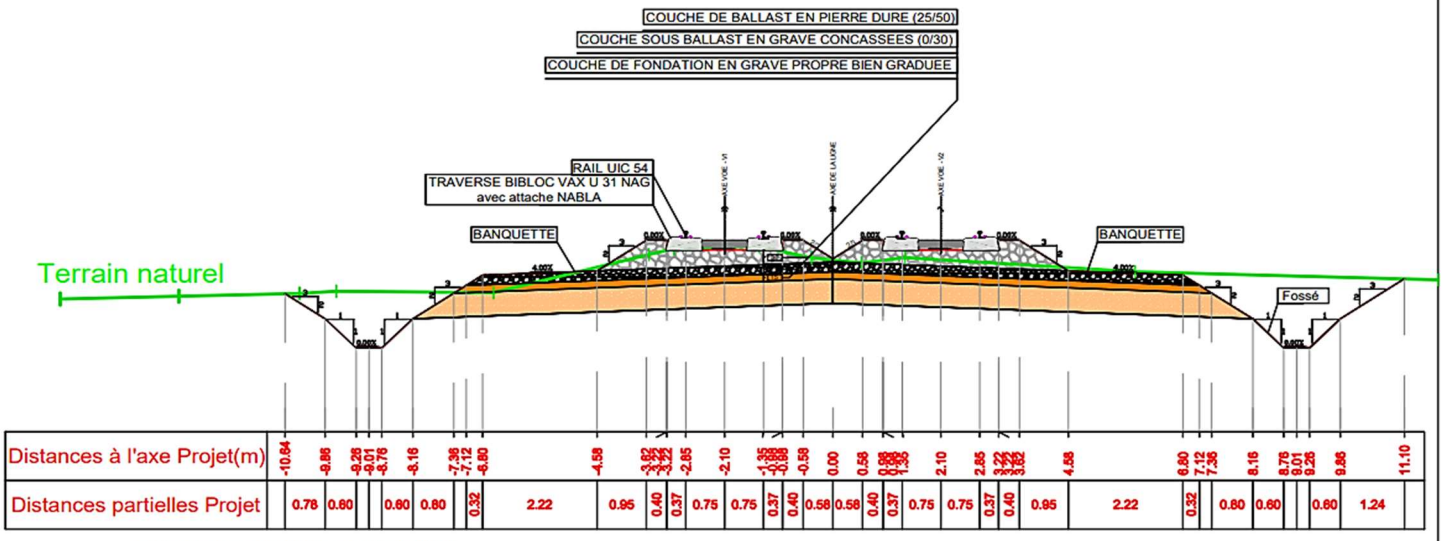




Axe Bir Larch - Tadjenanet
Profil n°: P09

Remblai : 0.13 m²
Déblai : 13.09 m²
BALLAST : 4.15 m²
GNT : 2.17 m²
SOUS-BALLAST : 2.78 m²
TUF : 7.76 m²

en Alignement Droite

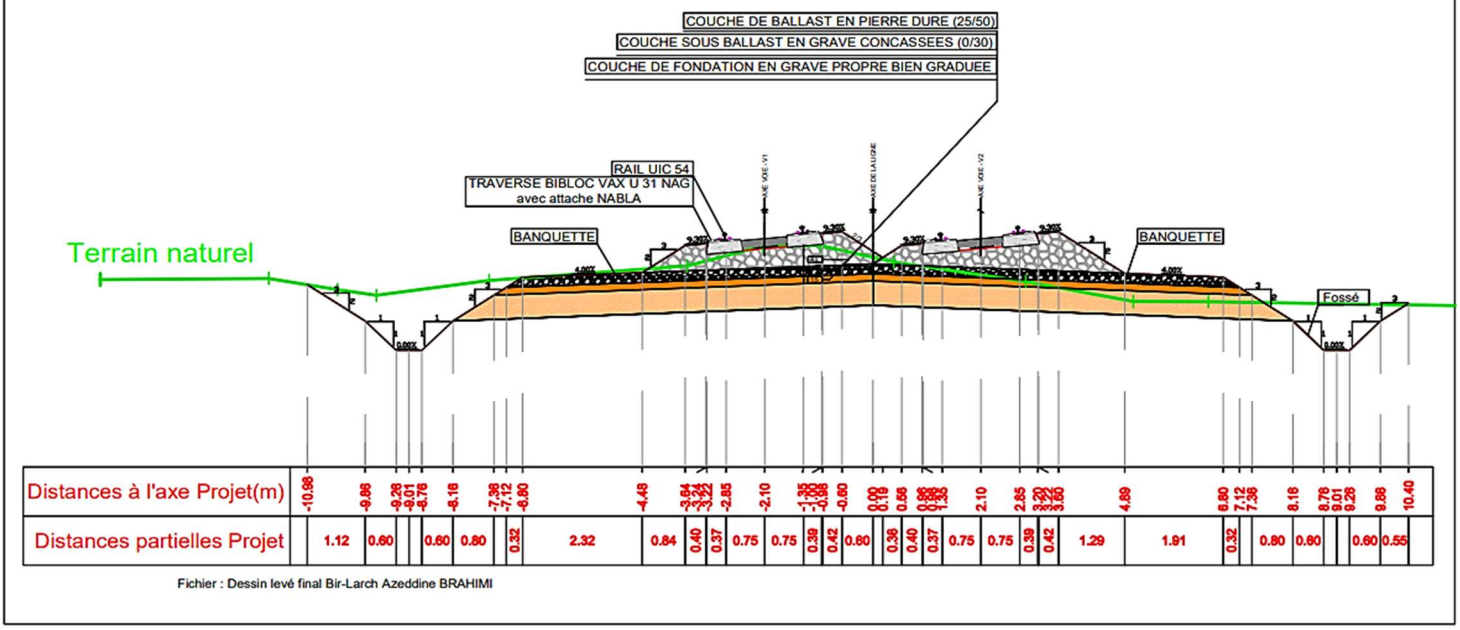


Fichier : Dessin levé final Bir-Larch Azeddine BRAHIMI

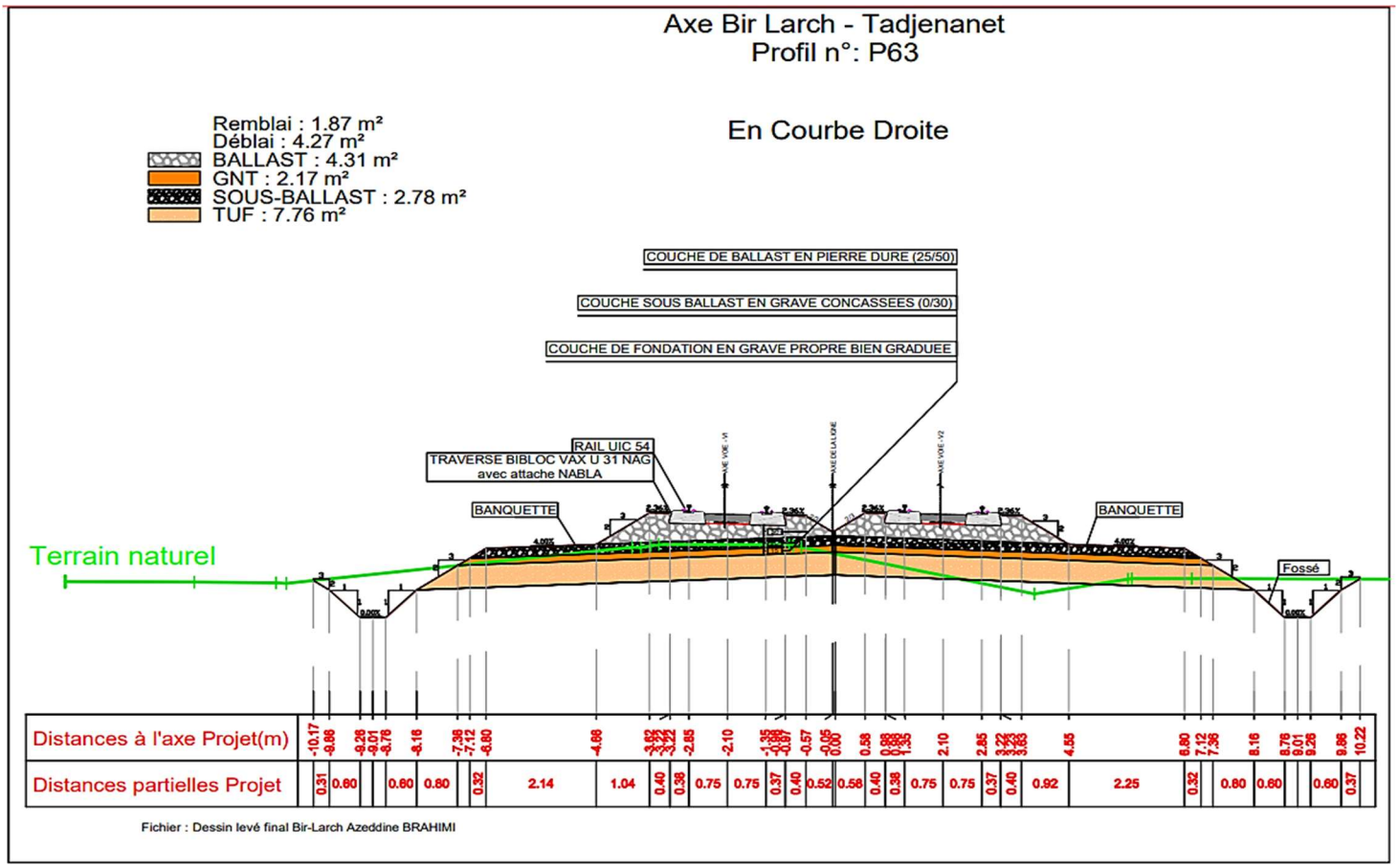
Axe Bir Larch - Tadjenanet
Profil n°: P34

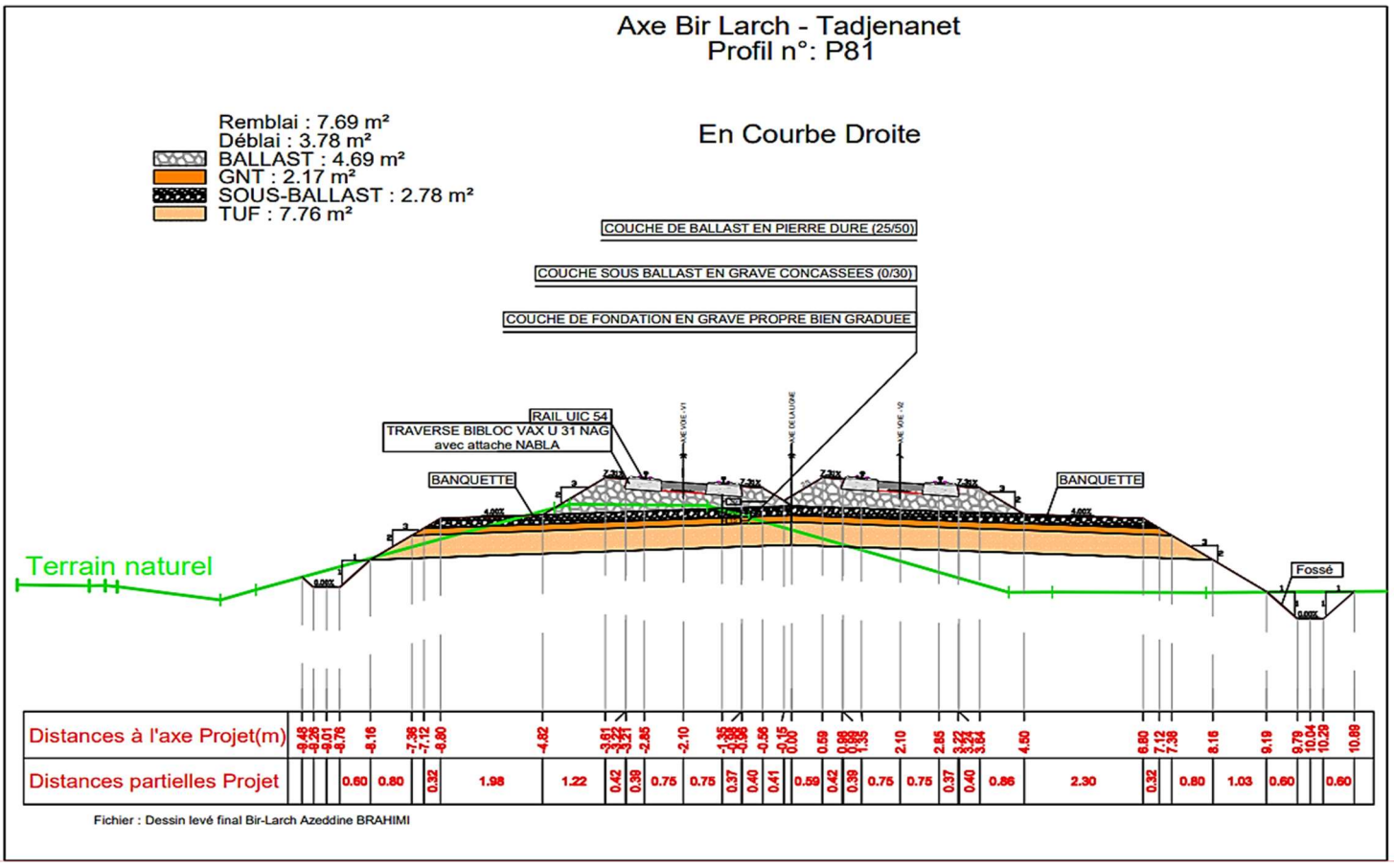
Remblai : 0.16 m²
Déblai : 9.67 m²
BALLAST : 4.85 m²
GNT : 2.17 m²
SOUS-BALLAST : 2.78 m²
TUF : 7.76 m²

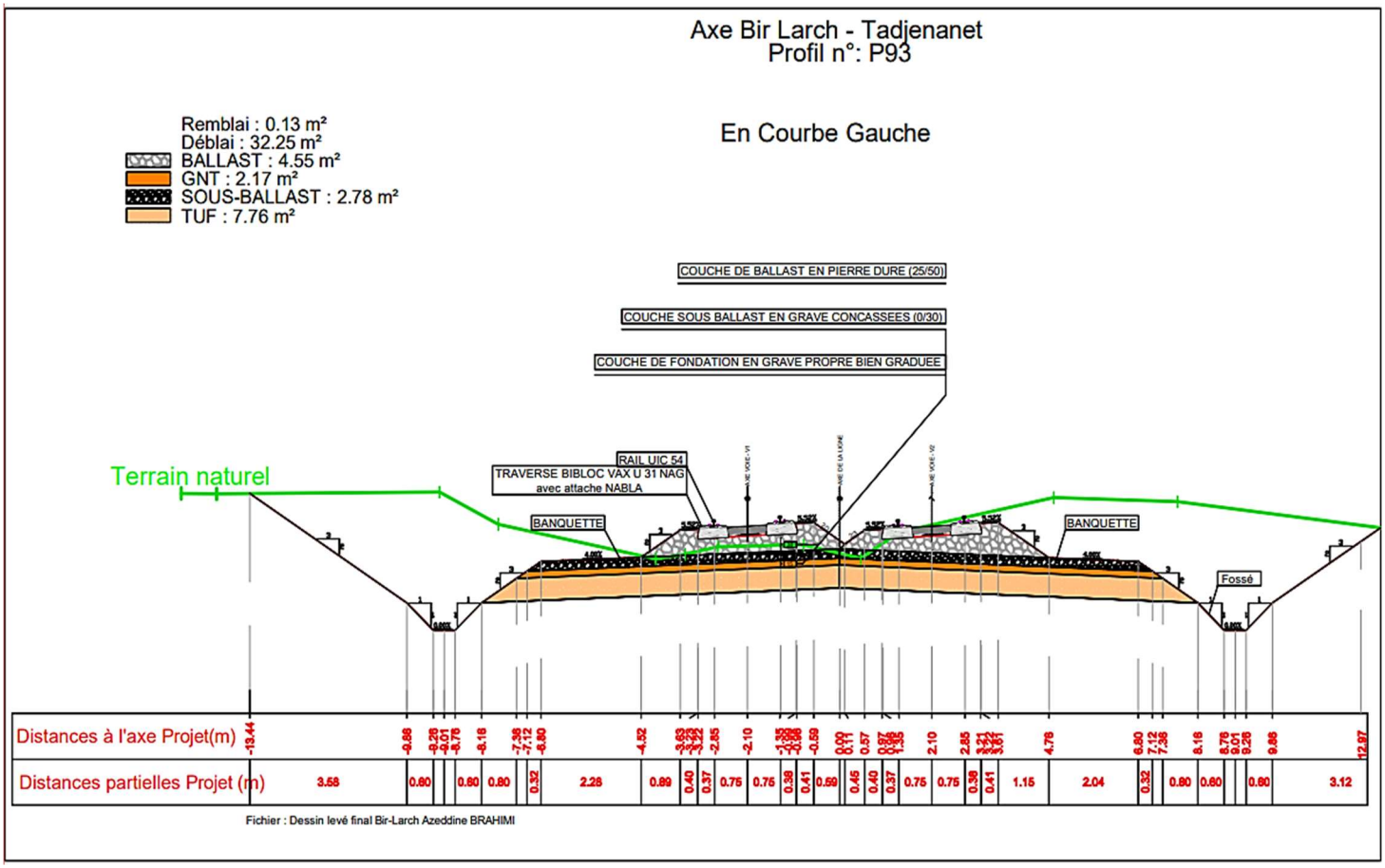
En Courbe Gauche

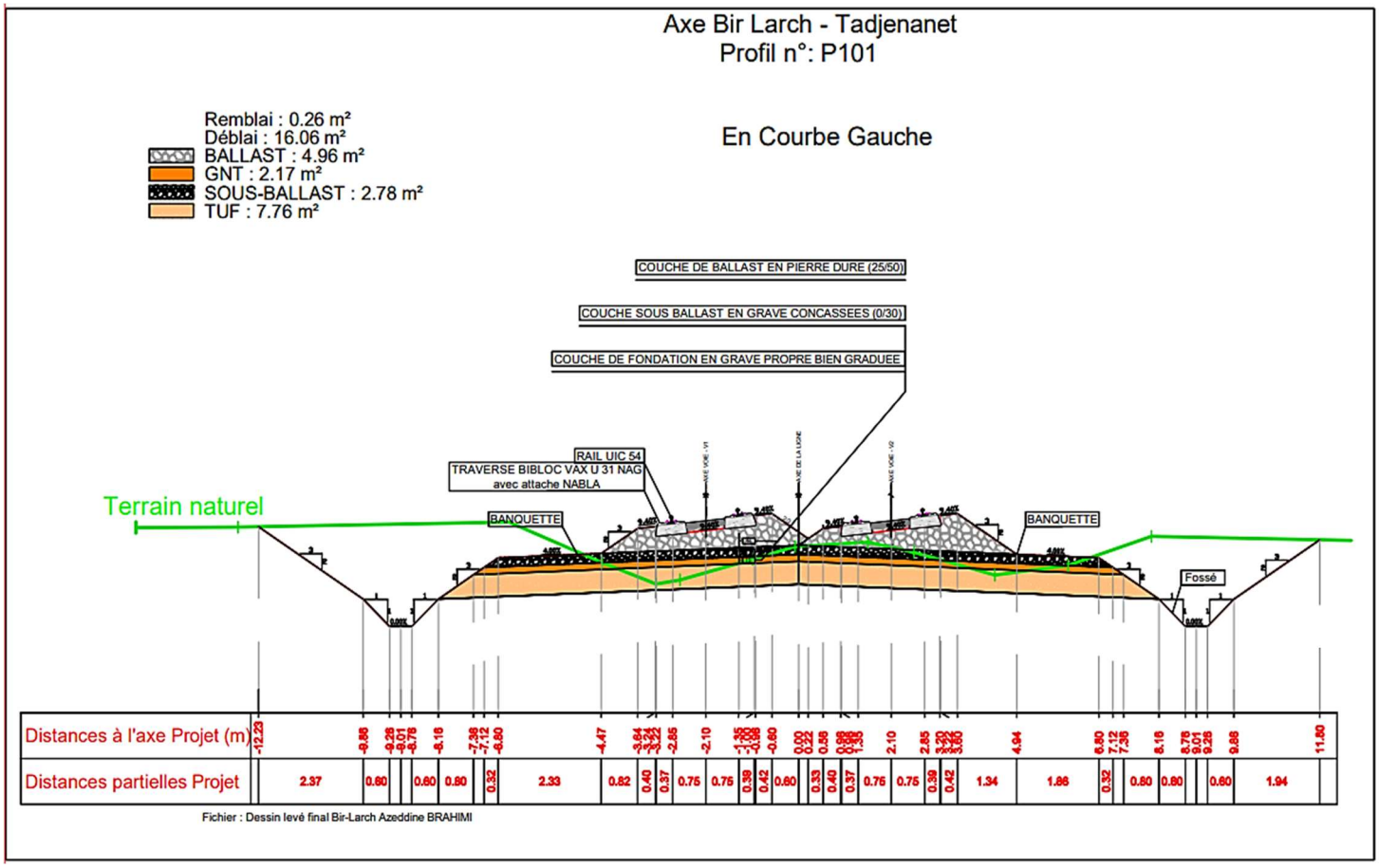


Fichier : Dessin levé final Bir-Larch Azeddine BRAHIMI


Axe Bir Larch - Tadjenanet
Profil n°: P63
En Courbe Droite
Remblai : 1.87 m²
Déblai : 4.27 m²
BALLAST : 4.31 m²
GNT : 2.17 m²
SOUS-BALLAST : 2.78 m²
TUF : 7.76 m²
COUCHE DE BALLAST EN PIERRE DURE (25/50)
COUCHE SOUS BALLAST EN GRAVE CONCASSEES (0/30)
COUCHE DE FONDATION EN GRAVE PROPRE BIEN GRADUEE
RAIL UIC 54
TRAVERSE BIBLOC VAX U 31 NAG
avec attache NABLA
BANQUETTE
BANQUETTE
Terrain naturel
Fossé
Distances à l'axe Projet(m)
Distances partielles Projet
Fichier : Dessin levé final Bir-Larch Azeddine BRAHIMI


Axe Bir Larch - Tadjenanet
Profil n°: P81
En Courbe Droite
Remblai : 7.69 m²
Déblai : 3.78 m²
BALLAST : 4.69 m²
GNT : 2.17 m²
SOUS-BALLAST : 2.78 m²
TUF : 7.76 m²
COUCHE DE BALLAST EN PIERRE DURE (25/50)
COUCHE SOUS BALLAST EN GRAVE CONCASSEES (0/30)
COUCHE DE FONDATION EN GRAVE PROPRE BIEN GRADUEE
RAIL UIC 54
TRAVERSE BIBLOC VAX U 31 NAG
avec attache NABLA
BANQUETTE
BANQUETTE
Terrain naturel
Fossé
Distances à l'axe Projet(m)
Distances partielles Projet
Fichier : Dessin levé final Bir-Larch Azeddine BRAHIMI


Axe Bir Larch - Tadjenanet
Profil n°: P93
En Courbe Gauche
Remblai : 0.13 m²
Déblai : 32.25 m²
BALLAST : 4.55 m²
GNT : 2.17 m²
SOUS-BALLAST : 2.78 m²
TUF : 7.76 m²
COUCHE DE BALLAST EN PIERRE DURE (25/50)
COUCHE SOUS BALLAST EN GRAVE CONCASSEES (0/30)
COUCHE DE FONDATION EN GRAVE PROPRE BIEN GRADUEE
Terrain naturel
RAIL UIC 54
TRAVERSE BIBLOC VAX U 31 NAG
avec attache NABLA
BANQUETTE
BANQUETTE
Fossé
Distances à l'axe Projet(m)
Distances partielles Projet (m)
Fichier : Dessin levé final Bir-Larch Azeddine BRAHIMI


Axe Bir Larch - Tadjenanet
Profil n°: P101
En Courbe Gauche
Remblai : 0.26 m²
Déblai : 16.06 m²
BALLAST : 4.96 m²
GNT : 2.17 m²
SOUS-BALLAST : 2.78 m²
TUF : 7.76 m²
COUCHE DE BALLAST EN PIERRE DURE (25/50)
COUCHE SOUS BALLAST EN GRAVE CONCASSEES (0/30)
COUCHE DE FONDATION EN GRAVE PROPRE BIEN GRADUEE
Terrain naturel
RAIL UIC 54
TRAVERSE BIBLOC VAX U 31 NAG
avec attache NABLA
BANQUETTE
BANQUETTE
Fossé
Distances à l'axe Projet (m)
Distances partielles Projet
Fichier : Dessin levé final Bir-Larch Azeddine BRAHIMI