République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة
فرنسـيس جانســون
École Nationale Supérieure des Travaux Publics
Francis Jeanson

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur

d'État Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Étude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique LAGHOUAT-GHARDAIA du PK 70+000 au PK 85+000 avec l'aménagement et la conception de la gare de BELLIL

Présenté par :
EL-BRAZZI Djilali
GADI Malak

Encadré par :
Mr. GOUMETTRE Ahmed
Mr. HAMADI Kamel

Promotion 2023 / 2024

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

مـــلخـــــص

تتعلق هذه المذكرة بدراسة تفصيلية أولية لما قبل المشروع (A.P.D) لجزء من خط السكة الحديدية الجديد الرابط بين الاغواط - غرداية (المقطع من Pk 70+000 إلى Pk 85+000)، مع تهيئة محطة بليل.
تم تحديد الخصائص التقنية الأنسب لخط السكة الحديدية المقترح على أساس التوصيات والممارسات المتبعة من قبل الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية (SNTF) ووفقًا لمعايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC).وقد تم تنفيذ النمذجة الهندسية للمشروع باستخدام برنامج COVADIS 16.0e.

RÉSUMÉ

Le présent projet consiste essentiellement à l'étude avant-projet détaillé (A.P.D) d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire Laghouat Ghardaïa (tronçon du Pk70+000 au Pk 85+000), avec aménagement de la gare de Bellil.
Les caractéristiques techniques les plus appropriées de la ligne ferroviaire proposée ont été déterminées sur la base des recommandations et des pratiques suivies par la Société Nationale de Transport Ferroviaire (SNTF) et conformément aux normes de l'Union Internationale des Chemins de Fer (UIC), la modélisation géométrique du projet a été réalisée à l'aide du logiciel COVADIS 16.0e.

SUMMARY

This project is mainly to study detailed design (ODA) of a section of the new railway line Laghouat- Ghardaïa (the section from Pk 70+000 to Pk 85+000), with development of the station Bellil.
The most appropriate technical characteristics of the proposed railway line were determined on the basis of the recommendations and practices followed by the National Railway Transport Company (SNTF), and in accordance with the standards of the International Union of Railways (UIC). Geometric modeling of the project was carried out using COVADIS 16.0e software.

REMERCÎMENTS :

Avant tout, nous exprimons notre gratitude envers Dieu pour le courage et la volonté qu'il nous a accordés pour mener à bien ce travail.

Nos remerciements vont à :

Mr GOUMETTRE et Mr HAMADI, qui ont accepté de superviser nos travaux et nous ont prodigué leurs conseils avisés.

À mes professeurs et enseignants qui ont partagé leurs connaissances et m'ont inspiré tout au long de mon parcours académique.

Au groupe de GCB pour leur soutien et leurs commentaires tout au long de la période de stage, en particulier à Mr DAHMANE Fares.

À Mr MORSLI et Mr RAHMANI, ainsi qu'à tout le personnel de l'ENSTP, pour leurs précieux conseils et leurs efforts, notamment Mme MAKOUDI et Mme BOURBIA.

À l’ensemble du personnel de SETIRAIL Algérie, en particulier à Mr LATER Brahim et à Mme MERIDJI Amina, pour leur accueil chaleureux et leur partage généreux de leur expérience professionnelle.

Mes sincères remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'évaluer notre travail et en le enrichissant de leurs suggestions.

Dédicace

Je dédie ce travail à mes très chers parents, dont le sacrifice, la disponibilité et le soutien inébranlable tout au long de mon parcours ont été une source inestimable de vie, d'amour et d'affection. Leur présence a été ma lumière dans les moments sombres et ma force dans les défis rencontrés.

À mon cher frère Mohamed Djamel et à mes sœurs Rawda, Khadidja, Marwa et Namira, je dédie ce travail avec une profonde gratitude pour leur soutien et leurs encouragements constants.

À mon binôme, ELBRAZZI Djilali, je souhaite un avenir rempli de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité. Notre collaboration a été un pilier essentiel de ce projet, et je suis reconnaissant pour notre partenariat.

À mes meilleurs amis Feriel, Naila, Houda.

GADI Malak

Je dédie ce travail :

À mes chers parents, je suis profondément reconnaissant pour tous les sacrifices consentis, l'amour indéfectible, la tendresse, le soutien inconditionnel et les prières qui m'ont accompagné tout au long de mon parcours académique.

À mes frères Fatah, Bilal, Ilyes, et à ma chère sœur Hanane, je vous adresse toute ma gratitude pour votre soutien constant et vos encouragements qui ont été une source d'inspiration précieuse pour moi.

A GADI Malak, mon binôme, je souhaite exprimer toute ma reconnaissance pour ta collaboration précieuse. Notre travail ensemble a été une expérience enrichissante et fructueuse. Merci d'avoir été un partenaire engagé dans la réussite de notre projet.

À Fetah et Abderraouf, mes amis de toujours.

ELBRAZZI Djilali

À notre encadreur et à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

À tous les collègues de la promotion 2024 de l’ENSTP.

ABRÉVIATION

INFRAFER : Entreprise publique économique de réalisation d'infrastructures ferroviaires.
ANESRIF : Agence Nationale d'Étude et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires.
SNTF : Société Nationale des Transports Ferroviaires.
CFA : La Compagnie des Chemins de Fer Algériens
SIF : société d'ingénierie et de réalisation d'infrastructures ferroviaires
SNERIF : société nationale chargée du renouvellement et de l'extension du réseau ferroviaire
UIC : Union Internationale des Chemins de fer.
RPOA : Règlement Parasismique des Ouvrages d'Art.
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
ONM : Office National de la Météorologie.
A.P.D : Avant-Projet Détaillé.
NPHE : Niveau des Plus Haut Eaux.
CRS : Ciment Résistant au Sulfates.
GPS : Géo - Positionnement par satellite.
IDF : Intensité - Durée – Fréquence.
Qps : Débit pleine section.
VPs : Vtesse pleine section.
H/V : Horizontal / Vertical.
VBS : Essai bleu de méthylène.
PU : Puit de reconnaissance.
SC : Sondage Carotté.
SPT : Essai de Pénétration Standard.
CW : Chemin de wilaya.
RN01 : Route Nationale.
B.V : Bâtiment Voyageurs.
ADV : Appareil De Voie.
GF : Garage Franc
Lu : Longueur Utile.
ERTMS : Européen Railways Traffic Management System.
PK : Point kilométrique.
TN : Terrain Naturel.
BV : Bassin versant.

TABLE DE MATIÈRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE……1

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS

Introduction……..…3

I.1 Définition du chemin de fer……..……..…3

I.2 Infrastructure ferroviaire……...…….4

I.2.1 La voie ferrée……..……....4

I.2.2 les ouvrages d'arts……..5

I.2.3 Les Systèmes de voies et les locaux……...5

I.3 La naissance de chemin de fer……...6

I.4 Le chemin de fer en Algérie……...8

I.4.1 Historique de chemin de fer en Algérie……..….8

I.4.2 Les organismes de chemin de fer en Algérie……..8

I.4.3 Réseaux ferroviaire ……9

I.5 Comparaison entre le transport routier et le transport ferroviaire……...11

I.6 Importance de chemin de fer……...11

Conclusion……12

CHAPITRE II : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction……...13

II.1 L'ensablement……....13

II.1.1 Définition de l'ensablement……13

II.1.2 les facteurs de l'ensablement……...13

II.1.2.1 Le vent……..13

II.1.2.2 Le sol……14

II.2 Impact de l'ensablement sur les infrastructures ferroviaires……..14

II.2.1 Accumulation de sable sur les voies……14

II.2.2 Pertes économiques……14

II.2.3 Réduction de la visibilité…….14

II.2.4 Obstruction des systèmes de drainage…….14

II.3 La dune……...15

II.4 Techniques de lutte contre l'ensablement……..15

II.4.1 Technique de la palissade……15

II.4.2 Fixation physico-chimique (Technique du MULCH)…….16

II.4.3 Fixation biologique……..17

Conclusion……18

CHAPITRE III : PRÉSENTATION DU PROJET

Introduction……..19

III.1 Présentation de la zone d'étude…….19

III.1.1 Situation géographique……..19

III.1.2 Relief…….20

III.1.3 Climat……20

III.1.4 Sismicité……20

III.2 Présentation du projet……...21

III.3 Objectif de Projet……..22

III.4 Les caractéristique de la ligne projetée…….23

Conclusion……23

CHAPITRE IV : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

Introduction……...24

IV.1 Les composantes de la voie……24

IV.1.1 Les rails……..24

IV.1.1.2 Le rôle des rails……...25

IV.1.1.3 Le type de rail utiliser dans notre projet…….25

IV.1.1.4 Assemblage des rails…….. 27

IV.1.2 Les traverses……. 27

IV.1.2.1 Traverses en bois…….27

IV.1.2.2 Traverses métalliques……..28

IV.1.2.3 Traverses en béton……...28

IV.1.2.4 Le rôle des travers……...29

IV.1.2.5 Le type des traverses utiliser dans notre projet……...29

IV.1.3 Les attaches……29

IV.1.3.1 Le rôle des attaches…….29

IV.1.3.2 Le type d'attaches utiliser dans notre projet……30

IV.1.4 L'appareil de voie…… 30

IV.1.4.1 Les appareils de voie utilisés dans notre projet……..31

Conclusion……32

CHAPITRE V : ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE

Introductions…….33

V.1 Tracé en plan……..33

V.1.1 Normes et paramètres de conception géométrique…….33

V.1.2 Conditions et règles à respecter dans le tracé en plan…….33

V.1.3 Définitions des éléments de tracé……35

V.1.4 caractéristiques géométriques…….36

V.1.5 Application sur le projet……..37

V.1.6 Les contraintes le long du tracé……39

V.2 Profil en long……..40

V.2.1 Les éléments de composition du profil en long……40

V.2.1.1 Les alignements droits……..40

V.2.1.2 Les cercles……41

V.2.2 Application sur le projet……..42

Conclusion……43

CHAPITRE VI : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

Introduction……..44

VI.1 Etude hydrologique……...44

VI.1.1 Description de la zone d'étude ……..44

VI.1.2 Caractéristiques climatiques……...45

VI.1.2.1 Températures……..45

VI.1.2.2 L'humidité……...46

VI.1.2.3 L'évaporation……..47

VI.1.2.4 Le vent……47

VI.1.2.4 Les précipitations……48

VI.1.3 Les caractéristiques morphologiques des bassins versants…….51

VI.1.4 Calcul de débit maximal dans les bassins (débit de crue)…….53

VI.1.4.1 Formule rationnelle…….……53

VI.1.4.2 Formule DE MALLET-GAUTHIER……..58

VI.1.5 Résultats de calcul des débits pour le présent projet…….…….59

VI.2 Etude hydraulique……60

VI.2.1 Dimensionnement des ouvrages transversaux…….…..60

VI.2.1.1 Dimensionnement des buses……...60

VI.2.1.2 Dimensionnement des dalots……..63

VI.2.1.3 Dimensionnement des ouvrages longitudinaux (fossés)……....66

Conclusion……70

CHAPITRE VII : ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

Introduction……...71

VII.1 Étude géologique……71

VII.1.1 Présentation de la zone d'étude……71

VII.1.2 Géologie locale……71

VII.1.3 Risques géologiques……73

VII.1.3.1 Sismicité……73

VII.1.3.2 Inondation……..73

VII.1.3.3 Ensablement……..74

VII.2 Étude géotechnique……75

VII.2.1 Programme d'investigation géotechnique……75

VII.2.1.1 Lot Tracé……...76

VII.2.1.2 Lot ouvrage……...77

VII.2.1.3 Résultats essais au laboratoire……...78

VII.2.2 Unités géotechniques……80

VII.2.3 Contraintes géotechniques……82

VII.2.3.1 Risque d'inondation……...82

VII.2.3.2 Risque de salinité (agressivité chimique du sol)……...82

VII.2.4 Réutilisation des matériaux des déblais……83

Conclusion……83

CHAPITRE VIII : ASSISE FERROVIAIRE

Introduction……...84

VIII.1 Les couches d'assise ferroviaire……84

VIII.1.1 Le ballast……84

VIII.1.2 Sous couche……85

VIII.1.3 La géotextile……86

VIII.1.4 La plate-forme……86

VIII.2 Classification des sols pour la plateforme……..86

VIII.3 La classe de portance de la plateforme……..86

VIII.4 Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise……..87

Conclusion……89

CHAPITRE IX : PROFIL EN TRAVERS

Introduction……..……90

IX.1 Profile en travers……...90

IX.2 Etablissement du profil en travers……90

IX.3 Le profils en travers du projet d'étude……..91

IX.4 Les Cubatures……...92

Conclusion ……...92

CHAPITRE X : TERRASSEMENTS ET OUVRAGES

Introduction……...93

X.1 Les terrassements……...93

X.1.1 Ouvrages en terre ……...94

X.1.1.1 Exigences environnementales des ouvrages en terre…… .94

X.1.1.2 Conditions de réalisation des remblais……95

X.1.1.3 Conditions d'excavation de déblai……95

X.1.2 La stabilité talus……...95

X.1.3 Tassement……96

X.1.4 Pentes et talus……..96

X.1.5 Compactage……96

X.2 Les ouvrages……..….97

X.2.1 Influence sur le choix du type d'ouvrage……97

X.2.2 Les ouvrages d'art du projet……97

X.2.2.1 Rétablissement routier……..97

X.2.2.2. Les ouvrages hydrauliques……..…98

X.2.2.3 Protection des fibres optique et les lignes de tension……..….99

Conclusion……....99

CHAPITRE XI : CONCEPTION ET AMÉNAGEMENT DE LA GARE

Introduction……100

XI.1 Type de gare……100

XI.2 Objet d'une gare ferroviaire……100

XI.3 Conditions de conception des gares……101

XI.4 Installations d'une gare a voyageur……101

XI.5 Garage franc……101

XI.6 La longueur utile d'une voie de stationnement……102

XI.7 Heurtoir……...102

XI.8 Les Quais……103

XI.9 Appareils de voie……104

XI.10 Application au projet……104

XI.11 Passage souterrain (PS)……106

XI.12 Assainissement de la gare……107

XI.12.1 Assainissement transversale……..107

XI.12.1 Assainissement longitudinal……...107

CHAPITRE XII : SIGNALISATION FERROVIAIRE

Introduction……108

XII.1 Objet de la signalisation ferroviaire……108

XII.2 Implantation des signaux en Algérie……..109

XII.3 Principe de signalisation ferroviaire……..109

XII.4 Les différents types de blocks……109

XII.5 Les principaux signaux ferroviaires et leur indication……110

XII.6 Système de contrôle et de protection ERTMS……112

XII.6.1 Les fonctions d'ERTMS……..113

XII.7 Application sur notre projet……113

Conclusion……..113

CHAPITRE XIII : ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Introduction……114

XIII.1 Délimitation de la zone d'étude……...114

XIII.2 Description de l'état initial de la zone d'étude……..114

XIII.2.1 Milieu physique……114

XIII.2.2 Milieu humain……115

XIII.2.3 Milieu biologique……..116

XIII.3 Les impacts positifs……..116

XIII.4 Identification et évaluation des impacts négatifs prévisibles avec les mesures d'atténuation……116

Conclusion……..119

CHAPITRE XIV : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

Introduction……120

XIV.1 devis estimatif et quantitatif……120

CHAPITRE XV : PLANIFICATION DE PROJET

Introduction……123

XV.1 Planification……..123

XV.1.1 Objectifs de la planification……...123

XV.2 Le diagramme de GANTT……123

XV.3 Application sur notre projet……..124

Conclusion générale……125

LISTE DES FIGURES

Figure N °I.01 : Chemin de fer……..……3

Figure N °I.02 : Infrastructure ferroviaire……...4

Figure N °I.03: Constituants de la voie ferrée……..4

Figure N °I.04 : Exemples des ouvrages d'art pont ferroviaire/tunnel……..5

Figure N °I.05 : Exemple de système de voie – signalisation/ passage à niveau……5

Figure N °I.06 : Exemple d'un dépôt / gare ferroviaire……...6

Figure N °I.07 : Dessin d'une barge sur le Nieuweramstel aux environs de 1700-1725……...6

Figure N °I.08 : George Stephenson et la locomotive Rocket……7

Figure N °I.09 : Image en couleurs d'un train de voyageurs du "Liverpool and Manchester Railway"

, remorqué par la locomotive à vapeur……7

Figure N °I.10 : Les entreprises ferroviaires en Algérie en 1976……8

Figure N °I.11 : Réseau ferroviaire national en exploitation à fin 2008……9

Figure N °I.12 : Réseau ferroviaire national en exploitation en juin 2011……9

Figure N °I.13 : Réseau ferroviaire algérien à l'horizon 2015……..10

Figure N°II.01 : Accumulation des sables sur les rails……..14

Figure N°II.02 : Exemple d'une dune……..15

Figure N°II.03 : Schémas de disposition des palissades de défilement (a) et d'arrêt (b)……16

Figure N°II.04 : Photo de palissade d'arrêt (a) et photo de palissade de défilement (b)……16

Figure N°II.05 : Epandage de dérivés de pétrole (bitume) pour protéger la voie ferrée contre l'ensablement (Biskra-Touggourt)……...17

Figure N°II.06 : Fixation biologique des sables……..18

Figure N°III.01 : Situation géographique de la zone d'étude……29

Figure N°III.02 : Carte de zonage sismique de l'Algérie (RPOA, 2008)……..21

Figure N°III.03 : Synoptique du tracé……22

Figure N°VI.01 : Rail type vignole……...24

Figure N°VI.02 : Barre de rails UIC 60……24

Figure N°VI.03 : Composants de la section transversale du rail……..24

Figure N°VI.04 : Rail UIC 60……...25

Figure N°VI.05 : Traverse en bois……...28

Figure N°VI.06 : Traverse en acier……28

Figure N°VI.07: Traverse en béton……29

Figure N°VI.08 : Traverse monobloc……..29

Figure N°VI.9 : Travers bi-bloc……...29

Figure N°VI.10 : Attache type Nabla…….30

Figure N°VI.11 : Branchement en deux…… …….30

Figure N°VI.12 : Traversée simple……..31

Figure N°VI.13 : Appareil de voie (UIC-60 500- 1 :12)…….31

Figure N°VI.14 : Appareil de voie (UIC-60 300- 1 :9)……...31

Figure N°V.14 : Les éléments de tracé en plan……36

Figure N°V.02 : La déclivité maximale admissible……41

Figure N°VI.01 : Situation géographique de la zone d'étude……44

Figure N°VI.015 : Carte bioclimatique de la wilaya de Laghouat……..45

Figure N°VI.03 : Températures moyennes mensuelles……..46

Figure N°VI.04 : Taux d'humidité relative et inconfort par rapport à la température……46

Figure N°VI.05 : l'évaporation moyenne mensuelle de Ghardaïa (1998 -2018)……..47

Figure N°VI.06 : Les vitesses moyennes mensuelles des vents de Laghouat (1998 -2018)……48

Figure N°VI.07 : Précipitations moyennes mensuelles de Laghouat (1998-2018)…… …..49

Figure N°VI.07 : Courbe intensité - durée – Fréquence (IDF)……50

Figure N°VI.09 : La délimitation des bassins versants sur les cartes d'état-major……51

Figure N°VI.10 : la carte géologique de la région de la wilaya Laghouat……....55

Figure N°VI.11 : Schéma d'un ouvrage busé……..60

Figure N°VI.12 : Schéma d'un ouvrage busé 1……...63

Figure N°VI.13 : Schéma d'un ouvrage busé 2……...63

Figure N°VI.14 : Schéma du fossé type 1……67

Figure N°VI.15 : Schéma du fossé type 2……67

Figure N°VI.16 : Schéma du fossé type 3……67

Figure N° VII.01: Coupe géologique interprétative de la région de Laghouat……..71

Figure N° VII.02 : Tracé projeté sur carte géologique d'Algérie 1/500 000……72

Figure N° VII.03 : Tronçon de PK 70+000 au PK 85+000 sur la Carte géologiques……..72

Figure N° VII.016: Carte de zonage sismique de l'Algérie (RPOA, 2008)……...73

Figure N°VIII.01 : Les composants de la structure d'assise……89

Figure N° IX.01 : Constituant d'un profil en travers……91

Figure N°X.01 : Les travaux de terrassement……94

Figure N°XI.01 : Garage franc……...102

Figure N°XI.02 : Heurtoirs…….102

Figure N°XI.03 : Eléments constitutifs d'un appareil de voie…….104

Figure N°XI.04 : Implantation de la gare de Bellil……..104

Figure N°XI.05 : Quai voyageurs……..105

Figure N°XII.01 : Le système de contrôle des trains ERTMS……112

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N °I.01 : Comparaison entre le transport routier et le transport ferroviaire……...11

Tableau N°III.01 : Situation géographique de la wilaya de Laghouat-Ghardaïa……...19

Tableau N°VI.01 : Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1…….26

Tableau N°V.01 : Définitions des éléments de tracé…….35

Tableau N° V.02 : Vitesse des trains maximale……..……36

Tableau N°V.03 : Paramètres géométriques de tracé en plan (SNTF)…….…….. 36

Tableau N°V.04 : Paramètre de la voi…….……37

Tableau N°V.05 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé……....38

Tableau N°V.06 : Liste des obstacles à franchir……39

Tableau N°V.07 : Longueur minimale des déclivités. ……. 41

Tableau N°V.08 : Valeurs de Rayon vertical minimale…….……42

Tableau N°V.9 : Paramètres géométriques de profil en long (SNTF)…….…42

Tableau N°VI.01 : Températures (°C.) moyennes mensuelles, des maximas et des minima pour les dix ans (1998-2018) wilaya de Laghouat…….…45

Tableau N°VI.02 : Humidité relative moyenne mensuelle de Laghouat (1998 -2018)……46

Tableau N°VI.03 : l'évaporation moyenne mensuelle de Ghardaïa (1998 -2018)……47

Tableau N°VI.04 : Les vitesses moyennes mensuelles des vents de Laghouat (1998 -2018…….. 47

Tableau N°VI.05 : Précipitations moyennes mensuelles de Laghouat (1998-2018)……48

Tableau N°VI.06 : Les pluies maximales journalières……...49

Tableau N°VI.07 : Valeur du paramètre de Montana pour les différentes périodes de retour…….50

Tableau N°VI.08 : Valeur des intensités pour les différentes périodes de retour……...50

Tableau N°VI.09 : Les caractéristiques morphologiques des bassins versants……...52

Tableau N°VI.10 : Valeurs de $C1$…….. 54

Tableau N°VI.11 : Valeurs de C_2…….....54

Tableau N°VI.12 : Valeurs de C_3…….55

Tableau N°VI.13 : Résultats de calcul des temps de concentration……..57

Tableau N°VI.14 : Les débits de crue retenus des Oueds pour une période de 100 ans…….59

Tableau N°VI.15 : Conditions d'auto-curage de l'ouvrage busé (BV N°02)……62

Tableau N°VI.16 : Liste globale des ouvrages busée à projeter……62

Tableau N°VI.17 : Conditions d'auto-curage de l'ouvrage dalot (BV N°07)……...65

Tableau N°VI.18 : Tableau récapitulatif des dimensions des dalots avec les vérifications des conditions d'auto-curage. ……...65

Tableau N°VI.19 : Liste globale des ouvrages projetés. ……..66

Tableau N°VI.20 : Le débit de saturation de chaque type de fossé……..68

Tableau N°VI.21 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai……69

Tableau N°VI.22 : Dimensionnement du fossé proposé……70

Tableau N°VII.01: Type d'essais de laboratoire réalisés……..76

Tableau N°VII.02 : Programme d'investigation de Lot tracé…….77

Tableau N°VII.03 : Programme d'investigation de Lot ouvrage…….77

Tableau N°VII.4 : Résumé des résultats des essais de laboratoire réalisés sur les échantillons des puits de reconnaissance……...78

Tableau N°VII.05: Résumé des résultats des essais de laboratoire réalisés sur les échantillons des sondages carottés. ……79

Tableau N°VII.06 : Interprétation des résultats du programme d'investigation géotechnique……80

Tableau N°VII.07 : Les différentes caractéristiques géotechniques du sol traversé par le projet selon les unités géotechniques ……81

Tableau N°VIII.01 : la classe la portance de la plate-forme (normes UIC 719R)……...87

Tableau N°VIII.02 : Dimensionnement de la couche d'assise……...88

Tableau N°VIII.03 : Épaisseurs des composants de la structure d'assise……89

Tableau N° IX.01 : Les cubatures des terrassements……92

Tableau N° IX.02 : Les cubatures des couches d'assise……92

Tableau N°X.01 : Liste des ouvrages d'art ……....98

Tableau N°X.02 : Liste des ouvrages ferroviaires……..98

Tableau N°X.03 : Protection des fibres optique et les lignes de tension ……99

Tableau N°XI.01 : Les longueurs utiles……106

Tableau N°XII.01 : Les risques ferroviaires……108

Tableau N°XII.02 : Signaux d'arrêt et signaux d'annonce……110

Tableau N°XII.03 : Signaux de limitation de vitesse……112

Tableau N°XII.04 : Signaux d'itinéraires de manœuvres ……...112

Tableau N°XIII.01 : Description du milieu physique de la région……114

Tableau N°XIII.02 : Description du milieu humain de la région……115

Tableau N°XIII.03 : Description du milieu biologique de la région……...116

Tableau N°XIII.04 : Identification des impacts négatifs avec les mesures d'atténuation……...……117

Tableau N° XIV.01 : Devis Quantitatif et Estimatif……...……120

INTRODUCTION GÉNÉRALE :

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

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

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

Dans le cadre des programmes nationaux de développement ferroviaire, le gouvernement envisage la création de nouvelles liaisons ferroviaires, dont fait partie la ligne reliant Laghouat à Ghardaïa sur une distance totale de 229 km. Notre sujet porte spécifiquement sur une étude en phase d'Avant-Projet Détaillé (APD) concernant un tronçon de 15 km de cette ligne, s'étendant du PK 70+000 au PK 85+000. En outre, une étude de conception d'une gare à Bellil est également prévue dans ce cadre.

Le présent travail est constitué de 15 chapitres portant :

Les chapitres I et II traitent des généralités sur le chemin de fer, ainsi que d'une recherche bibliographique sur notre projet de fin d'études.

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

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

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

Le chapitre X détaille les travaux de terrassement nécessaires ainsi que les ouvrages d'art à réaliser le long du tracé.

Le chapitre XI se concentre sur la conception et l'aménagement de la gare de Bellil.

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

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

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

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

CHAPITRE I :
GÉNÉRALITÉ

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS

Introduction :

Dans un monde en mutation rapide, où la concurrence dans tous les secteurs des transports est en constante évolution, les chemins de fer se trouvent à un tournant crucial de leur développement. En effet, ils sont en période de restructuration tant dans leur gestion que dans leur technologie. De nouvelles méthodes d'organisation sont introduites, tandis que de nouvelles lignes à grande vitesse voient le jour et que d'anciennes sont renouvelées.

Parallèlement à ces évolutions, le matériel roulant à confort élevé fait son entrée sur les rails, et des avancées significatives sont réalisées dans le domaine de la logistique et du transport combiné. La prise de conscience croissante des problèmes environnementaux, de la congestion des autoroutes et des aéroports, ainsi que la recherche constante de solutions pour accroître la sécurité, confèrent aux chemins de fer un nouveau rôle majeur dans le système de transport moderne.

En effet, le transport ferroviaire est reconnu comme étant l'un des moyens les plus sûrs et les plus performants pour se déplacer d'un point à un autre, que ce soit pour les voyageurs ou pour le transport de marchandises en grandes quantités. Sa capacité à fluidifier la circulation automobile est indéniable, et son existence séculaire atteste de sa fiabilité et de son importance historique dans l'évolution des systèmes de transport à travers les siècles. Ainsi, dans ce contexte de mutation et d'adaptation permanente, les chemins de fer continuent de jouer un rôle central dans la connectivité et la durabilité des réseaux de transport à l'échelle mondiale.

I.1 Définition du chemin de fer :

Le "chemin de fer" est un système de transport de masse terrestre. Les trains se déplacent grâce à leur propre énergie (traction diesel) ou à l'énergie transmise à distance (traction électrique) en utilisant des roues en acier sur une voie de guidage en acier définie par deux rails parallèles.

Le chemin de fer transporte des passagers et des marchandises. Sa capacité peut s'étendre pour couvrir n'importe quelle distance dans n'importe quel environnement (urbain, suburbain, périurbain, régional et interurbain). Son rayon d'action pour le transport de passagers est généralement adapté à environ 1 500 km, tandis que pour le fret, les distances peuvent être beaucoup plus grandes.



Figure N °I.01 : Chemin de fer

I.2 Infrastructure ferroviaire :

L'infrastructure ferroviaire est le socle sur lequel repose le réseau ferroviaire, offrant un support vital au fonctionnement efficace et sécurisé du transport ferroviaire. Ce terme englobe bien plus que les simples rails et traverses sur lesquels les trains circulent. Il inclut également une gamme d'ouvrages de génie civil conçus pour surmonter les obstacles naturels tels que les rivières, les montagnes et les zones urbaines. De plus, l'infrastructure ferroviaire intègre les systèmes et équipements essentiels à la gestion et à la régulation du trafic ferroviaire, assurant ainsi la coordination harmonieuse des trains sur le réseau.

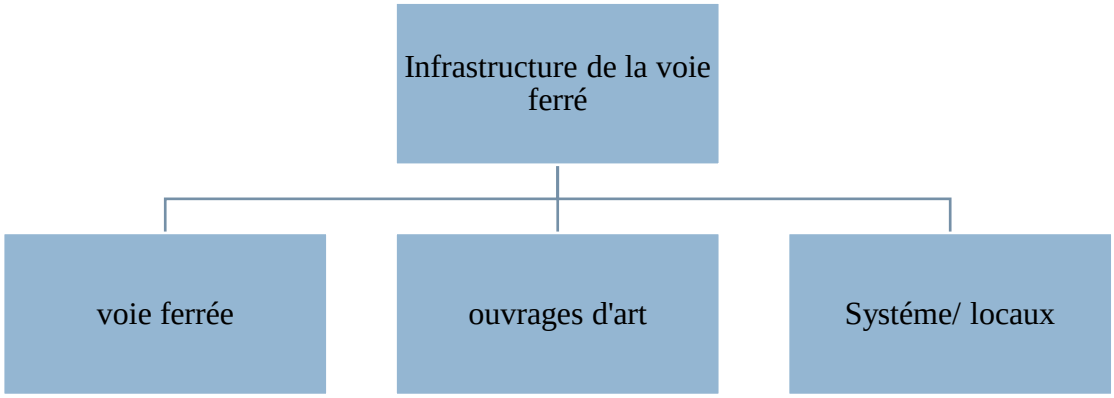


Figure N °I.02 : Infrastructure ferroviaire

I.2.1 La voie ferrée :

Une voie ferrée se compose de cinq éléments principaux : le rail, les traverses, les organes de fixation, le ballast et le soubassement. Les rails, constitués de tronçons en acier laminé, sont soudés ou boulonnés ou entre eux pour former la surface sur laquelle roulent les trains. Les traverses, généralement en bois ou en béton, sont des éléments transversaux auxquels les rails sont fixés. Elles assurent l'écartement correct et transmettent les charges au ballast.

Le ballast, constitué de pierres concassées, est étendu sur le soubassement pour stabiliser les rails. Le soubassement, habituellement composé de terre de bonne qualité, répartit le poids des rails et assure une base stable.

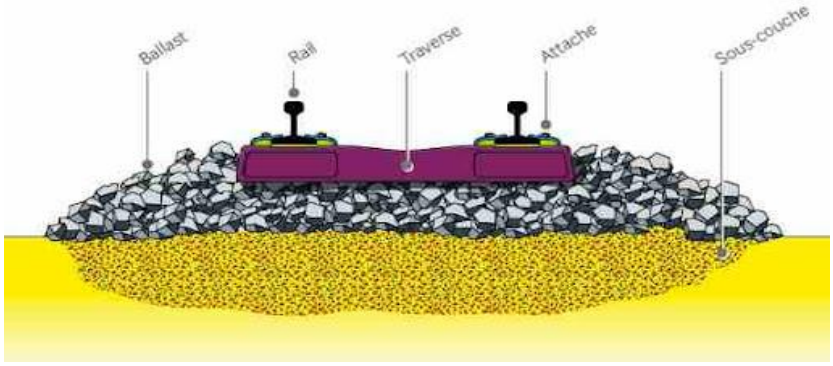


Figure N °I.03: Constituants de la voie ferrée

I.2.2 Les ouvrages d'arts :

Les ouvrages d'art comprennent les tunnels et les sections souterraines de la voie, les ponts, les passages supérieurs et inférieurs, les remblais et les déblais, les systèmes de drainage, les murs de soutènement, les galeries, les murs antibruit et les clôtures.



Figure N °I.04 : Exemples des ouvrages d'art pont ferroviaire/tunnel

I.2.3 Les Systèmes de voies et les locaux :

Les systèmes de lignes ferroviaires, incluant les passages à niveau, les systèmes d'électrification, de signalisation et de télécommunication, jouent un rôle crucial dans la sécurité et l'efficacité du réseau ferroviaire. Les passages à niveau assurent la sécurité des traversées routières, tandis que l'électrification permet l'utilisation de trains électriques, réduisant ainsi l'impact environnemental. Les systèmes de signalisation et de télécommunication garantissent la coordination des mouvements des trains, assurant un fonctionnement sûr et efficace du réseau.



Figure N °I.05 : Exemple de système de voie – signalisation/ passage à niveau

Parallèlement, les installations telles que les gares et les dépôts sont essentielles pour le bon fonctionnement du système ferroviaire. Les gares servent de points d'embarquement et de débarquement pour les passagers, tandis que les dépôts fournissent des services de maintenance et de stockage pour le matériel roulant. Ces éléments contribuent ensemble à assurer la fluidité et le succès continu du réseau ferroviaire.



Figure N °I.06: Exemple d'un dépôt / gare ferroviaire

I.3 La naissance de chemin de fer :

Il y a très longtemps, avant l'avènement du train en Belgique, les gens se déplaçaient principalement à pied. Les plus aisés pouvaient voyager à cheval, en calèche ou en prenant la malle-poste. Dès le seizième siècle, le coche d'eau introduit la première forme de transport public régulier. Ce bateau, tiré depuis la berge par un cheval, avançait à une vitesse de 3 ou 4 km/h mais était réputé pour sa ponctualité, le cocher respectant strictement les horaires sans attendre les retardataires. La plus ancienne activité connue de transport de passagers par coche d'eau en Belgique date de 1618, reliant Bruxelles à Anvers. Jusqu'à l'arrivée du chemin de fer, le coche d'eau restait le moyen de transport le plus confortable et régulier entre les villes et les villages reliés par des canaux. L'invention du train a révolutionné les déplacements avec des locomotives à vapeur atteignant des vitesses de 60 km/h au 19e siècle, une performance inédite à l'époque.



Figure N °I.07: Dessin d'une barge sur le Nieuweramstel aux environs de 1700-1725

Les deux composantes principales du chemin de fer - les voies et la locomotive - ont été développées durant la révolution industrielle (1750-1840). La toute première voie ferrée au monde, mise en service en 1825 au Royaume-Uni par l'ingénieur George Stephenson, reliait les villes de Stockton et Darlington. Sur cette ligne destinée au transport du charbon, les wagons étaient tirés par des locomotives à vapeur, tandis que le transport de passagers se faisait par traction hippomobile. En France, les premières lignes étaient également des chemins de fer à usage industriel, comme celles entre Saint-Etienne et Andrézieux, ainsi qu'entre Saint-Etienne et Lyon.

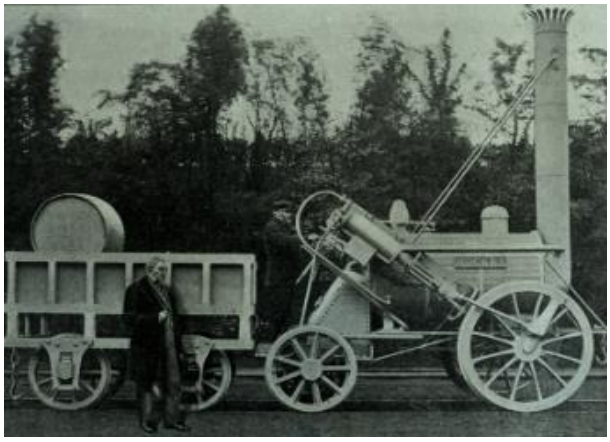


Figure N °I.08: George Stephenson et la locomotive Rocket

En 1830, la première ligne de chemin de fer dédiée au transport de voyageurs est inaugurée entre Manchester et Liverpool. Cette ligne à double voie, exclusivement utilisée par des locomotives à vapeur, a marqué le début du transport régulier de passagers.

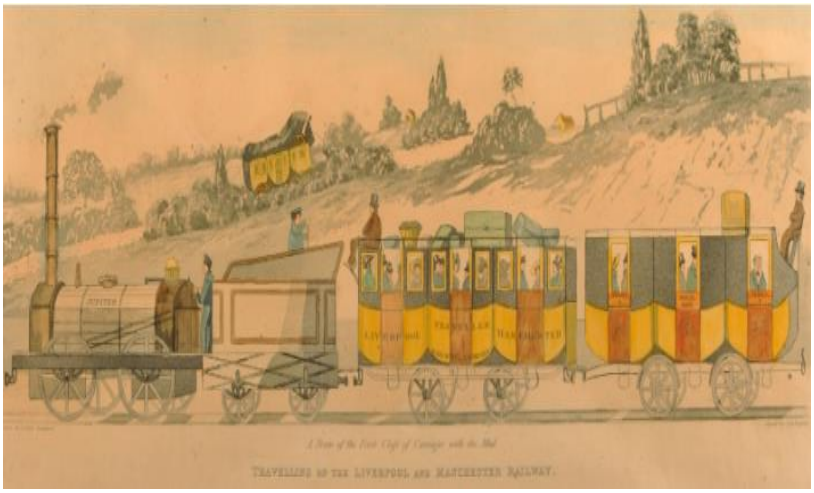


Figure N °I.09: Image en couleurs d'un train de voyageurs du "Liverpool and Manchester Railway" , remorqué par la locomotive à vapeur

I.4 Le chemin de fer en Algérie :

I.4.1 Historique de chemin de fer en Algérie :

L'histoire des chemins de fer en Algérie débute en 1857, lorsque Napoléon III et le Duc de Morny établissent le premier plan pour la construction de 1357 km de chemins de fer dans le pays, incluant une dorsale parallèle à la côte et une ligne entre Oran et Alger. La première ligne de chemin de fer en Algérie est réalisée en 1853 à Bône par la Société Civile des Mines et Hauts Fourneaux des Karezas.

La Compagnie des Chemins de Fer Algériens (CFA) est créée en 1860 et déclarée adjudicataire de la construction et de l'exploitation de la ligne d'Alger à Oran. La première ligne minière à voie métrique de 32,5 km est construite entre Bône et Aïn-Mokra en 1859. Au cours des années suivantes, le réseau s'étend progressivement, incluant des lignes à voie normale et à voie étroite, et atteint plus de 5 000 km au début de la Seconde Guerre mondiale.

I.4.2 Les organismes de chemin de fer en Algérie :

Les organismes de chemins de fer en Algérie ont connu plusieurs évolutions au fil du temps. En 1858, la Compagnie des Chemins de Fer Algériens (CFA) a été créée pour gérer le réseau ferroviaire à l'ouest d'Alger, tandis qu'une autre entité gérait le réseau à l'est d'Alger. En 1938, la Compagnie des Chemins de Fer en Algérie a été créée pour reprendre l'exploitation du réseau dans son ensemble. En 1959, la Société Nationale des Chemins de Fer en Algérie (SNCFA) a été instituée pour remplacer la CFA. Cette évolution a été marquée par des changements significatifs dans la gestion et l'exploitation du réseau ferroviaire en Algérie.

Le 31 Mars 1976, cette dernière a été restructurée en trois entreprises :

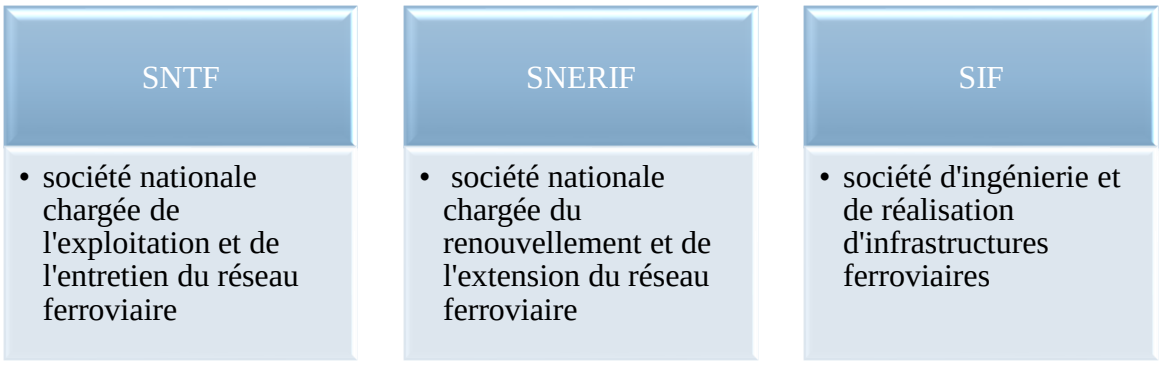


Figure N °I.10: Les entreprises ferroviaires en Algérie en 1976

Au cours des années 2000, de nouveaux organismes ont été créés en Algérie pour répondre aux besoins spécifiques du secteur ferroviaire, tels que l'ANESRIF (Agence Nationale d'Études et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires).

I.4.3 Réseaux ferroviaire Algérienne :

Le programme de développement du chemin de fer en Algérie a pour objectif de moderniser et d'élargir le réseau ferroviaire du pays, tout en renforçant ses performances opérationnelles et sa compétitivité dans le domaine des transports. Depuis 2009, des progrès significatifs ont été réalisés :

- La construction et la rénovation de 1 383 km de voies,
- La remise en service de 767 km de voies pour le transport de passagers,
- L'électrification de près de 400 km de voies.

Ces initiatives ont considérablement étendu le réseau ferroviaire algérien, passant de 1 769 km de lignes opérationnelles en 2008 à 3 919 km au premier trimestre 2011, comme le montrent les cartes ci-dessous :



Figure N °I.11 : Réseau ferroviaire national en exploitation à fin 2008



Figure N °I.12 : Réseau ferroviaire national en exploitation en juin 2011

Ce plan d'expansion et de modernisation du réseau ferroviaire a été accompagné par l'acquisition et la mise en service de :

- 64 trains électriques automoteurs pour desservir la banlieue d'Alger, avec une fréquentation quotidienne atteignant déjà 100 000 passagers,
- 17 autorails desservant principalement les lignes du Nord de l'Algérie,
- 30 locomotives diesel-électriques.

En parallèle de la finalisation des 1 551,5 km de nouvelles lignes ferroviaires actuellement en construction, il est également prévu la création de 5 900 km de nouvelles voies, y compris deux boucles ferroviaires dans le Sud-Est et le Sud-Ouest de l'Algérie. Cela permettra ultimement d'établir un réseau ferroviaire algérien interconnecté, comme le montre la carte ci-dessous :

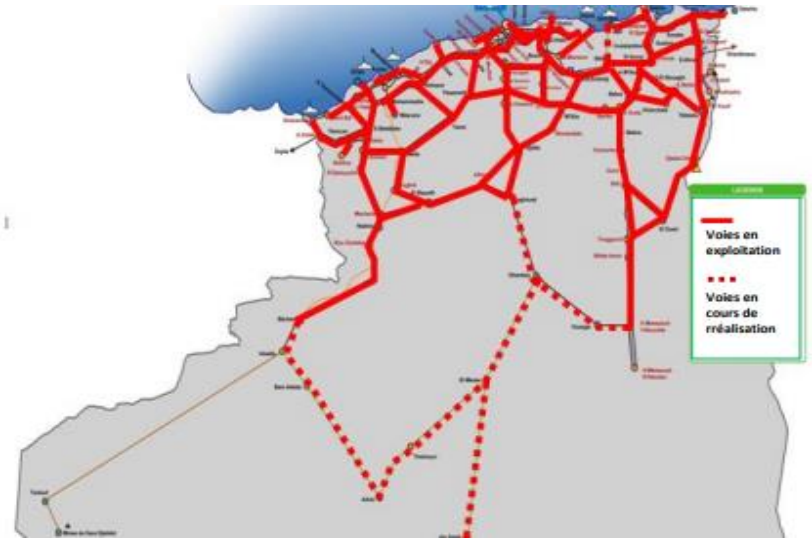


Figure N °I.13: Réseau ferroviaire algérien à l'horizon 2015

La longueur des lignes de chemin de fer en Algérie a connu un développement significatif entre 2023 et 2024. L'Algérie a investi activement dans l'expansion de son réseau ferroviaire. En 2023, plus de 700 km de lignes de chemin de fer ont été mises en service. De plus, l'Algérie a alloué 3,2 milliards de dollars à la construction de lignes de chemin de fer, visant à étendre la longueur totale de son réseau ferroviaire national à 15 000 km d'ici 2030, par rapport aux 4 722 km actuels. Cette expansion comprend des projets tels que le chemin de fer reliant Tindouf à Bechar, un corridor à double voie de 950 km en cours de construction par la China Railway Construction Corporation (CRCC) et la société algérienne COSIDER, prévu pour être achevé d'ici 2026. De plus, l'Algérie collabore avec la Chine pour développer un réseau ferroviaire qui desservira des zones désertiques reculées, renforçant l'activité économique et assurant la mobilité des citoyens.

I.5 Comparaison entre le transport routier et le transport ferroviaire :

Tableau N °I.01 : Comparaison entre le transport routier et le transport ferroviaire

Critères	Transport routièr	Transport ferroviaire
Infrastructure	Les routes	Les voies ferrées
Coût	Élevé	Moins élevé
Vitesse	Variable selon les conditions routières et la distance.	Généralement rapide
Sécurité	Taux d'accidents plus élevé	Moins d'accidents
Capacité	Limitée par la taille du véhicule	Peut transporter de grandes quantités en un seul trajet
Impact environnemental	Polluant, émissions de CO2	Peu polluant, utilisation de l'électricité comme source d'énergie
Dépendance aux conditions météorologiques	Impacté par les intempéries	Moins impacté par les intempéries
Durabilité des infrastructures	Nécessite un entretien fréquent des routes	Les voies ferrées peuvent être plus durables avec un entretien adéquat

I.6 Importance de chemin de fer :

Le transport ferroviaire exerce un impact considérable sur le développement économique, étant un complément essentiel aux autres modes de transport. Son caractère écologique, sa sécurité accrue, son efficacité énergétique et son harmonie avec l'environnement en font un pilier incontestable de l'aménagement du territoire et de la réduction de l'isolement des régions défavorisées. Par conséquent, il convient de lui accorder une priorité incontestable en matière de préservation, d'expansion et d'amélioration de ses performances.
Dans la concurrence entre différents modes de transport, le chemin de fer conserve de nombreux et significatifs avantages, notamment ceux liés à :

- La régularité et la ponctualité.
- La rapidité et le confort.
- La sécurité, etc.…

Il est également bien établi que le chemin de fer représente un moyen de transport économique et presque optimal pour le transport en masse et des charges lourdes. À titre d'exemple, un train transportant des céréales à pleine capacité équivaut à l'utilisation de 55 semi-remorques.
À cela s'ajoute la préoccupation de la préservation de l'environnement, en relation avec :

- A la congestion (routière/autoroutière),
- A la pollution (émission de CO2 à effet de serre),
- Aux dommages corporels et matériels (coûts économiques élevés des accidents de la route).

La congestion routière entraîne une augmentation de la consommation d'énergie, aggrave les impacts environnementaux et nuit à l'efficacité économique des systèmes de transport. À titre d'illustration, la répartition des émissions totales de CO2 en Europe en 1994 se présente comme suit, par sous-secteur de transport :

- Route : 79 %.
- Avion : 11 %.
- Chemin de Fer : 4 %.
- Autres moyens : 6 %.

En ce qui concerne l'utilisation du territoire, il est largement reconnu que les infrastructures de transport ont un impact permanent sur l'espace en raison des emprises qu'elles nécessitent. De plus, le transport de marchandises dangereuses, avec toutes les conséquences qu'il entraîne par voie routière et aérienne, trouve dans le transport ferroviaire un mode plus adapté.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exploré les composants essentiels des chemins de fer, notamment les éléments constitutifs de la voie et l'évolution historique de ce mode de transport. En se concentrant spécifiquement sur l'Algérie, il est clair que le pays a manifesté un engagement continu envers le développement de son réseau ferroviaire depuis son indépendance. À travers des initiatives telles que la modernisation des infrastructures existantes et la construction de nouvelles lignes, l'Algérie a réalisé des avancées significatives pour renforcer sa connectivité à l'échelle nationale et régionale. Ces efforts témoignent de l'importance accordée par le gouvernement algérien aux transports ferroviaires en tant que moteur clé du développement socio-économique, visant à améliorer la mobilité des citoyens et à stimuler la croissance économique du pays.

CHAPITRE II :

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE II : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Étant donné que le tronçon de la nouvelle desserte ferroviaire reliant Laghouat à Ghardaïa traverse une zone saharienne, nous avons consacré une partie de notre recherche bibliographique à l'ensablement et aux techniques de lutte à cette région.

Introduction :

L'ensablement, l'une des manifestations les plus frappantes de la désertification, affecte actuellement environ 1 333 775 km² en Algérie, soit environ 56% de sa superficie totale selon les estimations par imagerie satellite. Ce phénomène pose un défi majeur depuis des décennies, entraînant une allocation conséquente de ressources financières par le gouvernement algérien pour la mise en œuvre de divers programmes visant à lutter contre l'ensablement et la stabilisation des dunes. Cependant, des ajustements sont nécessaires pour améliorer l'efficacité des techniques employées.

La voie ferrée est l'un des domaines particulièrement influencés par le phénomène de l'ensablement en Algérie, les vastes étendues désertiques du pays rendent les lignes ferroviaires vulnérables aux tempêtes de sable et aux vents forts, entraînant le dépôt de sable et de poussière sur les rails et les infrastructures associées.

II.1 L'ensablement :

II.1.1 Définition de l'ensablement :

L'ensablement se produit lorsque les grains de sable, déplacés par les vents ou par les eaux, se regroupent dans des endroits spécifiques tels que les littoraux, les berges des cours d'eau ou même les terres agricoles, qu'elles soient cultivées ou non.

II.1.2 les facteurs de l'ensablement :

Les facteurs de l'ensablement sont principalement le vent et le sol.

II.1.2.1 Le vent :

Le vent est un facteur majeur contribuant à l'ensablement, car il est responsable du mouvement des particules de sable dans l'air. Lorsque la vitesse du vent atteint ou dépasse 6 mètres par seconde, il peut soulever des particules de sable et les transporter par un processus appelé saltation. La vitesse du vent est un facteur critique dans la détermination de la force du mouvement de sable, car des vents plus rapides augmentent la capacité de transport. La taille et la densité des particules de sable jouent également un rôle, les particules plus petites et plus légères étant transportées plus facilement que les particules plus grandes et plus denses.

Le vent peut transporter du sable sur de longues distances, ce qui conduit à la formation de dunes et d'autres formations de sable.

II.1.2.2 Le sol :

Le sol joue également un rôle important dans l'ensablement. Les sols desséchés durant une longue période, surtout présents dans les zones arides et semi-arides, sont propices à l'ensablement en raison de leur texture grossière, riche en sable fin, pauvre en argile et en matière organique, et dépourvus d'obstacles naturels ou artificiels. La couverture végétale est rare ou inexistante dans ces zones, ce qui facilite le transport et l'accumulation de sable.

II.2 Impact de l'ensablement sur les infrastructures ferroviaires :

II.2.1 Accumulation de sable sur les voies :

Les tempêtes de sable peuvent provoquer l'amoncellement de sable sur les rails des voies ferrées. Cette accumulation peut entraver la circulation des trains en obstruant les rails et en altérant la géométrie de la voie, rendant ainsi les déplacements difficiles, voire impossibles. De plus, le dépôt de sable peut réduire l'adhérence des roues des trains, augmentant ainsi le risque de déraillement.



Figure N°II.01 : Accumulation des sables sur les rails

II.2.2 Pertes économiques :

Les arrêts répétitifs des trains dus à l'ensablement peuvent causer des pertes financières aux entreprises ferroviaires en raison des retards et des coûts de maintenance supplémentaires

II.2.3 Réduction de la visibilité :

L'ensablement peut entraîner une diminution de la visibilité des signaux et des équipements le long des voies ferré, ce qui risque de compromettre la sécurité des opérations ferroviaires.

II.2.4 Obstruction des systèmes de drainage :

L'accumulation de sable le long des voies ferrées peut bloquer les systèmes de drainage, créant ainsi un risque d'inondations lors de précipitations abondantes. Ces inondations ont le potentiel d'endommager les voies et les structures environnantes.

II.3 La dune :

L'accumulation de sable est souvent intimement liée à la création et au mouvement des dunes.

Les dunes, des monticules de sable formés généralement près des plages ou dans les déserts, sont le résultat de l'action du vent. Leur caractéristique principale est leur texture fine et leur instabilité, car elles ont la capacité de se déplacer et de se remodeler au fil du temps.



Figure N°II.02 : Exemple d'une dune

Les caractéristiques des dunes varient selon plusieurs facteurs, notamment l'intensité et la direction des vents, la présence de végétation et le relief du terrain. On observe ainsi diverses configurations, parmi lesquelles les dunes en forme de demi-lune ou transversales, les dunes linéaires, les dunes en étoiles, les dunes en coupole et les dunes en parabole, qui sont les plus courantes.

II.4 Techniques de lutte contre l'ensablement :

Il existe plusieurs techniques de lutte contre l'ensablement :

II.4.1 Technique de la palissade :

La palissade est une barrière linéaire placée contre le vent dominant dans le but de ralentir sa vitesse et de permettre l'accumulation du sable en déplacement. Ce dépôt de sable conduit à la création d'une dune artificielle, marquant ainsi le début des mesures de prévention contre l'ensablement

En fonction de la position de la palissade par rapport à la direction du vent dominant, on distingue deux types de dunes artificielles :

- La dune d'arrêt, conçue pour stopper la progression du sable. Elle se forme à partir d'une palissade orientée perpendiculairement à la direction du vent le plus préjudiciable.
- La dune de défilement ou de diversion, utilisée pour dévier la progression du sable dans une direction différente de celle du vent dominant. Elle se forme à partir d'une palissade positionnée à un angle de 120 à 140 degrés par rapport à la direction moyenne du vent dominant.

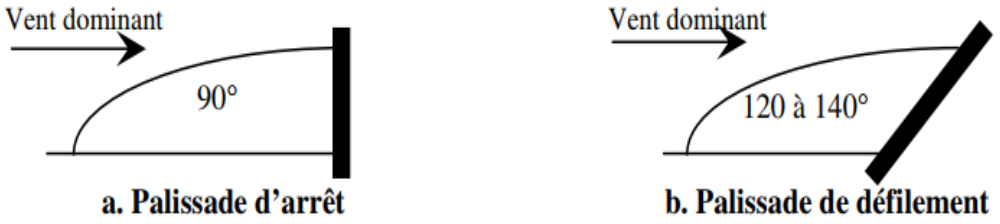


Figure N°II.03 : Schémas de disposition des palissades de défilement (a) et d'arrêt (b).

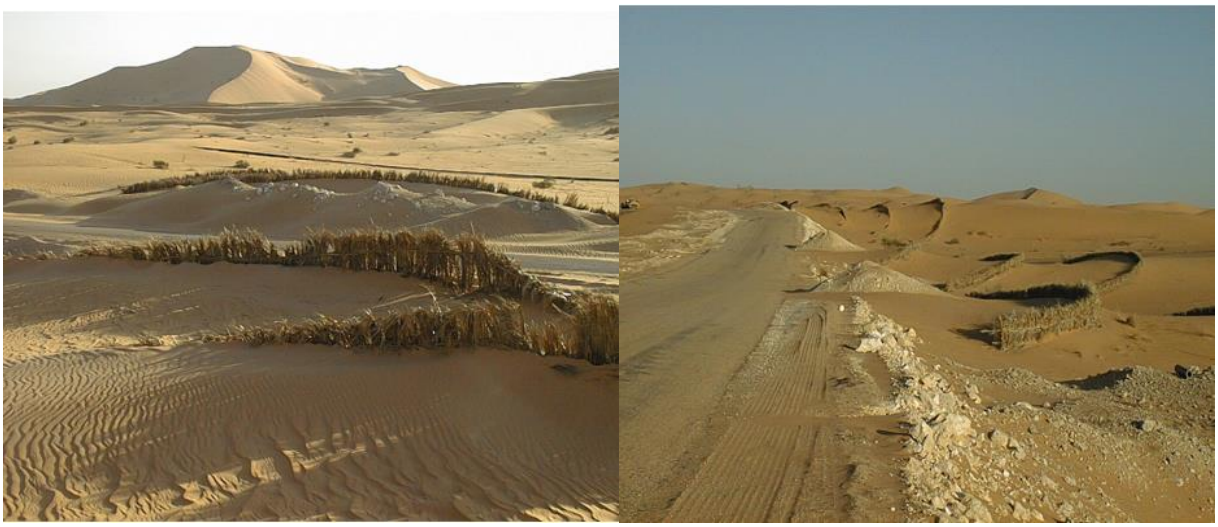


Figure N°II.04 : Photo de palissade d'arrêt (a) et photo de palissade de défilement (b)

II.4.2 Fixation physico-chimique (Technique du MULCH) :

Dans ce cas, l'objectif n'est plus de modifier la vitesse du vent, mais plutôt de protéger le sol ou d'accroître sa cohésion. Cette méthode implique de recouvrir le sable avec une couche protectrice aussi uniforme que possible pour éliminer l'effet du vent au niveau du sol et prévenir le phénomène de saltation. Les techniques employées à cet effet sont variées :

- Le paillage, qui utilise des résidus agricoles, des herbes ou des sous-produits de l'industrie agro-alimentaire.
- La couverture en terre, où des matériaux provenant des carrières sont étalés sur la dune.
- L'utilisation de matériaux synthétiques tels que des films plastiques ou des mèches acryliques.
- La pulvérisation d'huiles minérales telles que l'asphalte, les huiles lourdes ou les huiles brutes, ainsi que le latex.
- La stabilisation à l'aide de produits chimiques tels que les liants, l'Unisol 096, le Helsel 801, l'Agrofix 614 ou l'Hygromol.

Ces méthodes permettent une fixation temporaire des sables mobiles, dont la durée est déterminée par le temps de dégradation des éléments appliqués.



Figure N°II.05 : Epandage de dérivés de pétrole (bitume) pour protéger la voie ferrée contre l'ensablement (Biskra-Touggourt)

II.4.3 Fixation biologique :

La fixation biologique est un processus durable qui permet de stabiliser de manière permanente l'avancée du sable en installant une végétation pérenne. Pour ce faire, les espèces végétales doivent présenter les caractéristiques suivantes :

- Être adaptées aux conditions locales.
- Être robustes et tolérantes à la sécheresse.
- Être peu exigeantes en éléments nutritifs.
- Supporter de fortes variations de température entre le jour et la nuit.
- Résister aux vents violents, à l'érosion et à l'ensevelissement.
- Avoir des racines profondes.
- Avoir une croissance initiale rapide pour fixer et protéger le sol dans un laps de temps court.

La priorité est donnée à l'utilisation des espèces locales. Lorsque les conditions de la dune nécessitent des espèces capables à la fois de résister aux conditions difficiles et de stabiliser rapidement le sol, l'introduction d'espèces étrangères peut être envisagée. En plus de leurs avantages environnementaux, il est également recherché que ces espèces fournissent des avantages socio-économiques en fournissant des biens et des services aux populations locales.



Figure N°II.06 : Fixation biologique des sables

Conclusion :

En conclusion, l'ensablement en Algérie est un défi majeur qui affecte sérieusement les voies ferrées et a des conséquences importantes. Il est crucial d'étudier ce phénomène et ses impacts pour comprendre les risques encourus. Heureusement, plusieurs techniques de lutte sont disponibles, comme la palissade, le MULCH et la fixation biologique. En les mettant en œuvre de manière coordonnée, l'Algérie peut préserver ses infrastructures et promouvoir une gestion durable de ses écosystèmes. Il est donc urgent de passer à l'action pour assurer un avenir sûr et prospère.

CHAPITRE III :

PRÉSENTATION DU PROJET

CHAPITRE III : PRÉSENTATION DU PROJET

Introduction :

La construction du chemin de fer revêt une importance capitale pour diverses raisons. Tout d'abord, elle constitue une infrastructure vitale, favorisant la connectivité régionale et facilitant le transport efficace des personnes et des marchandises sur de longues distances, jouant ainsi un rôle crucial dans la promotion du transport durable.

Ainsi, notre projet de chemin de fer Laghouat-Ghardaïa est considéré comme l'un des éléments essentiels du développement économique et social, offrant des avantages durables à la fois sur le plan environnemental et socio-économique.

III.1 Présentation de la zone d'étude :

III.1.1 Situation géographique :

La zone d'étude est située au Nord du Sahara, au pied de l'Atlas Saharien à près de 330 km au Sud d'Alger. Géographiquement, cette zone marque la limite entre deux domaines différents l'Atlas saharien au Nord et la plateforme saharienne au Sud.

Le tracé traverse le territoire de deux Wilayas Laghouat et Ghardaïa :

Tableau N°III.01 : Situation géographique de la wilaya de Laghouat-Ghardaïa

Situation Géographique de Laghouat	Situation Géographique de Ghardaïa
Située au cœur du pays à 400 km au sud de la capitale Alger, la wilaya s'étend sur une superficie de 25 000 km² et compte 484 252 habitants, elle est limitée : - Au nord par la wilaya de Tiaret - A l'est par la Wilaya de Djelfa - Au sud par la Wilaya de Ghardaïa - A L'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh.	La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord du Sahara algérien. A environ 600 Km au sud de la capitale du pays Alger. La wilaya de Ghardaïa couvre une superficie de 86.560 km^2 et compte 396.452 habitants, elle est limitée : - Au Nord par la Wilaya de Laghouat. - Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa. - À l'Est par la Wilaya d'Ouargla. - Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset. - Au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar. - À l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh.

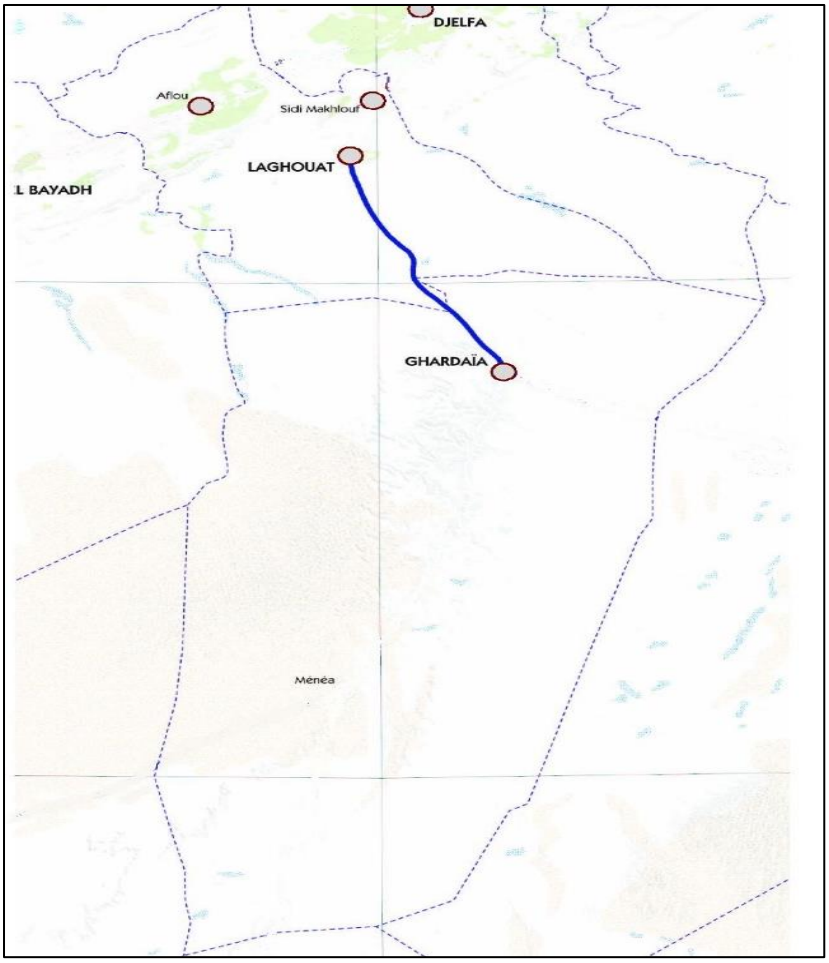


Figure N°III.01 : Situation géographique de la zone d'étude

III.1.2 Relief :

La zone d'étude est répartie sur deux domaines naturels distincts : l'Atlas Saharien au Nord et la Dorsale du M'zab au Sud. Le terrain de cette région est relativement plat, bien que des remblais de 2 à 6 mètres de hauteur soient présents par rapport au niveau du terrain naturel.

III.1.3 Climat :

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

III.1.4 Sismicité :

D'après les règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art (RPOA, 2008) le territoire national est subdivisé en cinq (05) zones de sismicité croissante, définies ci-dessous (fig.2) :

Zone 0 : sismicité négligeable.

Zone I : Sismicité faible.

Zone IIa : Sismicité moyenne.

Zone IIb : Sismicité élevée.

Zone III : Sismicité très élevée.

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

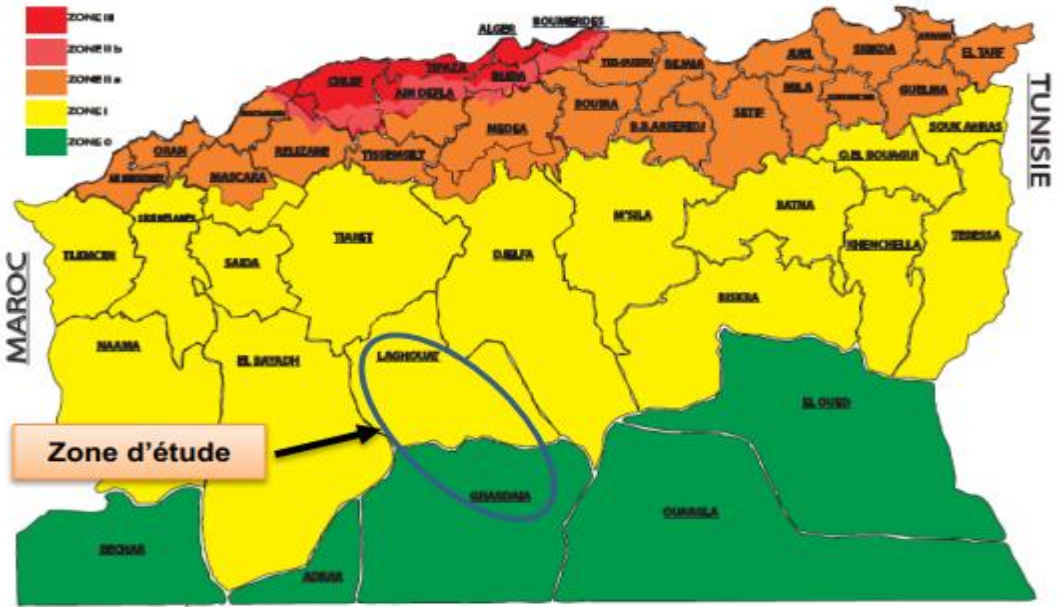


Figure N°III.02 : Carte de zonage sismique de l'Algérie (RPOA, 2008)

III.2 Présentation du projet :

Dans le cadre de son programme pour le développement des transports ferroviaires inscrit au plan quinquennal du secteur du transport algérien, l'ANESRIF restructure le réseau ferroviaire national qui permettra, l'extension, le maillage et l'interconnexion des nouvelles lignes avec les lignes existantes, le désenclavement des régions du Sud du pays.

Ce plan de développement intègre la construction d'une nouvelle ligne mixte (voyageurs et marchandises) électrifiée entre Laghouat et Ghardaïa qui fait partie intégrante du méga projet Boucle Sud Est, reliant les pénétrantes ferroviaires El Cheffa-Laghouat à El Gourzi-Hassi Messaoud.

La ligne Laghouat-Ghardaïa desservant les villes de Laghouat, Belil, Berriane, Oued N'chou, Metlili et Hassi R'mel, d'une longueur d'environ (230) km pour une vitesse d'exploitation à 220Km/h avec un bypass de 36 km.

Le projet a été sélectionné en deux tronçons :

- Tronçon 01 : Laghouat / Hassi R'mel du PK 0+000 au PK 90+000 avec le Bypass1
- Tronçon 02 : Hassi R'mel / Ghardaïa du PK 90+000 au PK 228+553 avec le Bypass2

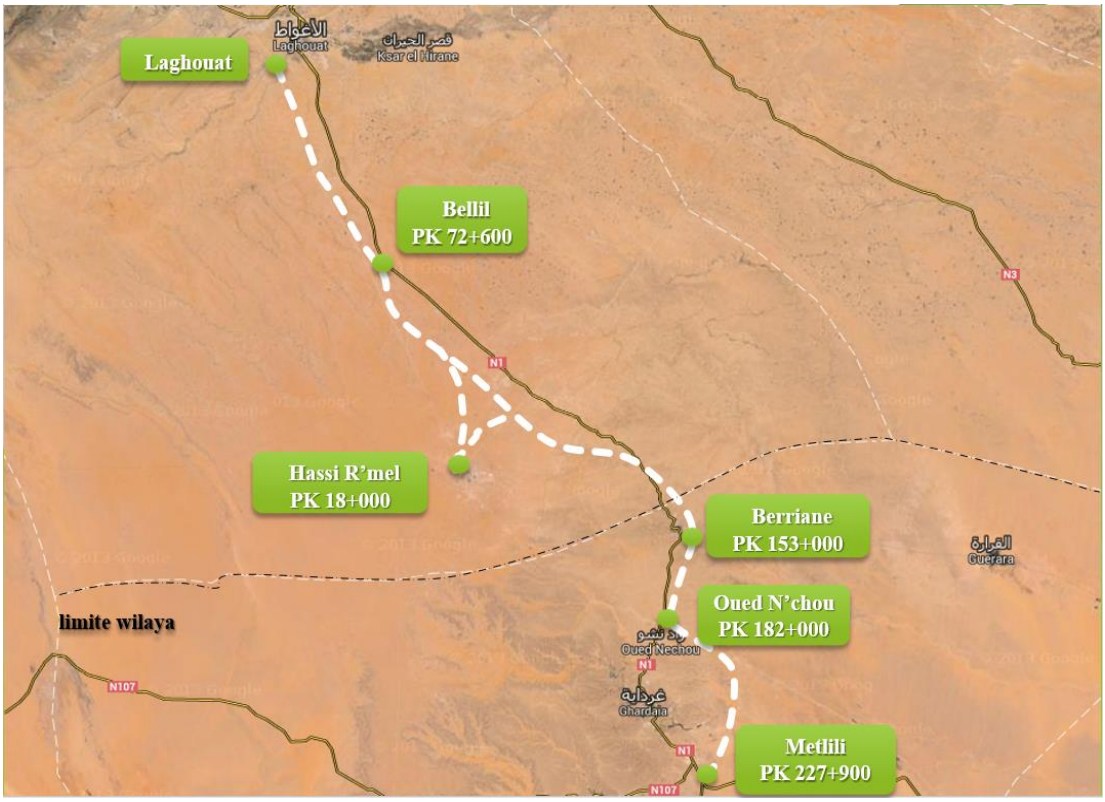


Figure N°III.03 : Synoptique du tracé

Le présent projet a pour objet l'étude d'APD (Avant-projet détaillé) de la nouvelle ligne ferroviaire Laghouat Ghardaïa entre les points kilométriques Pk 70+000 jusqu'à Pk 85+000, incluant la conception de la gare de Bellil.

III.3 Objectif de Projet :

L'objectif principal d'un ce projet est de moderniser et d'optimiser les infrastructures ferroviaires pour répondre aux besoins croissants de transport efficace et durable. Cela impliquerait l'amélioration des conditions d'exploitation, notamment en augmentant les performances du chemin de fer pour assurer une meilleure connectivité entre les différentes régions. Relier les villes au réseau ferré vise à étendre les possibilités de déplacement pour les voyageurs et le transport de marchandises. En parallèle, l'amélioration de la fiabilité des services et des performances du chemin de fer est essentielle pour garantir un service efficace et ponctuel. La diminution du temps de parcours contribuerait à rendre le transport ferroviaire plus attractif et compétitif par rapport aux autres modes de transport. Enfin, l'élévation du niveau de sécurité est un impératif absolu pour assurer la sûreté des passagers et du fret. Ainsi, le projet ferroviaire vise à créer un système de transport robuste, rapide, fiable et sécurisé, contribuant ainsi au développement socio-économique durable des régions desservies.

III.4 Les caractéristique de la ligne projetée :

- Ligne à voie unique.
- Longueur 15 Km.
- Caractéristiques géométriques selon SNTF et les standards UIC.
- Vitesse de conception de la ligne : Voyageurs : 220 km/h, Marchandises : 100km/h.
- Ecartement standard (1435mm en alignement).
- Entre axes: 4,20m.
- Ouvrage d'art prévu pour double voie.
- Charge à l'essieu:
  - Infrastructure : 22.5T.
  - Ouvrage d'art : 25.0T.
- Gabarit d'obstacle : UIC (y compris caténaire en 25Kv).
- Voie équipée de rails UIC 60 posés sur traverses en béton armé.
- Mode de traction : diesel / électrique.
- Signalisation de type ERTMS.
- Télétransmissions de type GSM-R et fibre optique.
- Electrification en 25Kv/50Hz.
- Aucun passage à niveau sur la ligne.
- Largeur de la plateforme : 8m.
- Logiciel a utilisé dans l'étude « COVADIS 2016 ».
- Profil de la voie:
  Rampes et pentes max en pleine voie : Maximale 16‰, Souhaitable 12‰ au niveau des gares : 0‰.

Conclusion :

En considérant les objectifs de notre projet et la géographie reliant Laghouat à Ghardaïa, ce projet prend une place cruciale parmi les initiatives ferroviaires, contribuant ainsi à l'expansion du réseau national. De plus, il stimule l'investissement industriel dans la région sud-est du pays.

CHAPITRE IV : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

CHAPITRE IV : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

Introduction :

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

IV.1 Les composantes de la voie :

IV.1.1 Les rails :

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



Figure N°VI.01 : Rail type vignole



Figure N°VI.02 : Barre de rails UIC 60

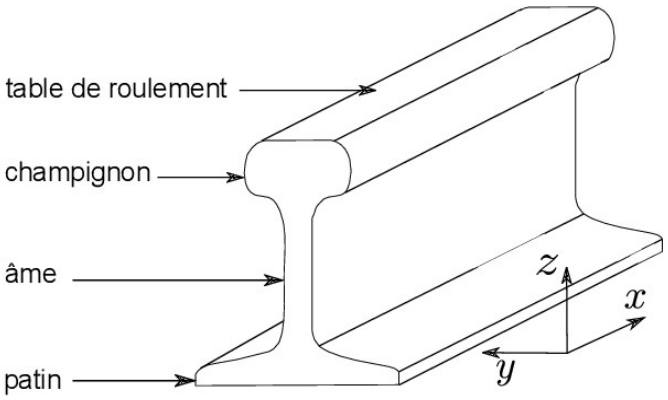


Figure N°VI.03 : Composants de la section transversale du rail

IV.1.1.2 Le rôle des rails :

Le rôle du rail dans les transports est multiple :

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

IV.1.1.3 Le type de rail utiliser dans notre projet :

❖ Dans le projet Laghouat-Ghardaïa le type de rail utilisé est le Vignole UIC 60 E1.

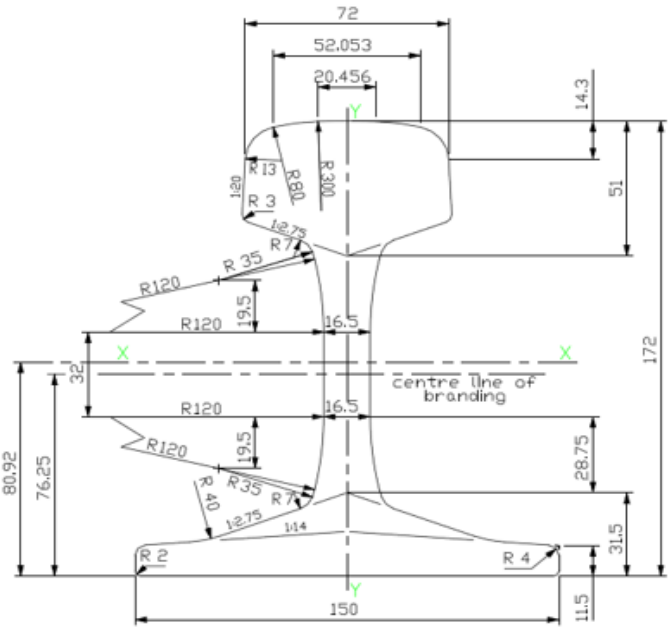


Figure N°VI.04 : Rail UIC 60

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

Tableau N°VI.01 : Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1

Caractéristique	Valeur
Masse	60.21 kg/ml
Surface de la section	76.7 cm^2
Hauteur du rail	172 mm
Largeur du patin	150 mm
Largeur du champignon	72 mm
Moment d'inertie (axe x-x)	3038.3 cm^4
Moment d'inertie (axe y-y)	512.3 cm^4
Allongement	$R \geq 10\%$
Résistance à la traction	$R \geq 880$ N/mm^2
Dureté au milieu de la table de roulement	260-300 HBW
Épaisseur âme	16.5 mm
Dimension indicative B	52.053 mm
Dressage	Classe A
Nuance	260 (carbone-manganèse)

IV.1.1.4 Assemblage des rails :

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

- **Eclisse:**

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

- **Soudures:**

Il existe deux types de soudures :

- La soudure électrique, utilisée soit en atelier soit sur le site, permettant de souder de longues barres.
- La soudure aluminothermique, effectuée sur la voie, par une réaction chimique très exothermique, sur une charge de métal d'apport**.**

Le type des soudures utiliser dans notre projet :

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

IV.1.2 Les traverses :

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

Trois types de traverses sont utilisés :

IV.1.2.1 Traverses en bois :

Les traverses en bois les plus anciennes avaient une durée de vie très courte, mais grâce à un traitement spécialisé, leur longévité a été prolongée. Cependant, leur utilisation est rare aujourd'hui en raison de leur résistance insuffisante aux contraintes dynamiques générées par les trains à grande vitesse.



Figure N°VI.05 : Traverse en bois

IV.1.2.2 Traverses métalliques :

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



Figure N°VI.06 : Traverse en acier

IV.1.2.3 Traverses en béton :

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

Les deux types de traverse utilisés sont :

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


Figure N°VI.07 : Traverse en béton


Figure N°VI.08 : Traverse monobloc


Figure N°VI.09 : Travers bi-bloc

IV.1.2.4 Le rôle des travers :

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

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

IV.1.2.5 Le type des traverses utiliser dans notre projet :

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

IV.1.3 Les attaches :

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

IV.1.3.1 Le rôle des attaches :

Le rôle des attaches est crucial pour assurer la sécurité et la stabilité du rail sur les traverses, garantissant ainsi le bon déroulement des opérations ferroviaires. En absorbant et en répartissant efficacement la pression, elles préviennent les contraintes excessives sur le rail et la traverse, ce qui prolonge leur durée de vie et réduit les besoins en maintenance. En outre, ces attaches contribuent à réduire les niveaux de vibration et de bruit, améliorant le confort des passagers et des riverains. De plus, elles fournissent une isolation électrique, évitant toute interférence du rail avec les systèmes de signalisation et de télécommunication.

IV.1.3.2 Le type d'attaches utiliser dans notre projet :

Attaches élastiques de type NABLA.



Figure N°VI.10 : Attache type Nabla

IV.1.4 L'appareil de voie :

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

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

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

- Le branchement simple.
- Le croisement ou traversée simple.
- La traversée jonction (simple ou double), qui est une combinaison des deux derniers.



Figure N°VI.11: Branchement en deux

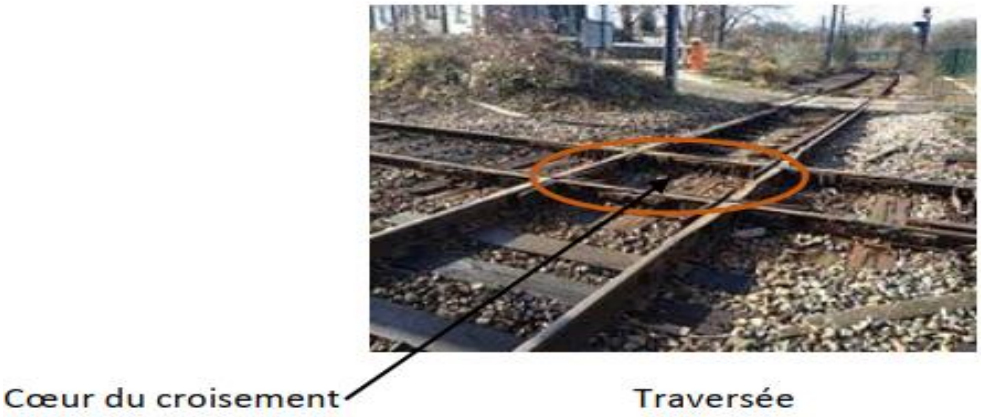


Figure N°VI.12: Traversée simple

IV.1.4.1 Les appareils de voie utilisés dans notre projet :

- UIC-60 500- 1 :12 avec une vitesse de 60 km/h.

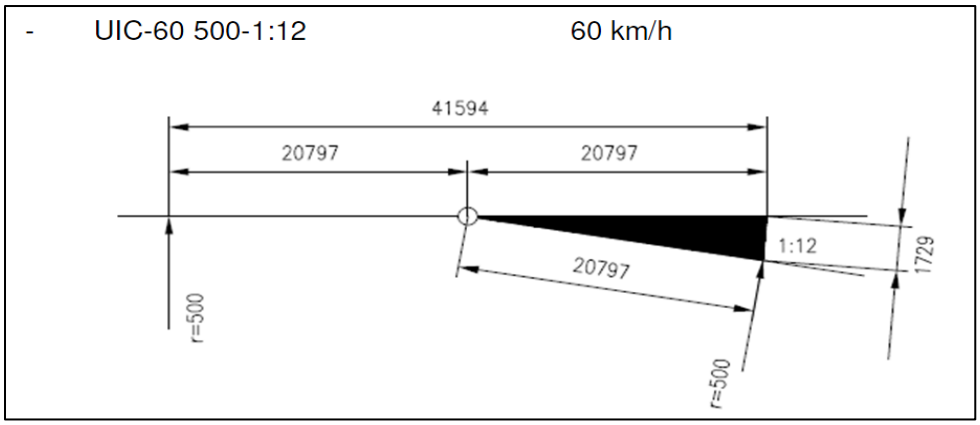


Figure N°VI.13 : Appareil de voie (UIC-60 500- 1 :12)

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

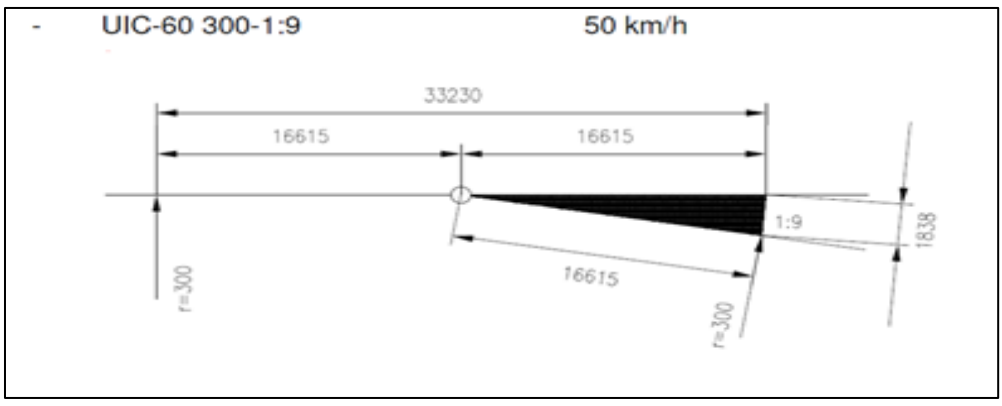


Figure N°VI.14 : Appareil de voie (UIC-60 300- 1 :9)

Conclusion :

La superstructure de la voie ferrée joue un rôle essentiel dans chaque réseau ferroviaire en garantissant la stabilité, la sécurité et l'efficacité des opérations. Elle est constituée de rails, de traverses, d'attaches et d'appareils de voie, et assure le support nécessaire au passage des trains tout en maintenant la géométrie correcte de la voie.

CHAPITRE V :
ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE

CHAPITRE V : ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE

Introductions :

L'étude géométrique du tracé de la voie ferrée est une démarche scientifique et technique essentielle pour optimiser le roulement des trains. Elle analyse des paramètres clés tels que les courbes, les pentes et les dénivelés pour concevoir un tracé qui minimise les forces centrifuges et maintient une vitesse constante. Des considérations comme l'espacement entre les voies, la largeur des plateformes et la position des aiguillages sont également intégrées pour assurer une circulation fluide et sécurisée des trains.

Basée sur des normes spécifiques, notamment celles de la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF), cette étude vise à trouver le tracé le plus économique tout en respectant les exigences des normes internationales. Elle combine sécurité, efficacité et durabilité pour répondre aux défis du transport ferroviaire moderne.

V.1 Tracé en plan :

Le tracé en plan d'une voie ferrée se compose de segments linéaires et de segments en courbe circulaire, qui nécessitent généralement l'insertion de courbes de raccordement pour assurer une transition en douceur entre les tronçons. Ces courbes de raccordement présentent une courbure progressive permettant d'atténuer les impacts et les secousses.

Le tracé en plan représente la projection de l'axe de la voie sur un plan horizontal. Il est principalement défini par deux vitesses :

- La vitesse des trains voyageurs (Vv, vitesse rapide)
- La vitesse des trains de marchandises (Vm, vitesse lente).

V.1.1 Normes et paramètres de conception géométrique :

Dans notre projet, la ligne est planifiée pour être une Ligne à Grande Vitesse (LGV) sur voie normale, respectant les spécifications géométriques définies par les normes techniques ferroviaires de l'UIC et les directives de la SNTF.

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

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

- S'adapter aux territoires traversés en ajustant le tracé au relief existant (topographie).
- Éviter autant que possible le franchissement des oueds et des routes pour minimiser la nécessité de construire des ouvrages d'art.
- Éviter de traverser les terrains agricoles, les zones forestières et les propriétés privées.

- Adapter le tracé en plan au terrain naturel en suivant les courbes de niveau pour réduire les volumes de terrassement.
- Utiliser le plus possible des alignements droits et respecter la longueur minimale requise.
- Éviter les zones de grande importance, telles que les centrales à gaz et les transformateurs électriques.
- Éviter les sites présentant des problèmes géologiques.
- Assurer la sécurité et le confort des usagers.
- Minimiser les problèmes liés aux talus :
  - ✓ Pour les talus en déblai, prendre en compte la présence de nappes, de roches fissurées ou de terrains plastiques.
  - ✓ Pour les talus en remblais, éviter les terrains instables et les sols compressibles.

V.1.3 Définitions des éléments de tracé :

Tableau N°V.01 : Définitions des éléments de tracé

Elément de tracé	Définition	Application
Dévers théorique (Dth)	Lorsque la vitesse d'un véhicule empruntant une courbe est telle que la résultante du poids du véhicule et de la force centrifuge est perpendiculaire au plan de roulement, l'action de l'accélération transversale est entièrement compensée. Pour obtenir ces conditions, il est nécessaire de surélever la file du rail de grand rayon par rapport au niveau de l'autre, d'une valeur appropriée. Cette valeur appelée dévers théorique (Devers d'équilibre).	$d_{th} = \frac{11.8V^2}{R}$ (mm)
Dévers prescrit (pratique)	Le dévers réel est normalement limité à une valeur inférieure à la valeur théorique ce qui donne une insuffisance de dévers pour les trains les plus rapide, et un excès de dévers pour les trains lents. C'est pour cela qu'on prévoit un dévers moyen (dévers normal) qui tient compte des grandes vitesses ainsi que des vitesses réduites. Sa valeur est comprise entre celle des trains rapides et celle des trains lents.	d_p=1000× $\frac{C}{R}$ (mm) C **:** coefficient de dévers
Coefficient de dévers (C)	La création d'une ligne, le respect d'un coefficient de dévers commun a toutes les courbes conduit a avoir un rapport constant entre courbure et insuffisance de devers. La prise en compte de cette disposition constitue un facteur de confort	C=0,006×V^2
Insuffisance de dévers (I)	Lorsque la vitesse d'un véhicule empruntant une courbe est plus élevée que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers pratique, ce véhicule est soumis à une force centrifuge non compensé. Le dévers de la voie est donc insuffisant et la résultante des forces se déplace vers l'extérieur de la courbe. On appelle insuffisance de dévers (Exprimé en mm) la différence entre le dévers théorique des trains rapide et le dévers pratique.	I= $d_{th} - d_p$ (mm)
Excès de dévers (E)	Lorsque la vitesse d'un véhicule en courbe est plus faible que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers pratique, ce véhicule est soumis à une force centripète non compensé. Le dévers de la voie est donc excessif et la résultante des forces se déplace vers l'intérieure de la courbe. On appelle excès de dévers (exprimé en mm) la différence entre le dévers pratique et le dévers théorique des trains lents. Elle est donnée par	E = $d_p - d_{th}$ (mm)
La clothoïde	Une clothoïde est une courbe utilisée pour assurer une transition en douceur entre une ligne droite et une courbe circulaire. Sa courbure augmente linéairement avec la longueur, permettant de réduire les forces centrifuges et d'améliorer le confort et la sécurité des véhicules et des trains.	$Lrp = \frac{dp}{\frac{dd}{dl}}$ Lrp : La longueur de clothoïde

V.1.4 Caractéristiques géométriques :

Comme mentionné précédemment, le tracé en plan se compose d'une série d'alignements droits reliés entre eux par des arcs et des courbes de raccordement.



Figure N° V.1:Les éléments de tracé en plan.

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

Tableau N° V.02 : Vitesse des trains maximale.

Vitesse voyageurs V_V	**220 Km**
Vitesse marchandises V_m	**100 Km**

Tableau N°V.03 : Paramètres géométriques de tracé en plan (SNTF).

		D_{max} (mm)	L_{min} (m)	I_{max} (mm)	E_{max} (mm)	R_{min} (m)	$({dd}/{dl})_{max}$ (mm/m)	$({dI}/{dt})_{max}$ (mm/s)
Formule	**Normal**	-	$\frac{V_{max}}{2}$	-	-	$\frac{11.8 \times V_{max}^2}{D_{max} + I_{max}}$	$\frac{180}{V_{max}}$	-
	Exceptionnel	-	$\frac{V_{max}}{3}$	-	-	$\frac{11.8 \times V_{max}^2}{D_{max} + I_{max}}$	$\frac{216}{V_{max}}$	-
Application	**Normal**	**160**	**110**	**150**	**110**	**1842**	**0.82**	**75**
	Exceptionnel	**180**	**73**	**160**	**130**	**1680**	**0.98**	**90**

Avec :

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

- $(dI/dt)_{max}$: La limite de la variation d'insuffisance de divers par rapport au temps.

V.1.5 Application sur le projet :

Notre projet reliant Laghouat à Ghardaïa s'étend du PK 70+000 au PK 85+000, couvrant une distance de 15 km. Le tracé commence par une section rectiligne et se termine par une courbe de rayon de 2 000 m. Sur une longueur totale de 15 000 mètres, le tracé comporte quatre courbes horizontales, dont les rayons varient entre 2 000 m et 3 700 m.

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

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

❖ Paramètre de la voie :

Tableau N°V.04 : Paramètre de la voie

Vmax (km/h)	V min (km/h)	Emax (mm)	Imax (mm)	dpmax (mm)	R (m)
220	100	110	150	160	3000

❖ **Dévers théorique :** $d_{th} = \frac{11{,}8 \times Vmax^2}{R} = \frac{11{,}8 \times 220^2}{3000} = 190.37mm$

❖ **Le coefficient de dévers :** $C = 0{,}006 \times Vmax^2 = 0{,}006 \times 220^2 = 290.4$

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

Alors dans ce cas en prend C= 300

$0{,}5 < \frac{C}{0{,}0118 \times V^2} < 0{,}7 \ldots$ **(∗)** ⟹ $0{,}5 < \frac{C}{0{,}0118 \times 220^2} < 0{,}7$ ⟹ 0 ,5<0,53<0,7 **vérifier**

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

On prend**:** $dp = 110$ mm

❖ **Insuffisance de dévers** : $I = d_{th} - d_p$ = 190,37 – 110 = 80,37mm

❖ **Excès de dévers :** $E = d_p - \frac{11{,}8 \times Vmin^2}{R}$ = 110 - 39,33 = 70,67mm

❖ **La longueur de clothoïde** : $Lrp = \frac{dp}{\frac{dd}{dl}} = \frac{dp}{\frac{180}{Vmax}} = \frac{110}{\frac{180}{220}}$ =134,44 m

On prend : Lrp =140m

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

$$dd/dl = \frac{dp}{Lrp} = \frac{110}{140} = \frac{0{,}78mm}{m}$$

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

$$\frac{dI}{dt} = \frac{d}{l} \times \frac{Vmax}{3{,}6} = \frac{110}{140} \times \frac{220}{3{,}6} = 35{,}80\text{mm/s}$$

Le listing ci-dessous présente les paramètres et les dévers correspondant à chaque rayon qui se trouve sur le tracé du tronçon d'étude, et cela pour les vitesses Vmax=220km/h, Vmin=100km/h.

Tableau N°V.05: Tableau récapitulatif des paramètres du tracé.

	Formule	1	2	3	4
Rayon (m)	-	2100	3000	3700	2000
Vitesse Km/h	-	220	220	220	220
	-	100	100	100	100
d_{th} (mm)	$\frac{11.8 \times V_{max}}{R}$	271.96	190.37	155.35	285.56
C	$0.006 \times {V_{MAX}}^2$	290.40			
C adopté	-	300			
Vérification C	$\mathbf{0.5} < \frac{C}{0.0118 \times V^2} < \mathbf{0.7}$	0,54			
		OK ✓			
dp (mm)	$\frac{1000 \times C}{R}$	142,86	100	81,08	150
dp Adopté	-	145	110	90	150
I (mm)	$d_{th} - d_p$	126,96	80,37	44,36	135,56
E (mm)	$d_p - \frac{11.8 \times {V_{min}}^2}{R}$	88,81	70,67	78,11	91
Lrp (m)	$\frac{d_p}{dd/_{dl}}$	177,22	134,44	133,31	183,33
Lrp adopté	-	180	140	140	190
$dd/_{dl}$ (mm/m)	$\frac{d_p}{L_{rp}}$	0,81	0,58	0,79	0,77
$dI/_{dt}$ (mm/s)	$\frac{I}{L_{rp}} \times \frac{V_{max}}{3.6}$	43,10	25,85	19,60	43,60

V.1.6 Les contraintes le long du tracé :

Tableau N°V.06 : Liste des obstacles à franchir.

Obstacle à franchir		PK	Ouvrage Projeté / mesures prévues
Oued bellil		73+600	Ouvrage hydraulique
Intersection avec des routes	N1	75+123	Passage Supérieur
	CW	84+562	
Pistes		70-85	À aménager ou à supprimer
Ligne électrifie haute tension		75+440	Prendre les mesures de sécurité recommandées. Permettre de : ▪ Déplacer ▪ Protéger
Fibre optique		74+993	Prendre les mesures de sécurité recommandées. Permettre de : ▪ Déplacer ▪ Protéger

N.B 1 : Des tronçons de notre tracé en plan sont joints en plans format A3.

NB 2 : le tracé est réalisé à l'aide de logiciel COVADIS 16.0e et les éléments du tracé en plan sont représentés dans l'annexe A

V.2 Profil en long :

La construction du profil en long est une étape cruciale pour évaluer un projet ferroviaire, notamment sur le plan économique. Elle permet d'estimer l'importance des terrassements (quantités de déblais et de remblais), ainsi que la nécessité de construire des ouvrages d'art, des tunnels, et d'autres infrastructures similaires.

V.2.1 Les éléments de composition du profil en long :

V.2.1.1 Les alignements droits :

Le profil en long de la voie ferrée est caractérisé par des déclivités réduites, conçues pour maintenir des vitesses de circulation appropriées, assurer une sécurité optimale lors des freinages en pente et permettre un démarrage confortable des véhicules sur les rampes. Ainsi, la Société nationale des chemins de fer tunisiens (SNTF) a établi une limite supérieure de déclivité à respecter pour les tronçons droits, afin de garantir la sécurité et le confort des passagers.

En ce qui concerne l'emplacement des gares, il est courant d'utiliser un palier d'une longueur supérieure à 1200 mètres, avec des déclivités maximales généralement définies comme suit :

- Pour les déclivités de moins de 3000 mètres, elles ne doivent pas dépasser 16‰, avec une exception possible jusqu'à 18‰.
- Pour les déclivités de 3000 à 15 000 mètres, elles diminuent progressivement de 16‰ à 13‰, pouvant exceptionnellement aller de 18‰ à 15‰.
- Pour les déclivités de plus de 15 000 mètres, elles ne doivent pas dépasser 13‰, avec une exception possible jusqu'à 15‰.

Le positionnement des lignes droites par rapport au terrain naturel est déterminé en tenant compte de plusieurs facteurs, notamment :

- L'équilibrage des remblais et des déblais.
- La minimisation des mouvements de terre.
- L'évitement d'introduire une pointe basse dans le profil en long lorsqu'il s'agit d'une section en déblais, afin de limiter les contraintes supplémentaires telles que les difficultés liées au terrassement et à l'évacuation des eaux pluviales.

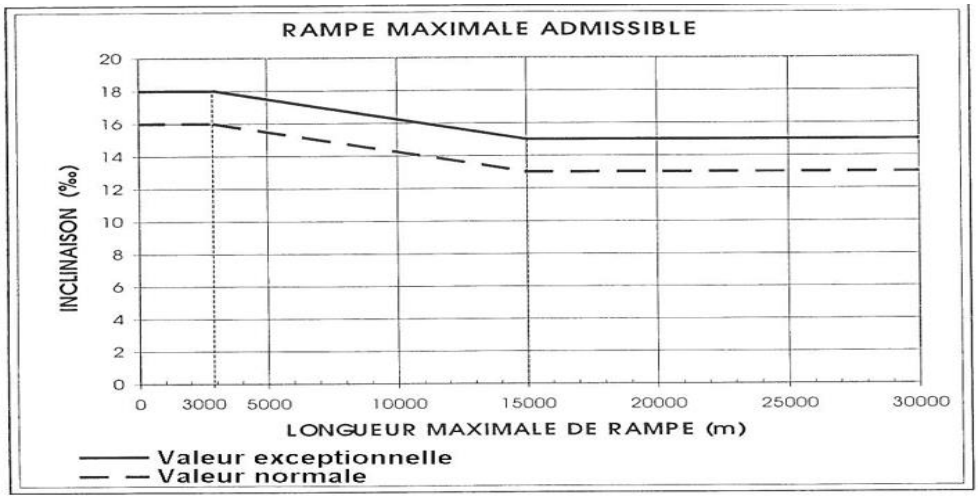


Figure N°V.02 : La déclivité maximale admissible

Pour remédier à cette situation, il est possible d'adopter l'une des deux approches suivantes :

La première consiste à surélever ce point par rapport au niveau du terrain naturel, ce qui permet d'éliminer la configuration en point bas. La deuxième solution consiste à atténuer les déclivités de chaque côté, réduisant ainsi les variations de hauteur et évitant les contraintes associées.

- Dans les zones inondables, il est obligatoire de prévoir un profil en remblais dont la hauteur est supérieure au NPHE + 0,5 m.
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en déclivité.
- Il est essentiel de respecter la longueur minimale des éléments du profil 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 N°V.07 : Longueur minimale des déclivités.

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

Ces segments de droite créent des angles dits « saillants » ou « rentrants » qui correspondent aux zones de raccordement par cercle.

V.2.1.2 Les cercles :

Lorsqu'un véhicule ferroviaire rencontre un changement de déclivité, il subit une variation soudaine de l'accélération verticale. Cette variation brusque génère des forces de réaction qui induisent des oscillations dans la suspension du véhicule. Ces oscillations peuvent provoquer des vibrations et des secousses indésirables, affectant ainsi le confort des passagers.

L'accélération verticale 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 0,22 m/s² ($A_v \leq$ 0,05g), exceptionnellement atteignant 0,31 m/s², ce qui est considéré comme une valeur de confort acceptable.

En remplaçant les valeurs de A_v dans la formule $R_v = \frac{V^2}{3.6^2 \times A_v}$, nous trouvons :

Tableau N°V.08 : Valeurs de Rayon vertical minimale.

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Longueur minimale des déclivités	$0.35V^2$	$0.25V^2$

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

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

V.2.2 Application sur le projet :

Tableau N°V.09 : Paramètres géométriques de profil en long (SNTF).

		D_{max}				R_{min} (m)	L_{min} (m)
		L <3000 m	3000 m< L<15000 m	L>15000 m	Gares	-	-
Formule	**Normal**	-	-	-	-	0.35 V²	V/2
	Exceptionnel	-	-	-	-	0.25 V²	V/2,5
Application	**Normal**	16 ‰	16 ‰ à 13 ‰	13 ‰	0	16940	110
	Exceptionnel	18 ‰	18 ‰ à 15 ‰	15 ‰	0	12100	88

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

NB 2 : le tracé est réalisé à l'aide de logiciel COVADIS 16.0e les éléments du tracé en plan sont représentés dans l'annexe B

Conclusion :

L’étude géométrique, comme discipline, combine des principes mathématiques et d'ingénierie pour garantir une performance optimale des voies, la sécurité des passagers et des marchandises, ainsi qu'une efficacité maximale du réseau ferroviaire. Au cours de ce chapitre, nous avons pu examiner les différents aspects de l'étude géométrique de la voie ferroviaire, la détermination des alignements horizontaux et verticaux, le calcul des courbes, des contre-courbes et des transitions, ainsi que la prise en compte des facteurs tels que les pentes, les dévers, et les tolérances géométriques.

CHAPITRE VI :

ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

CHAPITRE VI : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

Introduction :

La construction d'une voie ferrée entraîne des altérations dans le terrain, notamment des déblais et des remblais, qui perturbent les flux naturels d'eau provenant des précipitations atmosphériques et des nappes phréatiques. Ce chapitre se concentre sur l'étude hydrologique et hydraulique visant à dimensionner les infrastructures hydrauliques (telles que les systèmes d'assainissement et de drainage) le long du tronçon où la voie ferrée est doublée, reliant Laghouat-Ghardaïa (la gare de Bellil), entre les bornes kilométriques PK.70+000 et PK.85+000. L'objectif est de garantir la continuité des flux d'eau et de protéger la plate-forme ferroviaire**.**

VI.1 Etude hydrologique :

L'hydrologie est la science qui étudie l'évolution des eaux à la surface de la Terre et dans le sous-sol, leurs propriétés, leur origine, leur mouvement et leur répartition. Elle examine aussi les interactions des eaux avec l'environnement et leur impact sur les activités humaines.

Une étude hydrologique approfondie fournit une compréhension détaillée des caractéristiques climatiques et pluviométriques d'une région, permettant d'évaluer la dynamique des eaux et de prévoir les risques d'inondation ou de sécheresse. Dans les projets ferroviaires, cette étude vise à minimiser l'impact environnemental et à garantir la durabilité de la nouvelle ligne ferroviaire**.**

VI.1.1 Description de la zone d’étude :

Située au cœur du pays à 400 km au sud de la capitale Alger, la wilaya s'étend sur une superficie de 25 000 km² et compte 484 252 habitants, elle est limitée :

- Au nord par la wilaya de Tiaret
- A l’est par la Wilaya de Djelfa
- Au sud par la Wilaya de Ghardaïa
- A L’Ouest par la Wilaya d'El-Bayad.



Figure N°VI.01 : Situation géographique de la zone d’étude

VI.1.2 Caractéristiques climatiques :

Le climat de la zone d'étude est de type saharien, caractérisé par un écart élevé entre la température de l'été et celle de l'hiver, une faible précipitation et une évaporation intense. La région de Laghouat est typiquement Saharien, caractérise par deux saisons : une saison chaude et sèche (d'avril à septembre) et une autre tempérée (d'octobre à mars) et une grande différence entre les températures de l'été et d'hiver.

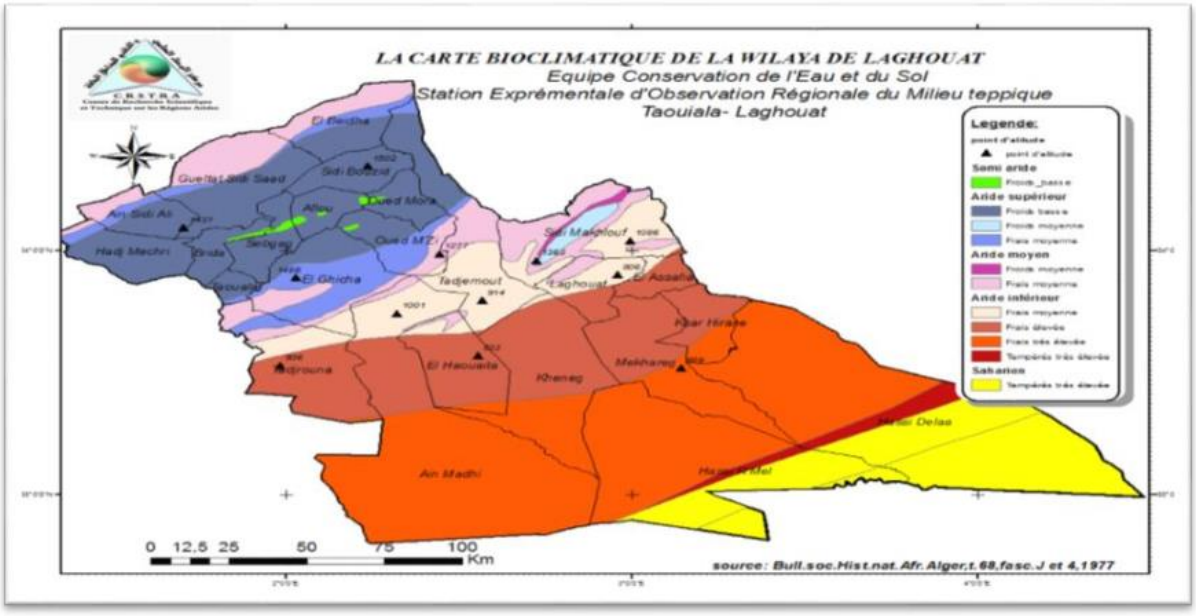


Figure N°VI.01 : Carte bioclimatique de la wilaya de Laghouat

VI.1.2.1 Températures :

L'analyse des données de tableau N°VI.01 montre que le plus grand écart s'observe au mois de juillet avec un maximum de 39,06°C et un minimum de 24,51 °C avec 14,55 °C, par contre le plus faible écart s'observe en décembre avec un maximum de 15,09°C et un minimum de 3,15°C avec 11,94 °C. La moyenne mensuelle du mois le plus chaud est de 39.06° C en juillet et celle du mois le plus froid est de 2.79° C en janvier.

Tableau N°VI.01 : Températures (°C.) moyennes mensuelles, des maximas et des minima pour les dix ans (1998-2018) wilaya de Laghouat

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	jan	Fév	Mar	Avri	Mai	Juin	Juill	Aout
T_{Min} (°C)	19.15	13.34	7.08	3.15	2.79	3.95	7.01	11.42	16.02	20.5	24.51	23.89
T_{Max} (°C)	32.15	26.21	19.13	15.09	14.95	15.99	20.05	25.07	29.77	34.65	39.06	38.11
T_{Moy} (°C)	25.78	19.83	12.9	8.93	8.78	9.97	13.81	18.67	23.5	28.31	32.46	31.43

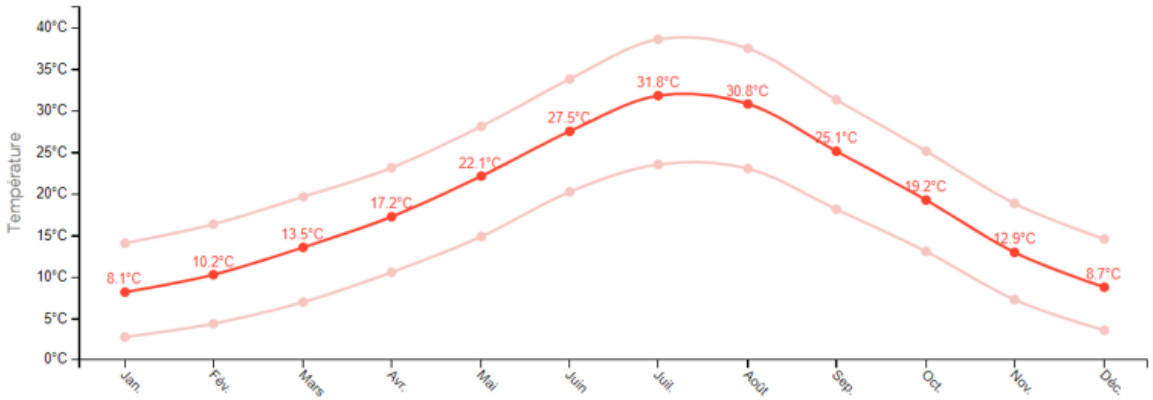


Figure N°VI.03 : Températures moyennes mensuelles

VI.1.2.2 L'humidité :

L'humidité représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère. L'humidité moyenne de la région est minimum pendant le mois On remarque que l'humidité est très faible à la wilaya de Laghouat, ceci est due à sa situation géographique. L'humidité relative mensuelle est très faible en juillet et aout (26.22%) elle atteint son maximum en décembre avec 64.64%.

Tableau N°VI.02 : Humidité relative moyenne mensuelle de Laghouat (1998 -2018)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	jan	Fév	Mar	Avri	Mai	Juin	Juill	Aout
Humidité (%)	41.93	52.02	58.1	64.64	59.78	52.9	45.68	38.95	34.57	31.32	26.22	28.74

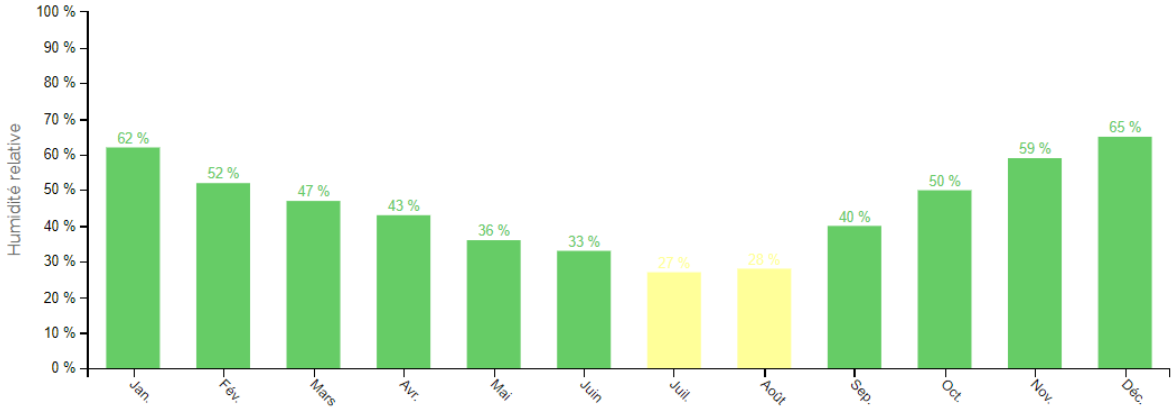


Figure N°VI.04 : Taux d'humidité relative et inconfort par rapport à la température

VI.1.2.3 L'évaporation :

L'évaporation mesurée sous l'abri par l'évaporomètre de Piché est de l'ordre de 3110 mm/an à savoir 35 fois plus grande que la pluviométrie. Avec un maximum au mois de Juillet de L'ordre de 418 mm et un minimum de 105 mm obtenue au mois de Janvier, Ces valeurs élevées sont reliées à la forte température et aux vents violents.

Tableau N°VI.03 : l'évaporation moyenne mensuelle de Ghardaïa (1998 -2018)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avri	Mai	Juin	Juill	Aout
Evap (mm)	281	188	127	130	105	128	183	263	313	370	418	376

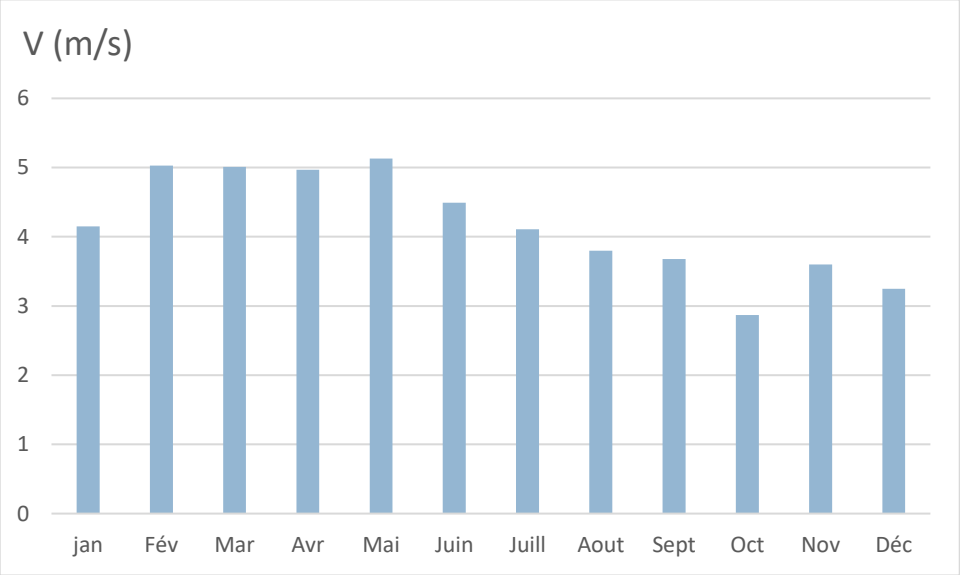


Figure N°VI.05 : l'évaporation moyenne mensuelle de Ghardaïa (1998 -2018)

VI.1.2.4 Le vent :

La vitesse moyenne annuelle des vents de la région de Laghouat est 4.12 m/s, avec un maximum de 5,13 m/s au mois de Mai, et un minimum de 3.25% m/s au mois de décembre (Le vent est de classe 3, avec une vitesse comprise entre 4 et 5 m/s).

Tableau N°VI.04 : Les vitesses moyennes mensuelles des vents de Laghouat (1998 -2018)

Mois	jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
V (m/s)	4.15	5.03	5.01	4.97	5.13	4.49	4.11	3.80	3.68	2.87	3.60	3.25

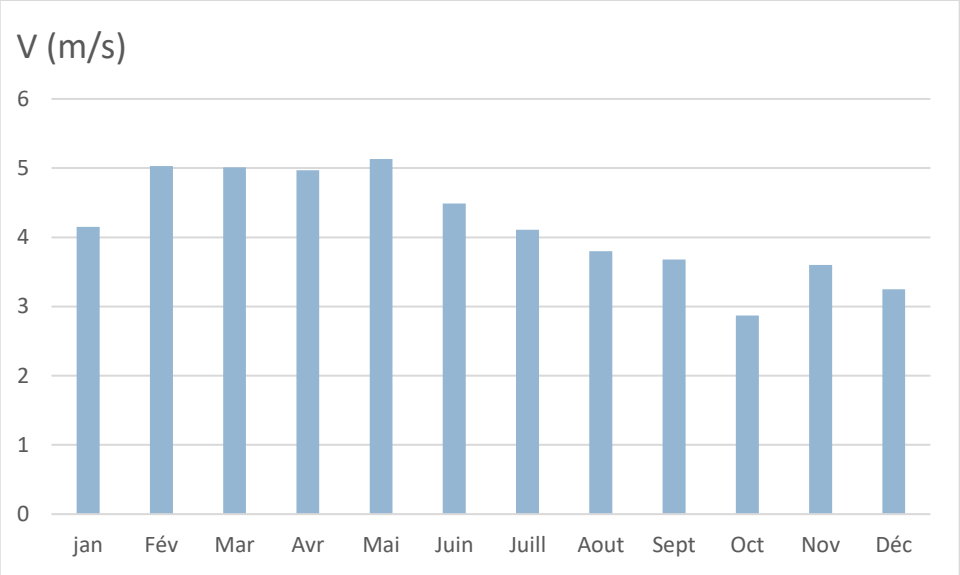


Figure N°VI.06 : Les vitesses moyennes mensuelles des vents de Laghouat (1998 -2018)

VI.1.2.5 Les précipitations :

Les précipitations jouent un rôle fondamental dans l'hydrologie, fournissant une contribution essentielle à la compréhension de la disponibilité en eau des bassins versants. Leur connaissance est cruciale pour évaluer les niveaux des réserves souterraines, la recharge des nappes phréatiques et le débit des cours d'eau.

En général, les précipitations sont mesurées en termes de hauteur (en millimètres). Lorsqu'on rapporte cette hauteur à une unité de temps, on obtient une intensité de précipitation (en millimètres par heure). Par exemple, 1 millimètre de précipitation équivaut à 1 litre par mètre carré.

Tel que **1 mm = 1 L / m².**

Les données de la région d'étude ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques (ANRH) et de l'Office National de la Météorologie (ONM)**.**

a) Les précipitations annuelles et saisonnière :

Septembre est le mois où les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 30.54 m. Tandis que Les précipitations moyennes les plus faibles sont enregistrées en Juillet avec 6.21 mm seulement.

Tableau N°VI.05 : Précipitations moyennes mensuelles de Laghouat (1998-2018).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	jan	Fév	Mar	Avri	Mai	Juin	Juill	Aout
P(mm)	30.54	25.24	12.02	11.77	10.0	8.96	10.44	18.79	14.8	8.35	6.21	10.21

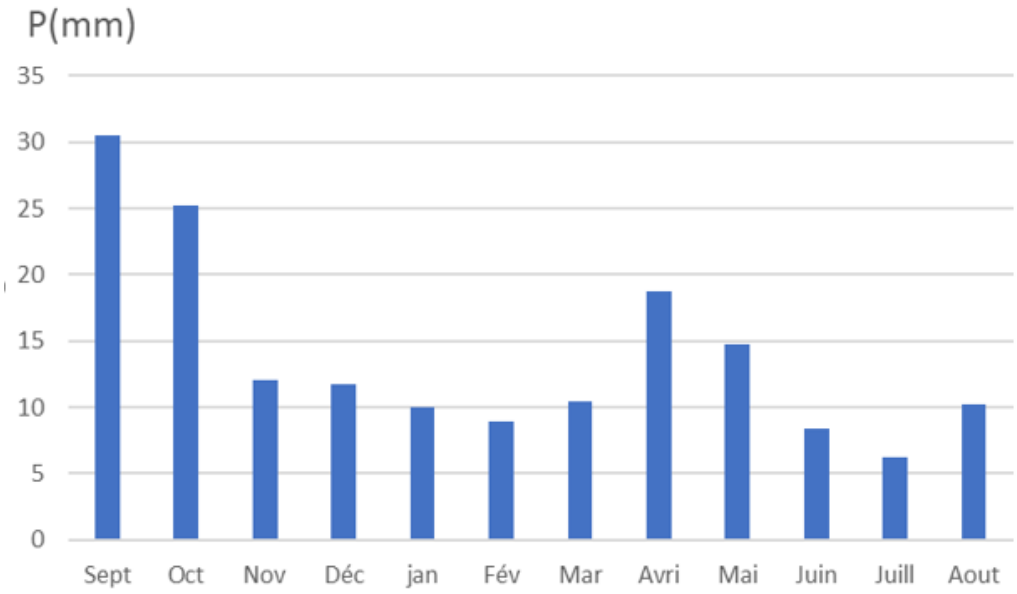


Figure N°VI.07 : Précipitations moyennes mensuelles de Laghouat (1998-2018).

b) Les pluies maximales journalières :

Les pluies maximales journalières de rares fréquences sont des pluies génératrices des crues d'importants débits, contre lesquels il faut protéger les différents ouvrages hydrauliques et les dégâts.

Tableau N°VI.06 : Les pluies maximales journalières

Période de retour T(ans)	Fréquence	Pmax, j (mm)
10 ans	**0.90**	**40**
100 ans	**0.99**	**55.9**

c) Les pluies de courte durée :

La recherche sur la loi Intensité - Durée – Fréquence (IDF) nécessite l'analyse de graphiques représentant les données pluviométriques enregistrées. À partir de ces enregistrements, des calculs ont été effectués pour déterminer les quantités de précipitations correspondant à différents intervalles de temps (15 mm, 30 mm, 1 heure, 2 heures, 3 heures, 6 heures, 12 heures, 24 heures). Pour chaque intervalle de temps, la valeur maximale des précipitations par averse a été relevée. Cette démarche a permis d'obtenir une série de données pour chaque intervalle de temps, couvrant toute la période analysée.

La relation Intensité - Durée – Fréquence (IDF) recherchée est de type : $\boldsymbol{I(t,T) = a(T)/t^b}$

- **I** : Intensité de pluie exprimée en en mm/tr.
- **T** : Période de retour exprimé en ans.
- **t** : Temps exprimé en heures.
- **a** et **b** : Paramètres de Montana.
- La relation obtenue est la suivante **:** $\boldsymbol{I\ (t,T) = a(T)/t^{0,81}}$ Avec **b = 0,81.**

Tableau N°VI.07 : Valeur du paramètre de Montana pour les différentes périodes de retour.

T	5	10	20	50	100
a (T)	17,6	21,2	24,6	29	32,2

Tableau N°VI.08 : Valeur des intensités pour les différentes périodes de retour

I (t, T)	5	10	20	50	100
1h	17,6	21,2	24,6	29	32,3
2h	10,1	12,1	14	16,6	18,4
3h	7,2	8,7	10,1	11,9	13,3
6h	4,1	5	5,8	6,8	7,6
12h	2,4	2,8	3,3	3,9	4,3
24h	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5

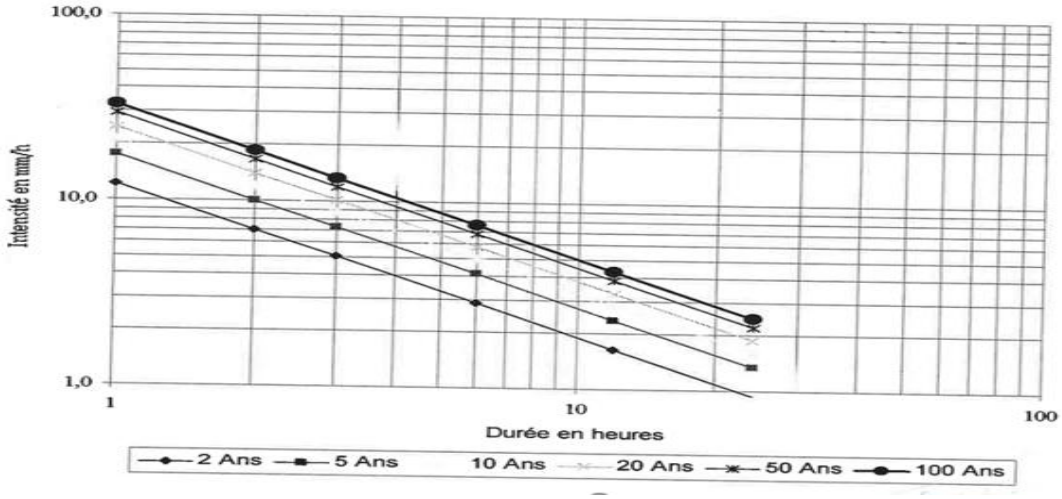


Figure N°VI.08 : Courbe intensité - durée – Fréquence (IDF)

VI.1.3. Les caractéristiques morphologiques des bassins versants :

Le bassin versant joue un rôle de collecteur en assimilant les précipitations et en les transformant en écoulements qui convergent vers l'exutoire, correspondant à l'intersection du tracé du bassin versant. Cette transformation est influencée par les conditions climatiques ainsi que par les caractéristiques physiques spécifiques du bassin versant.

La détermination des caractéristiques des bassins versants vise à calculer et évaluer les paramètres explicatifs indispensables à l'évaluation des débits de crue. Les paramètres physiques peuvent être calculés avec une précision satisfaisante et sont essentiels pour cette évaluation.

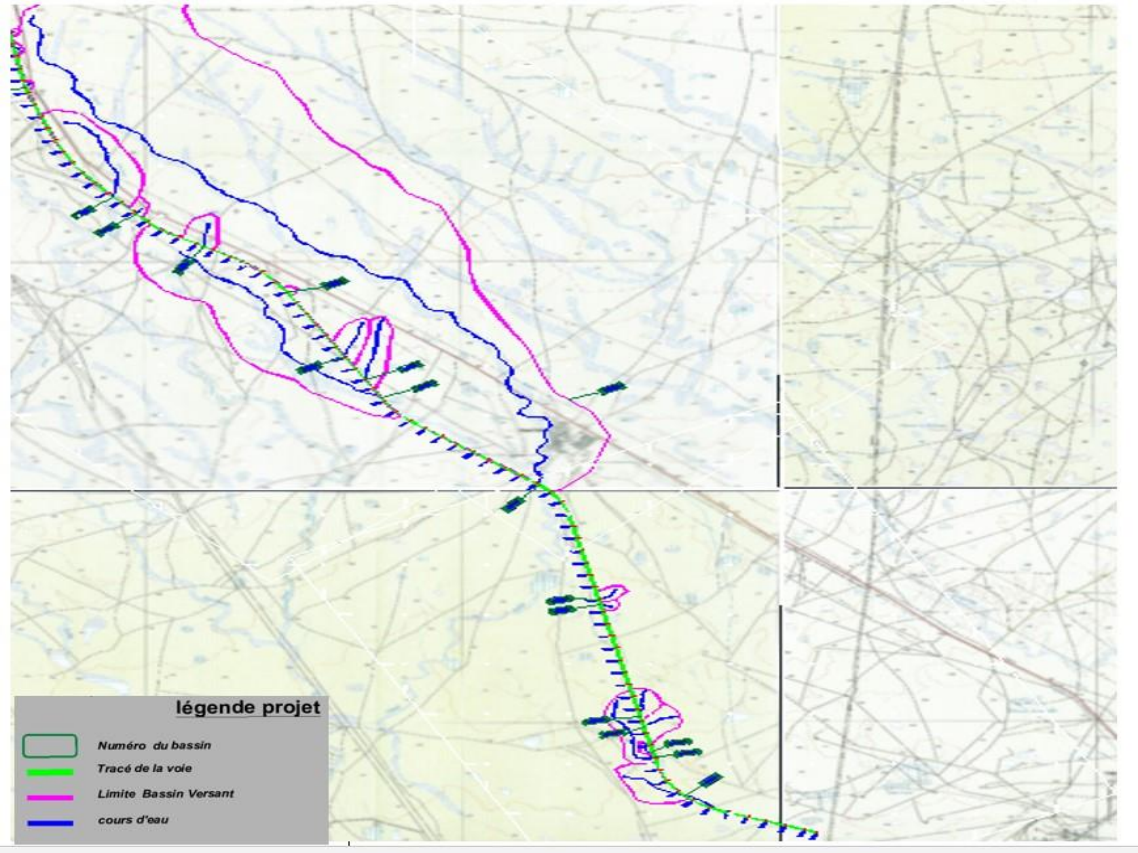


Figure N°VI.09 : La délimitation des bassins versants sur les cartes d'état-major.

- **S (km2) :** Surface.
- **P (km) :** Périmètre.
- **L (km) :** Longueur du cours d'eau principal.
- **Kc :** Indice de compacité.
- **TC (h) :** Temps de concentration en heures.
- **Hmax(m) :** Altitude max.
- **Hmin(m) :** Altitude min.
- **Hmoy(m) :** Altitude moyenne.
- **Dh [m] :** différence entre l'altitude maximale et minimale du bassin.

- **P [m/m] :** pente du talweg principal :

$$\mathbf{P}\ [^{m}/_{m}] = \frac{Dh(m)}{\mathbf{L}\ (\mathbf{m})}$$

- **Kc** coefficient de compacité de Gravelius :

$$Kc = \frac{P}{P_{cercle_équivalent}} = 0.2821.\frac{P}{\sqrt{S}}$$

- **Lr [m]** longueur du rectangle équivalent :

$$\frac{Lr}{\sqrt{S}} = \frac{Kc}{1,12838} + \sqrt{\left(\frac{Kc}{1,12838}\right)^{2} - 1} \ldots\ldots\ldots Kc \geq 1.12$$

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

Tableau N°VI.09 : Les caractéristiques morphologiques des bassins versants.

N° BV	PK	S (m^2)	P (m)	L (m)	Hmax (m)	Hmin (m)	Hmoy (m)	dh (m)	P(m/m)	Kc	Lr(m)
01	73+619	90579697	45 933	19 124	852	771	811	81	0.0031	1.46	16 869
02	78+518	315 663	2 185	592	778	770	774	8	0.0131	1.13	562
03	78+687	153 247	1 576	277	775	771	773	4	0.0156	1.14	439
04	83+305	577 007	3 181	1 131	774	756	765	18	0.0160	1.18	1 031
05	83+743	870 015	4 066	965	767	752	759	15	0.0160	1.23	1 421
06	84+779	129 469	1 448	497	749	743	746	6	0.0115	1.14	402
07	84+979	3 321 052	8 607	2 938	774	742	758	32	0.0108	1.33	3 296
08	86+729	1 720 943	5 524	1 744	747	738	743	9	0.0049	1.19	1 813

VI.1.4 Calcul de débit maximal dans les bassins (débit de crue) :

La nécessité de déterminer le débit maximal d'un cours d'eau est évidente en raison des effets dévastateurs associés à ces événements hydrologiques bien connus. Pour évaluer ces débits maximaux dans les bassins versants, notamment aux endroits stratégiques tels que les passages à gué, on recourt à des formules empiriques. Ces formules sont développées en prenant en considération à la fois les données sur les précipitations et les caractéristiques physiques des bassins versants.

- **Estimation des débits max aux bassins de projet :**

L'estimation des débits de crue correspondant aux bassins versant naturels du projet est fonction de plusieurs facteurs ayant des effets plus ou moins déterminants sur la formation des crues, notamment, la topographie, la climatologie, la morphologie des bassins versant, la géologie, etc. Les méthodes de calcul sont multiples dont les résultats demeurent toujours incertains mais on se propose d'appliquer les formules édictées dans le guide de l'assainissement (route et chemin de fer) de Sétra, connues par leur large utilisation dans les projets de drainage ferroviaire en Algérie qui sont fonction de la surface des bassins versant comme suit :

- Formule RATIONNELLE.
- Formule de MALLET-GAUTHIER.

VI.1.4.1 Formule rationnelle : (A< 10 KM²)

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

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3{,}6}$$

Dans laquelle :

- **Q_A:** Débit de crue de fréquence déterminée en m_3/s.
- **C:** Coefficient de ruissellement.
- **I :** Intensité de pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration en (mm/h).
- **A :** Surface du bassin versant en (Km).
-

- **Le coefficient de ruissellement :**

Le coefficient de ruissellement Cr, est un paramètre exprimant la fonction de ruissellement d'eau sur un sol saturé d'eau par rapport aux précipitations totales tombées sur le bassin. Dans la méthode Kenessey le coefficient Cr est la somme des trois composantes (**C_1 ; C_2 et C_3**), détaillé comme suit :

$$Cr = C_1 + C_2 + C_3$$

C_1: Dépend de la pente du cours d'eau principal

Tableau N°VI.10 : Valeurs de $C1$

La pente du cours d'eau	Coefficient C_1
Pente < 3.5 %	0.01 - 0.05
3.5 % < Pente < 11 %	0.06 - 0.1
11 % < Pente < 35%	0.12 - 0.2
Pente >35%.	0.22 - 0.3

Les valeurs des pentes ont été incluses dans le tableau des caractéristiques morphologiques des bassins versants des écoulements superficiels qui sont traversés par le tracé du projet de ligne ferroviaire. Laghouat – Ghardaïa (gare de bellil), **Pente < 3.5 % donc C1= 0,02.**

C_2 : Dépend de la perméabilité du terrain

Tableau N°VI.11 : Valeurs de C_2

La perméabilité du terrain	Coefficient C_2
Les terrains imperméables.	0.22 – 0.3
Les terrains pas assez perméables.	0.1 – 0.2
Les terrains perméables.	0.06 – 0.1
Les terrains très perméables.	0.06 – 0.05

Les valeurs de la perméabilité ont été estimées en utilisant la carte géologique de la région de la wilaya Laghouat

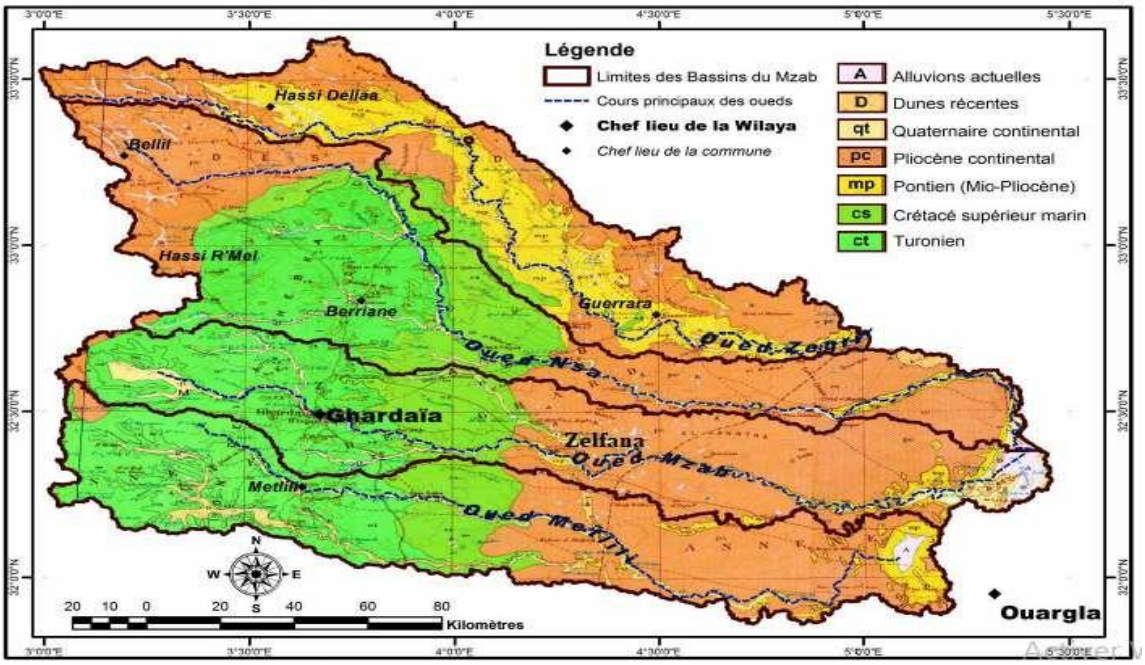


Figure N°VI.10 : la carte géologique de la région de la wilaya Laghouat

Le sol en surface constitué de deux nature (alluvionnaire ou encroutement calcaire) en surface reposant sur un substratum de calcaire caractérisé par une imperméabilité très faible, pour cela on prend $\mathbf{C_2}$ égale à 0.30 (cas le plus défavorable).

C_3: Dépend de la couverture végétale du bassin versant :

Tableau N°VI.12 : Valeurs de C_3

La couverture végétale du bassin versant	Coefficient C_3
Les terrains rocheux.	0.22 – 0.3
Les Prés.	0.17 – 0.25
Les champs labours.	0.07 – 0.15
Les forêts et les sols sableux.	0.03 – 0.05

C_3 : Est un coefficient dépendant de la couverture végétale du bassin versant. Comme la zones d'étude ne contient pas une couverture végétale riche la majorité de la surface des deux wilaya Laghouat et Ghardaïa est constituée de sables et de roche. Donc on prend C3 égale 0.22.

Donc le coefficient de ruissellement : Cr = 0,02 + 0,30 + 0,22 = 0,54

➢ Temps de concentration:

Le calcul du temps de concentration est crucial pour estimer les débits de crue, car cette caractéristique du bassin versant est influencée par sa taille, sa forme et sa pente. Ci-dessous, nous recommandons l'utilisation des formules conventionnelles en Algérie, adaptées en fonction de la superficie des bassins versants :

a) Formule de Ventura : (B.V inférieur à 5 Km2)

$$Tc = 0.1272.\sqrt{\frac{S}{J}}$$

Tc [h] : temps de concentration
S [km2] : surface du bassin versant
J [m/m] : pente brute du bassin

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

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

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

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

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

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

Pour améliorer l'estimation, il était nécessaire d'intégrer quelques formules supplémentaires. Ainsi, le temps de concentration sera évalué en calculant la moyenne des valeurs qui se rapprochent le plus les unes des autres.

d) Formule de Kiprich :

$$Tc = 0.19395 \times \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{0{,}77}$$

L : Longueur du talweg principale en [Km].
I : La pente moyenne du cours d'eau

➢ Résultats de calcul des temps de concentration pour le présent projet :

Tableau N°VI.13 : Résultats de calcul des temps de concentration

BV	PK	S (m^2)	L(m)	dh (m)	J(m/m)	Formule			
						Ventura (h)	Passini (h)	Giandotti (h)	Moyenne (h)
01	73+619	90 579 697	19 124	81	0.0031	9.304	1,908	11.435	10.369
02	78+518	315 663	592	8	0.0131	0.626	0.539	0.99	0.432
03	78+687	153 247	277	4	0.0156	0.398	0.301	0.978	0.349
04	83+305	577 007	1 131	18	0.0160	0.765	0.074	0.895	0.83
05	83+743	870 015	965	15	0.0160	0.939	0.080	1.20	1.06
06	84+779	129 469	497	6	0.0115	0.426	0.040	0.734	0.58
07	84+979	3 321 052	2 938	32	0.0108	2.234	0.222	1.611	1.922
08	86+729	1 720 943	1 744	9	0.0049	2.390	0.208	2.186	2.288

N.B : Les valeurs en rouge sont rejetées.

VI.1.4.2 Formule DE MALLET-GAUTHIER : (A > 10 KM²)

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

$$\boldsymbol{Q_A = 2 \times K \times \log(1 + a \times p) \times \frac{S}{\sqrt{L}} \times \sqrt{1 + 4 \times (\log T - \log S)}}$$

Q_A : Débit de crue de période de retour voulue (en m3/s).
P : Précipitation moyenne interannuelle en m.
S : Superficie du bassin versant (Km2).
T : Période de retour en années.
L : Longueur du talweg principal (Km).
a : Paramètre (facteur pluviométrique considéré moyennement) qui varie de 20 et 30. Il est pris généralement égal à 20 pour l'Algérie.
k : Paramètre (facteur pluviométrique considéré dans sa variabilité), compris entre 0.5 et 5.

VI.1.5 Résultats de calcul des débits pour le présent projet :

Tableau N°VI.14 : Les débits de crue retenus des Oueds pour une période de 100 ans

N° BV	PK	S (m^2)	facteur pluviométrique		Cr	Les pluies maximales journalières	Tc (H)	I (100, Tc) (Mm/H)	Q_{100} (m3/s)	
			a	k		Pjmax (10 ans)			Rationnelle	Mallet – Gautier
1	73+619	90579 697	20	4	0,54	40.00	11.43	10,640	-	**62.40**
2	78+518	315 663	20	4	0,54	40.00	0.63	12,018	**2.26**	-
3	78+687	153 247	20	4	0,54	40.00	0.40	10,844	**1.59**	-
4	83+305	577 007	20	4	0,54	40.00	0.77	16,057	**3.53**	-
5	83+743	870 015	20	4	0,54	40.00	0.94	5,518	**4.50**	-
6	84+779	129 469	20	4	0,54	40.00	0.43	13,621	**1.26**	-
7	84+979	3 321 052	20	4	0,54	40.00	2.23	12,770	**8.43**	-
8	86+729	1 720 943	20	4	0,54	40.00	2.39	10,045	**4.08**	-

Note : (-) indique la formuler pas utiliser

VI.2 Etude hydraulique :

L'eau peut avoir des effets néfastes sur un projet ferroviaire, mettant en péril son intégrité et la durabilité de la voie. Il est donc essentiel de mener une étude approfondie afin d'éviter toute perturbation des flux naturels d'eau par le tracé ferroviaire envisagé. Cette étude vise à garantir le maintien des cours d'eau dans leurs lits naturels et à préserver les exutoires situés en dehors de l'emprise de la voie ferrée.

L'assainissement des plateformes ferroviaires englobe plusieurs éléments :

- Les structures de collecte longitudinale.
- Les ouvrages transversaux.
- Les dispositifs de liaison.
- Les ouvrages de régulation.

VI.2.1. Dimensionnement des ouvrages transversaux :

Le principe fondamental de l'assainissement des plateformes ferroviaires est de garantir que le débit évacué, lors de fortes précipitations, reste inférieur au débit maximal que peut supporter l'ouvrage hydraulique sélectionné. Ce débit maximal est déterminé par la section pleine (ou saturation) de l'ouvrage, qui peut être estimée à l'aide de la relation de Manning-Strickler.

$$Q_s = K_s \times S_m \times R_{h2/3} \times I_{1/2}$$

Q_s **:** Débit de saturation de l'ouvrage.
Ks : Coefficient de rugosité. Pour le béton : Ks = 70.
S_m **:** Section mouillée.
Pm : Périmètre mouillé.
Rh : Rayon hydraulique.
I : Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).

VI.2.1.1 Dimensionnement des buses :

Pour effectuer le calcul hydraulique des ouvertures circulaires, on utilise la formule de Manning-Strickler pour la section pleine (ou saturation) :

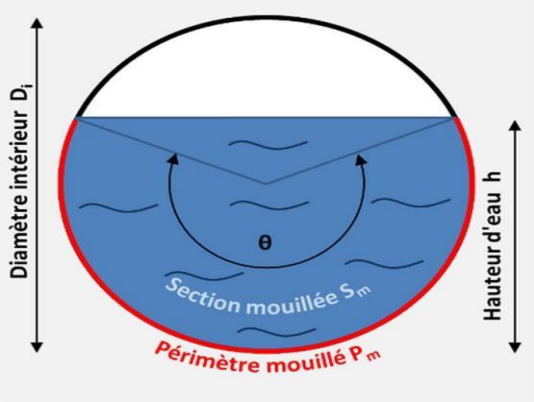


Figure N°VI.11 : Schéma d'un ouvrage busé

$$Q_S = Q_{max}$$

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

D'où : $D = 4^{5/8} \times \left(\frac{Q_{max\,(100)}}{K_S \times \pi \times \sqrt{I}}\right)^{3/8}$

Vérification des conditions d'auto-curage :

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

Condition 2 : Soit la vitesse d'écoulement calculée comme précédemment, à partir de $Q = 0.1Qps$ ➔ V > 0.6 m/s.

Condition 3 : Soit la vitesse d'écoulement calculée comme précédemment, à partir de $Q = 0.01Qps$ ➔ V > 0.3 m/s.

Remplissage :

Dalot : hr = 0.80 h si h≤2.5 m hr = h - 0.5 si h>2.5 m
Buse : hr = 0.75 Ø si Ø ≤1 m hr = Ø - 0.5 si Ø >1 m

Application numérique :

Prenons le BV N°02 (PK 78+518m) : $Q_{max\,(100)} = 2.26\ m^3/s$

On prend : **Ks = 70 ; I =** 0.0131

$$D = 4^{\frac{5}{8}} \times \left(\frac{Qmax\,(100)}{Ks \times \pi \times \sqrt{I}}\right)^{\frac{3}{8}} \qquad D = 4^{\frac{5}{8}} \times \left(\frac{2,26}{70 \times \pi \times \sqrt{0,0131}}\right)^{\frac{3}{8}} = 963,450mm$$

On choisit un diamètre commercial de **1,5m.**

$$QPS = Ks \times Sm \times Rh^{2/3} \times I^{0.5} = 70 \times \pi \times \frac{D^2}{4} \times \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} \times 0,0131^{0.5}$$

$$QPS = Ks \times Sm \times Rh^{2/3} \times I^{0.5} = 70 \times \pi \times \frac{1,5^2}{4} \times \left(\frac{1,5}{4}\right)^{\frac{2}{3}} \times 0,0131^{0,5} = 7.362\ m^3/s$$

$$VPS = \frac{QPS}{Sm} = \frac{7.362}{1.75} = 4.15\ m/s$$

$$R\,q = \frac{Qmax}{QPS} = \frac{2,26}{7.362} = 0,306 \quad V = R\,v \times VPS \quad H = Rh \times D$$

(Rapport des vitesses V/Vps et le rapport des hauteurs de remplissage h/D Sont retenus en annexe C).

Le tableau ci-dessous montre la vérification des 3 conditions d'auto-curage de l'ouvrage busée pour le **BV N°02** :

Tableau N°VI.15 : Conditions d'auto-curage de l'ouvrage busé (BV N°02).

Condition	R_q	R_v	V	Vérification
$1\ m/s < V < 4\ m/s$	0,306	0.878	3.643	OK ✓
$V > 0.6\ m/s$	0.1	0,640	2.656	OK ✓
$V > 0.3\ m/s$	0.01	0,320	1.328	OK ✓

Tableau N°VI.16 : Liste globale des ouvrages busée à projeter

Bassin	02		03		04		05		06		08	
Sm et Rh	0.727	0.240	0.678	0.169	1.034	0.258	1.289	0.322	0.589	0.147	1.1180`	0.279
PK	78+518m		78+687		83+305		83+743		84+779		86+729	
Q_{max} (100ans) (m^3/s)	2.26		1,60		3,55		4,50		1,26		4,08	
Rugosité Ks	70		70		70		70		70		70	
Pente (m/m)	0,01		0,01		0,01		0,01		0,01		0,01	
Diamètre théorique	963,450		819,20		1099,23		1201,4		793,20		1451,14	
Diamètre retenu	1500		1500		1500		1500		1500		1500	
Nombre du buse	02		01		02		01		01		02	
$V\ ps$	4.15		4.15		4.15		4.15		4.15		4.15	
Qps	7.362		7.362		7.362		7.362		7.362		7.362	
$R_q = Q/Q_{ps}$	0.306		0,217		0,482		0,611		0,171		0,554	
$1\ m/s < V < 4\ m/s$	3.643		3.311		3.780		3.98		3.091		4.1	
$V > 0.6\ m/s$	2.656		2.656		2.656		2.656		2.656		2.656	
$V > 0.3\ m/s$	1.328		1.328		1.328		1.328		1.328		1.328	
Hauteur de remplissage	1,40		0,60		0,800		1		0,40		0,860	
Vérification	OK ✓		OK ✓		OK ✓		OK ✓		OK ✓		OK ✓	

VI.2.1.2 Dimensionnement des dalots :

Lorsque vous concevez un canal rectangulaire, comme un dalot, vous devez déterminer la taille

de sa section transversale ainsi que la hauteur d'eau nécessaire pour un fonctionnement optimal. Dans ce processus, une pratique courante consiste à fixer la hauteur de remplissage à 75% de la hauteur totale du canal, ce qui assure une utilisation efficace de sa capacité tout en évitant les débordements. En d'autres termes, vous ajustez la géométrie du canal de manière à ce que 75% de sa hauteur soit remplie d'eau lorsque le débit nécessaire s'écoule, assurant ainsi un fonctionnement efficace et sûr du système.

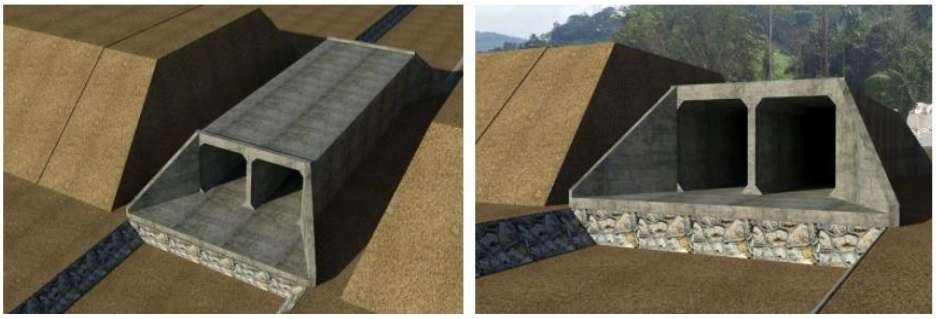


Figure N°VI.12 : Schéma d'un ouvrage busé 1

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

$$Q_S = Q_{max}$$

Q_max= $K_S \times S_m \times R_h^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$

$$Q_{max} = 70 \times (0.75.H.B)\left(\frac{0{,}75.H.B}{B+1{,}5H}\right)^{\frac{2}{3}}.I^{0{,}5}$$

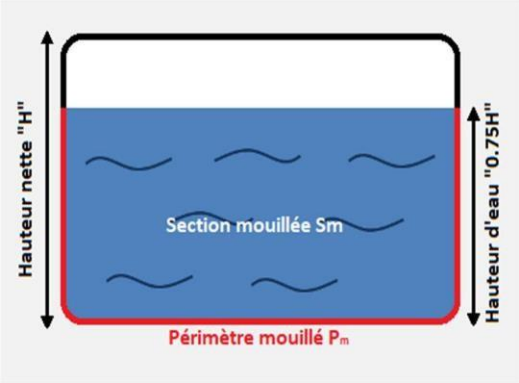


Figure N°VI.13 : Schéma d'un ouvrage busé 2

Pour finalement arriver à une équation où larésolution se fait par la méthode itérative :

$$H_{i+1} = \left[\frac{Q_{max}}{K_S \times I^{1/2}}\right]^{3/5} \times \frac{(B+1{,}5H_i)^{2/5}}{0{,}75B} \qquad \text{Avec : } H_0 = \left[\frac{Q_{max}}{K_S \times I^{1/2}}\right]^{3/5} = 1.59\text{m}$$

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

Application numérique :

Prenons le BV N°7 (PK 84+979) : $\boldsymbol{Q_{max\,(100)}}$ = **8.43** $\boldsymbol{m^3/s}$

On prend : **Ks = 70 ; I =** 0,0108**; B = 2.50 m**

Après le calcul itératif de l'équation précédente on obtient : H =1.721 m

On prend **H = 2 m**

Donc les valeurs retenues pour cette section de dalot sont : **B =2,5 m ; H = 2 m**

Alors : $\boldsymbol{S_m}$ =3.75 $\boldsymbol{m^2}$; $\boldsymbol{P_m}$ =6.75 $\boldsymbol{m}$; $\boldsymbol{R_h}$ =0,750 $\boldsymbol{m}$

$QS = Ks \times Sm \times Rh^{2/3} \times I^{0.5}$= 70 × 3,75× $0.75^{2/3}$ ×$0{,}0108^{0.5}$ =22.52 m/s

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

❖ $\mathrm{H\,c} = \sqrt[3]{\frac{QS}{g \times B^2}} = \sqrt[3]{\frac{22.35}{9{,}81 \times 2.5^2}} = 0{,}71m < 0.75.H = 2\ \boldsymbol{m}$ ✓**Ok**

➢ **Vérification de la vitesse :**

✓ $\mathrm{V} = \frac{\mathrm{Q_{max}}}{Sm} = \frac{\mathbf{8.43}}{3.750} = 2.25\ \mathrm{m/s}$ **< 4 m/s** ✓**Ok**

➢ **Vérification de la condition d'auto-curage :**

L'objectif est d'analyser les vitesses d'écoulement associées aux taux de remplissage de 1 % et 10 % des débits afin de garantir la durabilité de la structure, en tenant compte des problèmes liés à l'érosion des parois et à la stagnation des eaux.

- $Q_{PS} = 22.35\,\boldsymbol{m^3/s}$
- $V_{PS} = \frac{\mathrm{Q_{PS}}}{S} = \frac{22.35}{5} = 4{,}47$ m/s
- $\mathrm{R\,q} = \frac{\mathrm{Q_{max}}}{\mathrm{Q_{PS}}} = \frac{8.43}{22.35} = 0{,}377$ $\quad V = R_v \times V_{PS}$

(Rapport des vitesses V/Vps et le rapport des hauteurs de remplissage h/D Sont retenus en annexe C).

Le tableau ci-dessous montre la vérification des 3 conditions d'auto-curage de l'ouvrage busée

pour le **BV N°07.**

Tableau N°VI.17 : Conditions d'auto-curage de l'ouvrage dalot (BV N°07).

Condition	R_q	R_v	V	Vérification
$V > 1\ m/s$	0.380	0.929	4.15	OK ✓
$V > 0.6\ m/s$	0.1	0.64	2.860	OK ✓
$V > 0.3\ m/s$	0.01	0.32	1.430	OK ✓

Tableau N°VI.18 : Tableau récapitulatif des dimensions des dalots avec les vérifications des conditions d'auto-curage.

Bassin	01			07		
Sm et Pm et Rh	5.625	7	0.803	3.75	6.75	0,750
PK	73+619			84+979		
Q_{max} (100ans) (m^3/s)	62.40			8.43		
Rugosité Ks	70			70		
Pente (m/m)	0.0031			0,0108		
Nombre dalot	12			03		
Dimensions obtenue BxH (mxm)	3.00 x2.50			2,50 x 2,00		
$H_C\ (m) < 0.75H$	0.81			0,71		
$V_{saturation}(m/s) < 4\ m/s$	3,52			3.51		
Q_{ps}	70.21			22.35		
V_{ps}	4,30			2.234		
$R_q = Q/Q_{ps}$	0.888			0,377		
$V > 0.3\ m/s$	3.88			1,43		
$V > 0.6\ m/s$	4.90			2.86		
Vérification	OK ✓			OK ✓		

Tableau N°VI.19 : Liste globale des ouvrages projetés.

N° BV	PK de l'exutoire	S (Km^2)	Q_{100}	Ouvrage projeté	Dimensions
1	73+619	90 579 697	48.02	Dalot	12x (3.00 x2.50)
2	78+518	315 663	2.26	Buse	Φ1500
3	78+687	153 247	1.59	Buse	Φ1500
4	83+305	577 007	3.53	Buse	Φ1500
5	83+743	870 015	4.50	Buse	Φ1500
6	84+779	129 469	1.26	Buse	Φ1500
7	84+979	3 321 052	8.43	dalot	3x (2.50x 2.00)
8	86+729	1 720 943	4.08	Buse	Φ1500

VI.2.1.3 Dimensionnement des ouvrages longitudinaux (fossés) :

Le drainage longitudinal est une composante essentielle de l'infrastructure de transport, car il garantit la sécurité et la durabilité des voies en permettant l'évacuation efficace des eaux de pluie et de ruissellement. En collectant les eaux provenant des flancs et des pentes voisines, il empêche l'accumulation d'eau qui pourrait compromettre l'intégrité de la chaussée.

Pour assurer ce processus, des fossés sont aménagés le long de la voie à une hauteur spécifique, permettant ainsi de guider les eaux vers les ouvrages hydrauliques prévus à cet effet ou vers les cours d'eau existants. Ces canaux sont conçus de manière à optimiser l'écoulement des eaux tout en minimisant les risques d'inondation ou d'érosion.

Pour déterminer précisément les zones nécessitant un drainage, une analyse détaillée est effectuée, comprenant l'examen des profils en travers de la route ainsi que l'étude des caractéristiques topographiques du terrain naturel environnant. Cette démarche permet d'identifier les points sensibles où l'eau pourrait s'accumuler et de concevoir des solutions de drainage adaptées pour garantir la stabilité et la pérennité de l'infrastructure routière.

Le fossé adopté au tracé est un fossé de forme trapézoïdale Ils sont répartis en 3 types en fonction de leurs capacités hydrauliques :

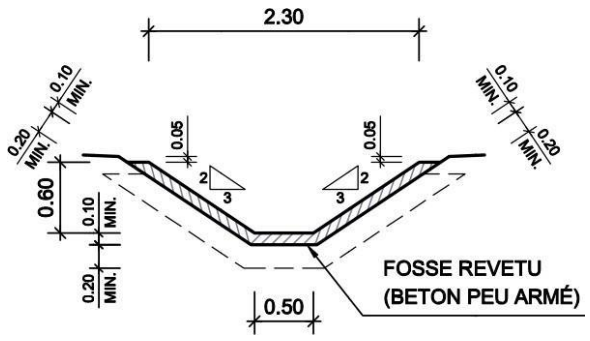


Figure N°VI.14: Schéma du fossé type 1

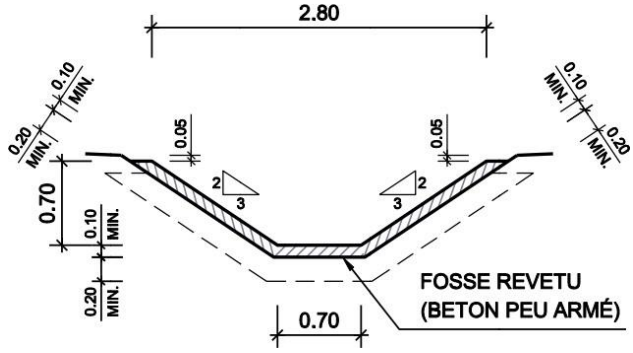


Figure N°VI.15: Schéma du fossé type 2

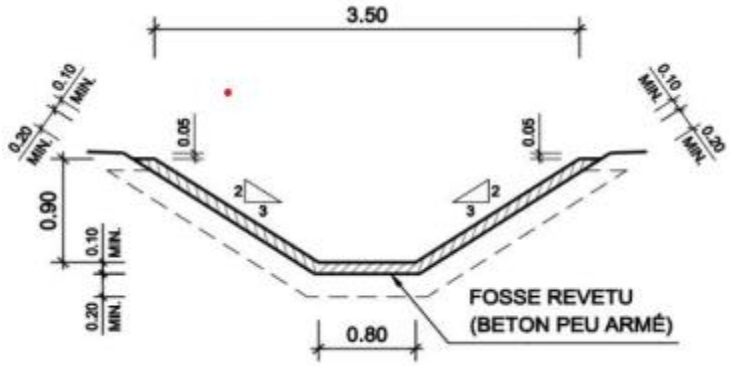


Figure N°VI.16: Schéma du fossé type 3

Calcul des débits d'apport :

Pour le calcul hydraulique de fossé, la formule de Manning Strickler a été utilisée :

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

Avec : $S_m = (b + z \times h) \times h$; $P_m = b + 2h.\sqrt{1 + z^2}$; $R_h = S_m/P_m$

Les hypothèses suivantes ont été émises pour le dimensionnement :

- Coefficient de rugosité Strickler Ks = 75 (correspondant à des fossés consolidés, revêtement en béton grossier).
- La déclivité longitudinale des fossés en zone de déblai est identique à celle du profil en long de la voie.
- Profil trapézoïdal avec une pente du talus (H/V) 1/1.
- Le débit à évacuer qui est la somme des 3 débits La plate-forme, les bermes et les talus : **Qa = Qpf + Qt**
- Le calcul des débits se fait dans le cas le plus défavorable, où il y a un remblai ou un déblai qui s'étend une grande longueur avec une hauteur importante.
- Chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle : $Q = 0.278 \times C_r \times I \times A$

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

Tableau N°VI.20 : Le débit de saturation de chaque type de fossé

Fossé	b	h	z	Sm (m^2)	Pm (m)	Rh (m)	Kst	I (m/m)	V (m/s)
Type 1	0.5	0.6	3/2	0.84	2.66	0.32	50	0.002	1.036
Type 2	0.7	0.7	3/2	1.225	3.22	0.38	50	0.002	1.173
Type 3	0.8	0.9	3/2	1.935	4.04	0.48	50	0.002	1.368

Tableau N°VI.21 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai

		CAS REMBLAI	CAS DÉBLAI
		Le cas plus défavorable :Longueur = 1029m H talus = 6 m Largeur de la plateforme = 8m	Le cas plus défavorable :Longueur = 600 m H talus = 2.15m Largeur de la plateforme = 8m
Plateforme	Cr	0.54	0.54
	P(m/m)	0.04	0.04
	A(Km2)	0,008232	0,0048
	Tc(h)	$t_c = 0{,}127 \times \sqrt{\frac{A}{P}}$	
		0,0576	0.043
	I (mm/h)	$I = a \times t_c^{-b}$ $avec\ a = 21{,}2$ $b = 0{,}81$	
		213,76	271.16
	Qpf (m3/s)	$Q = 0.278 \times C_r \times I \times A$	
		0.264	0.195
Talus	Cr	0.54	0.54
	P(m/m)	2/3	1/1
	A(Km2)	0,006174	0,0024
	Tc(h)	$t_c = 0{,}127 \sqrt{\frac{A}{P}}$	
		0,012227	0.0099
	I (mm/h)	$I = a \times t_c^{-b}$ $avec\ a = 21{,}2$ $b = 0{,}81$	
		750.94	890.98
	QT (m3/s)	$Q = 0.278 \times C_r \times I \times A$	
		0,696	0.321
Qa (m3/s) (totale)		Qpf + QT = 0,960	Qpf + QT =0.516

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

Tableau N°VI.22 : Dimensionnement du fossé proposé.

b	h	z	S_m (m^2)	P_m (m)	R_h	K_s	I (m/m)	Q_s (m^3/s)
0,7	**0,5**	3/2	0.725	2.50	0.278	70	0,02	2.183

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

$$Q_a < Q_s : 1.475 < 2.183$$ ✓**Ok**

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

(b = 0.7m, h = 0.5 m, z = 3/2).

CONCLUSION :

Dans cette section, nous avons examiné l'étude hydrologique et hydraulique dans le cadre de notre projet, afin de garantir sa sécurité et sa stabilité. Nous avons analysé les bassins versants, calculé les débits d'eau et conçu les infrastructures hydrauliques pour réduire les risques d'inondation et assurer des opérations ferroviaires efficaces tout au long de l'année. Cette approche méthodique renforce la durabilité et la fiabilité du projet ferroviaire, tout en préservant les ressources en eau et en atténuant son impact sur l'environnement environnant.

CHAPITRE VII :

ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

CHAPITRE VII : ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

Introduction :

Une étude géotechnique et géologique revêt une importance capitale dans la conception et la réalisation de tout projet ferroviaire. Elle s'attache à analyser en profondeur la composition du sol ainsi que les particularités géologiques du terrain où le projet sera implanté.

Ce chapitre illustre les caractéristiques géologiques et géotechniques des matériaux sur lesquels sera réalisée la nouvelle ligne ferroviaire Laghouat-Ghardaïa, le long du tronçon entre le Pk 70+000 et le Pk 85+000.

VII.1 Étude géologique :

L'étude géologique se concentre sur l'analyse des formations présentes dans la zone d'étude, en examinant leur composition, leur structure et leur histoire.

Cette analyse vise à identifier les différentes couches, les failles, les zones instables, les aquifères et les formations rocheuses. Son objectif est d'évaluer les risques potentiels tels que les mouvements de terrain, les affaissements ou les infiltrations d'eau, qui pourraient avoir un impact sur la conception, la construction et l'exploitation de la voie ferrée. De plus, cette étude contribue à la réduction des impacts environnementaux en proposant la mise en place de mesures d'atténuation appropriées. Elle permet également de distinguer les sites contenant des matériaux réutilisables de ceux de qualité inférieure.

VII.1.1 Présentation de la zone d'étude :

La zone d'étude est localisée au Nord du Sahara, près de 330 km au Sud d'Alger, au pied de l'Atlas Saharien. Cette région se caractérise par la présence de deux domaines géologiquement distincts : l'Atlas Saharien au Nord et la Dorsale du M'zab au Sud.

VII.1.2 Géologie locale :

Géologiquement, nous sommes à la limite de deux domaines totalement distincts : l'Atlas saharien et la Plate-forme saharienne.

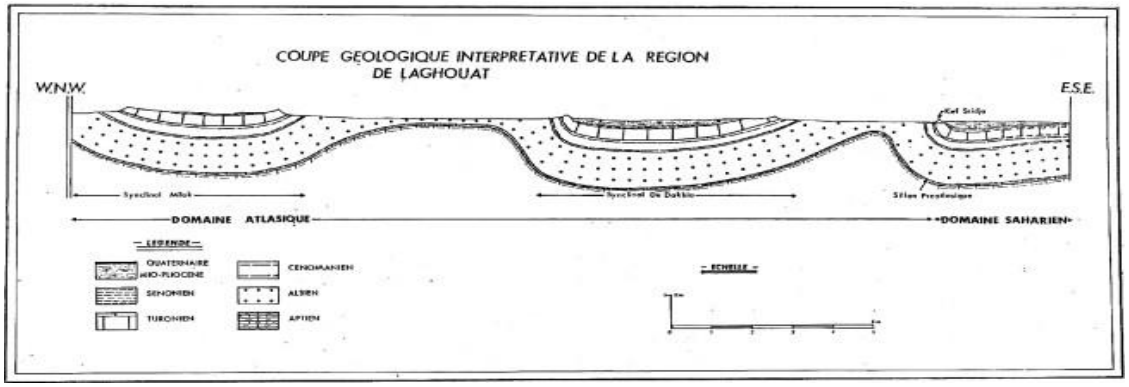


Figure N° VII.01 : Coupe géologique interprétative de la région de Laghouat

Cette zone limite est marquée par l'accident sud atlasique, qui sépare l'Atlas saharien plissé de la plate-forme saharienne stable et tabulaire. Au nord et à proximité de la ville de Laghouat, les reliefs sont occupés par des terrains crétacés très plissés. Leur lithologie est principalement constituée de calcaire dans les strates dures, tandis que les strates tendres sont composées de marnes parfois argileuses. Dans l'Oued M'zi et sa vallée, ce sont principalement les terrasses quaternaires et les alluvions récentes qui prédominent.

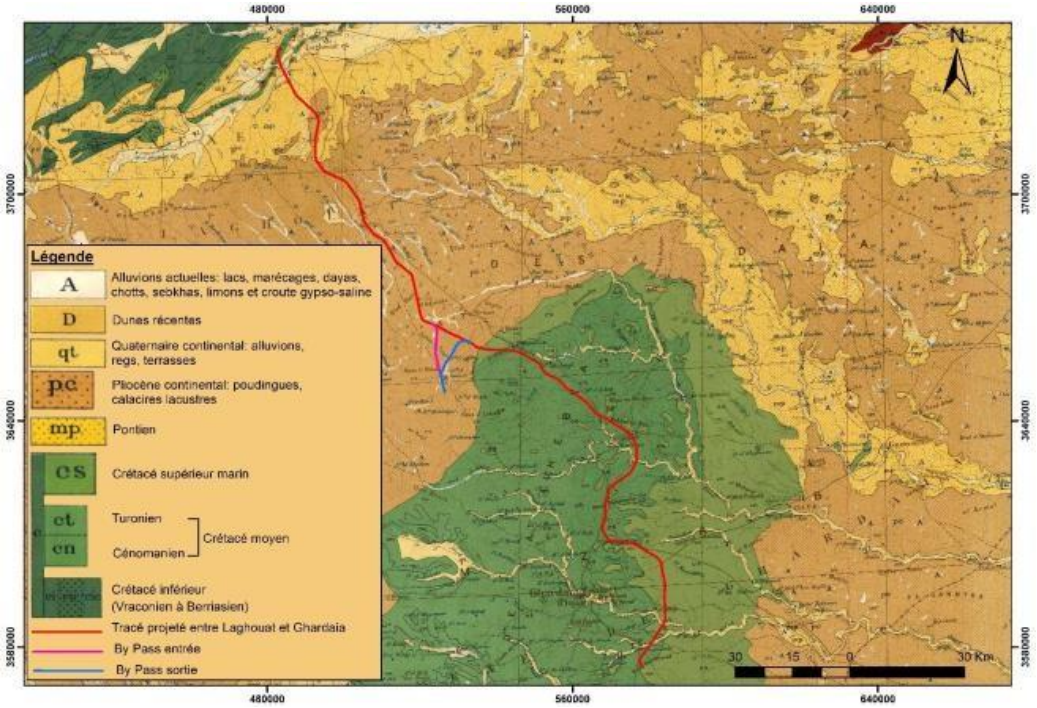


Figure N° VII.02 : Tracé projeté sur carte géologique d'Algérie 1/500 000

Du Pk 70 environ au Pk 85 :

Cette zone est caractérisée par un recouvrement de formation du **Pliocène continental**, appelé « croûte saharienne » de faible épaisseur, formé d'éléments rocheux de calcaires lacustres et poudingues au sein d'un ciment carbonaté

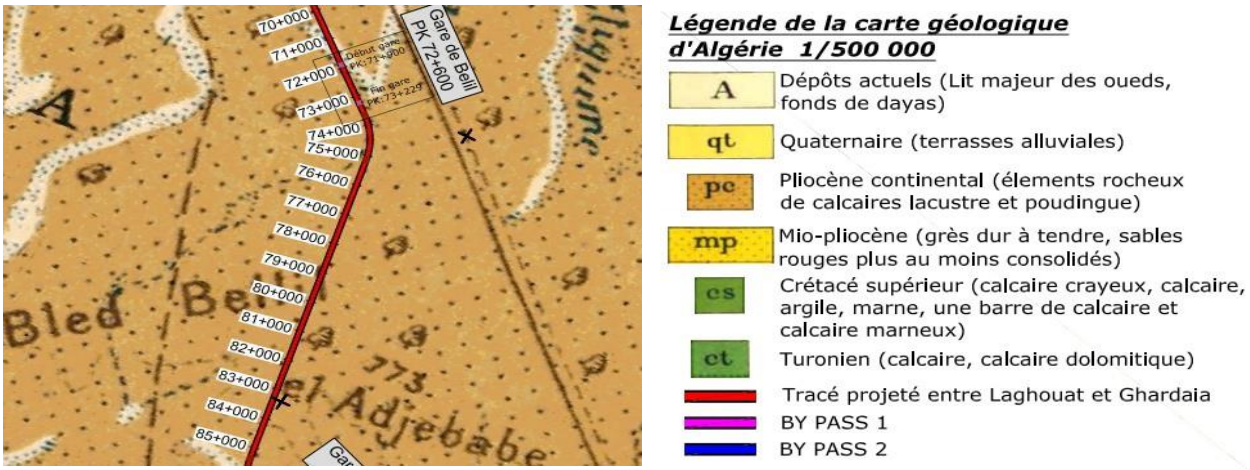


Figure N° VII.03 : Tronçon de PK 70+000 au PK 85+000 sur la Carte géologiques.

VII.1.3 Risques géologiques :

VII.1.3.1 Sismicité :

D'après les règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art (RPOA, 2008) le territoire national est subdivisé en cinq (05) zones de sismicité :

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

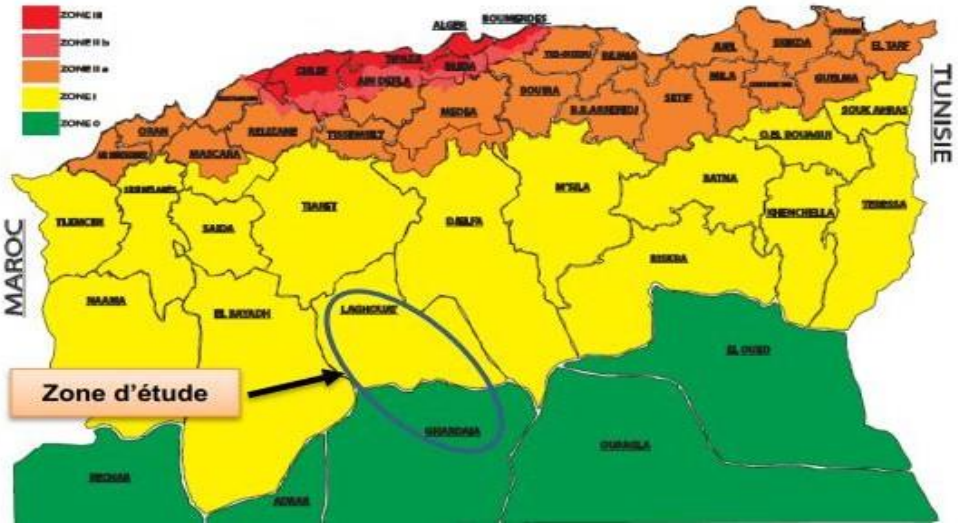


Figure N° VII.01 : Carte de zonage sismique de l'Algérie (RPOA, 2008)

D'après ce découpage la zone d'étude est située entre les deux zones 0 et 1, caractérisées par une sismicité faible à négligeable.

Du Pk 70+000 au Pk 85+000, le tracé traverse la zone 1, caractérisée par une sismicité faible. Négligeable, donc le risque de tremblement de terre est considéré comme faible.

VII.1.3.2 Inondation :

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

La région de Laghouat est caractérisée par un réseau hydrographique important et la surface du plateau des dayas est grêlée d'une infinité de petites cuvettes, où dépressions (daya), qui se remplissent d'eau pendant les averses.

D'autre part, la région de Ghardaïa est caractérisée par un réseau hydrographique dense et une lithologie de type rocheux (sol imperméable) ce qui génère des ruissellements très importants, lors

des crues. Le risque d'inondation est plus élevé dans les secteurs où les constructions et les activités économiques se sont développées, tels que les palmeraies et les lits majeurs des oueds (O. M'zab, O. Metlili, …).

Le tracé projeté entre Laghouat et Ghardaïa traverse plusieurs zones à risque d'inondation ; Large lit d'Oued, chevelu hydrographique important, zones basses et stagnation des eaux, débordement d'Oued et traversé de zone de daya.

Sur notre tronçon d'étude, il existe un risque d'inondation situé entre les PK 73+525 et PK 73+825.

VII.1.3.3 Ensablement :

Dans la région étudiée, des accumulations de sable éolien sont observées. Habituellement, le sable se trouve :

- Captif dans la couverture végétale.
- Sur les bassins versants et dans les lits d'oueds, en raison de l'activité fluviale qui extrait les sables piégés des pentes et les redistribue le long du réseau hydrographique lors des crues.
- Sur les reliefs, où ils servent d'obstacle, ce qui entraîne une adaptation du sable éolien à la forme des reliefs.

VII.2 Étude géotechnique :

La géotechnique, une discipline scientifique, se concentre sur l'analyse des propriétés physiques et mécaniques des roches et des sols.

Son objectif premier est de localiser les différentes couches géologiques et de fournir des informations détaillées sur les caractéristiques de chaque couche ainsi que sur les propriétés mécaniques et physiques du sol, donc la réalisation d'un projet ferroviaire nécessite une compréhension approfondie des terrains traversés, ce qui implique la réalisation d'études géotechniques approfondies.

VII.2.1 Programme d'investigation géotechnique :

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

Lot Tracé :

Une analyse approfondie du sol et de ses caractéristiques géotechniques et morphologiques pour chaque déblai et remblai est cruciale pour choisir une structure d'assise appropriée.

Cette étape vise à évaluer les propriétés physico-chimiques et mécaniques du sol en place afin d'accomplir les tâches suivantes :

- Calculer la capacité portante du sol pour dimensionner la couche d'assise de la voie ferrée. Cela implique l'évaluation de paramètres tels que la résistance à la compression, la cohésion, l'angle de frottement interne et la compressibilité du sol.
- En fonction des caractéristiques du sol, il peut être envisagé d'utiliser le sol local comme matériau de remblai ou de couche de forme. Cette analyse doit prendre en compte des facteurs tels que la stabilité, la capacité portante et la perméabilité du sol.

Lot Ouvrages :

Il est tout aussi crucial de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques du sol pour la construction des ouvrages, en mettant particulièrement l'accent sur la définition des fondations. Les objectifs principaux sont les suivants :

- Rassembler des données précises sur les propriétés physico-chimiques du sol, telles que la granulométrie, la plasticité, la teneur en eau, la composition minérale, la densité, etc. Ces informations permettent d'évaluer la nature et les comportements mécaniques de la zone d'implantation des ouvrages.
- Évaluer la capacité portante du sol sous les ouvrages pour garantir leur stabilité et durabilité. Cela nécessite la réalisation de tests géotechniques appropriés afin de déterminer les paramètres de résistance du sol. Ces données sont ensuite utilisées pour dimensionner les fondations, en prenant en compte les charges appliquées et les caractéristiques du sol.

.VII.2.1.1 Lot tracé :

- **Puits de reconnaissance :**

Les puits de reconnaissance impliquent des forages dans le sol qui servent à examiner les formations géologiques en profondeur, à estimer l'épaisseur de la couche de terre végétale en vue de son retrait, et à recueillir des échantillons modifiés pour une identification et une caractérisation géotechnique en laboratoire.

- **Essai au laboratoire:**

Pour les échantillons prélevés on prévoit la réalisation des essais suivants :

Tableau N°VII.01 : Type d'essais de laboratoire réalisés

Type	Norme
Densités sol et roc	NF P94-053/ NF P94-064
Teneur en eau naturelle	NF P94-050
Analyse granulométrique moyenne	NF P94-041
Analyse sédimentométrique	NF P94-057
Limite d'Atterberg	NF P94-051.
Essai (VBS) valeur de bleu méthylène	NF P94-068
Proctor normal et modifié	NF P94-093
Portance CBR (3 énergies)	NF P94-078
Essai de cisaillement rectiligne UU	Mode opératoire MS-L3- LCPC
Essai de cisaillement rectiligne CD	NF P94-071-1
Essai de compression uni-axial (sol et roc)	NF P94-077 / NF P94-420
Matières organiques	NF P 94-055, P 94-058 et XP P 94-047
Teneur en sulfates	NF ISO 11048
Teneur en carbonate	NF P94-048
Teneur en chlorures	NF EN 196-2

Tableau N°VII.02 : Programme d'investigation de Lot tracé.

Essais géotechnique					
Localisation	**Type**	**Hauteur (m)**	**Essai in situ**	**Profondeur (m)**	**Essai au laboratoire**
71+ 200	Déblai	**0,6**	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	**4**	- Teneur en eau. -Granulométrie. -Limite d'Atterberg. - Proctor modifié. - VBS. -Densité
78+ 800	Remblai	**4,80**		**4**	
82+ 200	Déblai	**1,22**		**4**	

VII.2.1.1 Lot ouvrage :

Pour obtenir les informations requises pour la construction des futurs ouvrages d'art, un programme géotechnique sera mis en place, comme indiqué dans le tableau ci-dessous. À cette fin, la réalisation des essais suivants est envisagée :

Tableau N°VII.03 : Programme d'investigation de Lot ouvrage.

Localisation	**Type d'ouvrage**	**Essai in situ**	**Profondeur**	**Essai au laboratoire**
73+ 900	pont rail	-Sondage carotté d'avec prélèvement des échantillons intact. -Essai au pénétromètre statique SPT	20	-Teneur en eau. -Granulométrie. -Limite d'Atterberg. -Densité -Analyses chimiques -Essais œdométriques -Essais cisaillement rectiligne UU - Essais cisaillement rectiligne CD
75+ 330	pont routier (Passage supérieur)		15	
84+ 780	pont routier (Passage supérieur)		15	

VII.2.1.2 Résultats essais au laboratoire :

Tous les échantillons prélevés à partir des puits de reconnaissance et des sondages carottés ont été soumis à des analyses en laboratoire conformément aux normes en vigueur, comme indiqué dans les tableaux ci-dessous :

Tableau N°VII.04 : Résumé des résultats des essais de laboratoire réalisés sur les échantillons des puits de reconnaissance.

Puits	PK	Profondeur	Granulo	Limites d'Atterberg(%)			γd (t/m3)	VBS	Classification GTR
			<80 µm	Wl	Wp	Ip			
PU19	71+200	0.50	22	23.12	-	N.M	1.79	0.50	B5s
PU20	78+800	0.20	24	21.37	-	N.M	1.94	0.57	B5s
PU21	82+200	0.70	27	23.39	-	N.M	1.63	0.31	B5s

Tableau N°VII.01: Résumé des résultats des essais de laboratoire réalisés sur les échantillons des sondages carottés.

N°f	Profondeur	W	Densité (t/m3)			Limites d'Atterberg			Granolu	Cisaillement			Oedométre			RCS	Analyses chimiques %					Classification
		%	γd (t/m3)	γh (t/m3)	SR	Wl	Wp	Ip	<80µm	type	C (bars)	Φ (°)	Pc	Cc	Cg	(kg/Cm^2)	SO4	CaCO3	Cl-	CO2	MO	GTR
17	4.30-4.40	6.21	2.7	2.41	89	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	73.91	0.35	32.52	/	/
	8.00-8.20	/	2.46	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	391	/	/	/	/	/	R2s
	14.15-14.45	/	2.12	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	38	/	/	/	/	/	R2s
	17.10-17.50	/	1.97	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	19	/	/	/	/	/	R2s
18	1.5-3.00	/	1.39	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	64	0.025	/	/	/
	3.80-3.85	/	2.72	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	4.40-4.55	/	2.45	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	88	/	/	/	/	/	R2s
	13.80-14.00	/	2.20	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	111	/	/	/	/	/	R2s
19	3.00-3.20	/	2.63	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	148	/	61	0.015	/	/	R2s
	7.30-7.55	/	2.55	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	225	/	/	/	/	/	R2s
	12.00-13.00	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	Traces	/	/	/	/	/

Interprétations et observations :

Tableau N°VII.06 : Interprétation des résultats du programme d'investigation géotechnique.

Propriétés	Variation	Commentaires
Densités sèches	1,39-2,72	Ces variations de densité sèche montrent que le sol peut aller de peu dense à très dense, influençant ainsi sa capacité à supporter des charges et sa résistance globale.
Résistance à la Compression simple	19-391	Nous sommes dans une plage de résistance allant de faible à élevée, mais globalement, nous sommes dans un bon contexte.
Carbonate de calcium	61-73,91	La forte teneur en carbonates confère au sol une composition riche en calcaire.
Valeurs au bleu de méthylène	0,31-0,57	le sol n'est pas sensible à l'eau, ce qui signifie qu'il ne subit pas de changements de volume significatifs.

VII.2.2 Unités géotechniques :

La présente section porte sur le comportement géomécanique des grandes unités géotechniques identifiées le long du tracé. Ce travail repose essentiellement sur une synthèse des résultats des essais in situ et en laboratoire effectués, ainsi que sur la nature et l'origine de la formation géologique.

Les unités géotechniques considérées et affectées par le tracé étudié se présentent comme suit :

Unité 01: Plio-quaternaire

a) **Encroutement calcaire (Enc) :** Cette unité de Plio-quaternaire de couleur brunâtre assez graveleux caillouteuse, parfois intercalée par des passages rocheux est très répandue sur tout le tracé. Les coupes de sondages ont toujours révélé la présence de cette unité sur des épaisseurs variables, aller de 02m jusqu' à 05m environs, néanmoins toujours comme couches superficielles ou parfois au-dessous d'une fine couche de tout venant.

Unité 02: Mio-pliocène

a) **Sable rougeâtre et sable grésifié (sa) :** Il s'agit de sable moyen à grossier rougeâtre, plus ou moins consolidé et grésifié, d'âge Mio-Pliocène, détecté sur l'ensemble des 15 km de notre tracé. Cette couche de faible épaisseur résulte de l'altération des grès, qui sedéveloppe bien en profondeur, et elle est recouverte par l'unité des encroûtements.

b) **Grès (gr) :** Cette unité d'âge Mio-Pliocène se manifeste principalement à partir du PK 70+000 jusqu'au PK 76+000. Elle présente une consistance généralement tendre et friable avec des intercalations carbonatées et parfois des passages marneux, d'épaisseurs relativement importantes, et devient plus dure en profondeur pour former le substratum de cette section d'étude. Elle est recouverte par l'unité des encroûtements calcaires

Tableau N°VII.07 : Les différentes caractéristiques géotechniques du sol traversé par le projet selon les unités géotechniques

Paramètres	Désignation	Unité 1.a	Unité 2.a	Unité 2.b
Poids volumique sec	γd (t/m3)	2.08	1.91	2.12
Poids volumique humide	γh (t/m3)	2.12	2.02	2.02
Teneur en eau	W (%)	6.6	5.60	5.02
Degré de saturation	Sr (%)	40	38.9	15.5
Granulométrie	< 2mm	76	82.2	Non réalisable
	< 80µm	31	36	
Limites d'Atterberg	WL (%	36	45	/
	WP (%)	24	28	/
	IP (%)	23	21	/
Compression simple	Rc (bars)	29.0	/	145
Compressibilité àl'odomètre	Pc (bars)	/	/	/
	Cc (%)	/	/	/

	Cg (%)	/	/	/
Cisaillement rectiligne UU	Cu (bars)	/	/	/
	φu (°)	/	/	/
Cisaillement rectiligne CD	C’ (bars)	/	0.02	/
	Φ’ (°)	/	34	/
Analyse chimique des sols %	SULFATES (CASO4, 2H2O)	9.76	1.61	Traces
	CHLORURES NaCl	0.02	0.21	0.47
	CARBONATE CaCO3	53.20	22	21

VII.2.3 Contraintes géotechniques :

VII.2.3.1 Risque d’inondation :

Zone de PK 73+525 AU PK 73+825 :

Le tracé croise Oued Bellil dans cette zone, qui a un débit centennal de 62.02 m3/s, le niveau d’eau correspondant à ce débit égale à 771.775 et la largeur de lit majeur est de 290.88 m.

Pour traverser cette zone nous avons proposé de projeté un dalot multicellulaire 12(3.00x2.50m).

Sur le plan géotechnique, il est crucial de dimensionner les remblais dans les zones inondables pour assurer leur stabilité et leur durabilité. Ils doivent être protégés par des enrochements latéraux ou des perrés, avec l'ajout d'un dispositif anti-contaminant entre le corps du remblai et les enrochements. L'utilisation de géotextiles renforce la capacité des structures de support à résister à la contamination, facilite la mise en place des couches d'assise et prévient l'orniérage des couches de forme en sol.

Dans les zones inondables, il est impératif de concevoir un profil de remblai avec une hauteur supérieure à NPHE + 0,5 m (voir annexe F).

VII.2.3.2 Risque de salinité (agressivité chimique du sol) :

Tous les résultats des analyses chimiques du sol réalisées sur les échantillons prélevés lors des sondages ont révélé la présence de traces de sulfates, indiquant un environnement à risque d’agressivité chimique faible.

Cependant, il convient d'utiliser un ciment résistant aux sulfates (CRS) pour éviter ce risque.

VII.2.4 Réutilisation des matériaux des déblais :

Le matériau rencontré sur notre tracé est classé R2. Sa réutilisation est sujette aux recommandations du Guide Technique pour la Réalisation des Remblais et des Couches de Forme (GTR), cette classification étant détaillée dans les paragraphes suivants.

- **Classe R2 :**

Cette classe correspond aux matériaux rocheux de nature calcaire, selon leurs densités nous les avons subdivisées en deux sous-classes :

✓ **(Sous-classe R22)**

Il s'agit de calcaire, calcaire dolomitique et calcaire conglomératique de densité moyenne. D'après le guide GTR ces matériaux sont réutilisables pour les remblais. Les conditions de leur réutilisation dépendent de la nature et de l'état du sol obtenu en chantier après extraction.

✓ **(Sous-classe R23)**

Il s'agit de calcaire tuffacé fragmentable (encroûtement), rencontré essentiellement en couche de recouvrement . D'après le GTR, ces matériaux sont réutilisables pour les remblais.

La réutilisation de ces matériaux en remblais se fera selon les recommandations dictées par le guide GTR.

Conclusion :

L'étude approfondie nous a permis d'évaluer avec précision les caractéristiques géologiques du site, d'identifier les risques géotechniques potentiels et de proposer des mesures d'atténuation appropriées. L'analyse des données géologiques a également déterminé les formations géologiques présentes et mis en évidence des zones à risque, telles que les zones d'inondation. Grâce à cette identification précoce, des mesures préventives et correctives ont été recommandées.

Il convient de souligner que l'étude géologique et géotechnique est un processus itératif et évolutif, nécessitant une surveillance continue tout au long de la construction et de l'exploitation du projet ferroviaire. Cette approche garantit que les éventuels changements ou nouveaux risques identifiés en cours de projet seront pris en compte et traités de manière adéquate.

CHAPITRE VIII :
ASSISE FERROVIAIRE

CHAPITRE VIII : ASSISE FERROVIAIRE

Introduction :

Lorsque l'on évoque les chemins de fer, l'image des trains filant à grande vitesse entre des destinations lointaines vient souvent à l'esprit. Pourtant, en coulisses de ces voyages impressionnants, se trouve une infrastructure ferroviaire complexe, constituée de voies solides et sécurisées. Au cœur de cette infrastructure se trouve le corps d'assise ferroviaire, une composante essentielle garantissant la stabilité et les performances globales du système ferroviaire.

Le dimensionnement du corps d'assise ferroviaire est une discipline cruciale de l'ingénierie ferroviaire qui vise à déterminer les caractéristiques optimales de cette fondation de voie. Dans ce chapitre, nous examinerons en détail les principes fondamentaux et les considérations clés du dimensionnement du corps d'assise ferroviaire, en mettant particulièrement l'accent sur les éléments essentiels influençant sa conception.

VIII.1 Les couches d'assise ferroviaire :

Les différentes couches d'assise, comprenant le ballast, la sous-couche et la plate-forme, remplissent les fonctions principales suivantes :

- Absorber les vibrations importantes provenant du contact entre les rails et les roues.
- Répartir de manière presque uniforme les charges provenant des traverses sur la plate-forme.
- Contribuer à la stabilité longitudinale et transversale de la voie ferrée.
- Assurer l'évacuation des eaux de ruissellement par le drainage.

VIII.1.1 Le ballast :

Le ballast, un matériau granulaire essentiel à la construction des voies ferrées, se distingue par une caractéristique clé : chaque particule est complètement concassée sur sa surface. Intégré à la superstructure, il offre une résistance considérable aux diverses contraintes subies par la voie. Composé de roche concassée, le ballast est soumis aux normes strictes définies par la SNTF et la norme NF P53-695, garantissant sa qualité pour une utilisation ferroviaire optimale. Pour ce faire, il est impératif de satisfaire aux exigences suivantes :

- La granulométrie doit être maintenue dans une plage spécifique (25/50 mm) et se conformer à des limites énoncées dans la Norme Européenne CEN/TC/154 AD HOC Group Aggregates for Railway Ballast.
- La résistance à la fragmentation Los-Angeles doit être inférieure ou égale à 19 %.
- La résistance à l'usure Micro Deval doit être inférieure ou égale à 6 %.
- La résistance à la compression (RC) doit être supérieure ou égale à 1200 kg/cm².
- La forme des granulats, caractérisée par leur angularité et leur rugosité de surface, doit garantir une bonne cohésion de la masse, et le contact entre le ballast et les traverses doit permettre de les immobiliser efficacement.

- La propreté des matériaux doit être assurée, avec l'élimination de toute matière indésirable, et la masse relative des éléments passant à travers un tamis de maille carrée de 1.6 mm ne doit pas dépasser 0.5 %.

Les principales fonctions et rôles du ballast :

Le ballast joue un rôle crucial en accomplissant plusieurs fonctions essentielles dans la construction des voies ferrées :

- Assure une répartition uniforme des charges des véhicules ferroviaires sur la plateforme, évitant ainsi toute déformation due à l'affaissement et permettant une transmission homogène des charges.
- Augmente la stabilité de la superstructure de la voie en encastrant les traverses.
- Facilite le drainage et l'évacuation des eaux superficielles grâce à sa granularité spécifique, prévenant ainsi les problèmes d'inondation.
- Agit comme un amortisseur de vibrations efficace grâce à sa propriété rhéologique, dissipant l'énergie des vibrations par frottement entre ses éléments, garantissant ainsi la sécurité et le confort des circulations.
- Limite la dilatation thermique à un niveau minimal.
- Empêche la croissance des plantes sous la voie, évitant ainsi des problèmes potentiels.

VIII.1.2 Sous couche :

La sous-couche est une strate d'ajustement placée entre la couche de ballast et la plateforme. Elle peut être constituée d'une seule couche ou de plusieurs couches. Typiquement, elle se compose, de haut en bas, d'une couche de grave propre et bien calibré (0/31.5) en dessous du ballast, suivie d'une couche de fondation en cas de sols de mauvaise qualité. Si nécessaire, une couche anti contamination est ajoutée, accompagnée de feuilles de géotextile pour la séparation.

Rôle de la sous couche :

Elle exerce diverses fonctions, notamment :

- Protection de la partie supérieure de la plateforme contre l’érosion qui résulte, soit, d’une part du poinçonnement opéré par les éléments de ballast, soit, d’autre part, de l’action des eaux.
- Protection des plateformes contre les effets du gel
- Meilleure répartition des charges transmises, permettant d’obtenir au niveau de la partie supérieure de la plateforme des sollicitations de valeurs admissibles, à l’égard de l’indice de portance du sol.
- Amélioration de la portance du sol
- Contribution à l’amélioration des propriétés vibratoires
- Anticontamination entre la plate-forme et la couche de ballast

VIII.1.3 La géotextile :

Les géotextiles sont des matériaux perméables à l'eau et à l'air, faisant partie des géo-synthétiques, qui trouvent diverses applications telles que la séparation et la prévention de la contamination, le drainage filtrant, ainsi que le renforcement des structures.

VIII.1.4 La plate-forme :

La partie supérieure de la structure en terre qui supporte la sous-couche, appelée plateforme, peut être composée de terres rapportées pour un remblai ou du sol naturel pour un déblai. Le sol constituant la plateforme doit remplir plusieurs fonctions essentielles :

- Distribuer de manière équilibrée les charges imposées par la superstructure.
- Assurer le drainage des eaux de ruissellement et des eaux de pluie vers le système d'assainissement.
- Prévenir la pénétration du ballast par les limons et les argiles provenant du sol.
- Amortir les vibrations générées par le trafic des véhicules.
- Abaisser le niveau des eaux souterraines.

VIII.2 Classification des sols pour la plateforme :

La qualité du sol dépend de sa nature géotechnique ainsi que des conditions hydrogéologiques ou hydrologiques locales. L'évaluation de la nature géotechnique est effectuée par le biais de l'identification géotechnique, tandis que les conditions hydrogéologiques ou hydrologiques favorables sont déterminées par divers critères. Parmi ces critères figurent la présence d'une couche supérieure de sol située au-dessus de toute nappe phréatique naturelle, l'absence de percolations naturelles et le bon fonctionnement des systèmes de drainage pour évacuer les eaux de pluie.

L'analyse de ces paramètres permet d'évaluer la qualité globale du sol, garantissant des conditions favorables tant du point de vue géotechnique que hydrologique.

La fiche UIC 719 R permet de distinguer quatre classes de qualité de sols selon la classification des sols (identification géotechnique), comme indiqué dans l'annexe D.

D'après la fiche UIC 719R, et afin d'homogénéiser la structure d’assise, nous considérons que le sol support est de type QS2 tout le long du tracé.

VIII.3 La classe de portance de la plateforme :

Le choix du type de plate-forme dépend de la nature et de l'état hydrique des sols constituant le sommet des remblais ou ceux situés au niveau de la fondation de la plateforme en excavation, ainsi que de leur épaisseur. Conformément au code UIC 719 R, page 16, trois classes de qualité des sols sont établies : P1 (qualité médiocre), P2 (qualité moyenne) et P3 (bonne qualité).

Chaque classe correspond à une capacité de support spécifique. Les plateformes de qualité médiocre ont une capacité de support limitée, tandis que celles de qualité moyenne offrent une capacité de support modérée. Les plateformes de bonne qualité sont composées de sols de haute

qualité et peuvent supporter des charges importantes.

Classer les plateformes en fonction de ces types permet de sélectionner les sols appropriés et de garantir une construction adaptée aux charges prévues.

Tableau N°VIII.01 : la classe la portance de la plate-forme (normes UIC 719R)

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

Plate-forme proposée:

Compte tenu de ce qui précède, notamment de la classe des qualités du sol support le plus souvent rencontré le long du tracé est **QS2**, ainsi que les prescriptions données par les UIC nous conseillons d'opter pour une plateforme de **type P3** (plateforme bonne) dimensionnée préalablement pour un tel type de sol (QS2).

Couche de forme:

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

VIII.4 Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise :

Le calcul de l'épaisseur requise est basé sur la méthode définie dans le code UIC 719 R, en tenant compte des paramètres spécifiques à la section en cours d'étude. Cette méthode utilise une formule qui prend en considération les paramètres notés :

$$e \geq E + a + b + c + d + f + g$$

Avec :

E : facteur dépendant des classes de portance (P1, P2 ou P3).
a : facteur dépendant de l'UIC groupes (groupe 1 à 6, UIC714R).
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.

Les détails et les valeurs de ces paramètres sont fournis dans l'annexe E du code UIC 719 R, à la page 30.

Dans le cadre de ce projet spécifique, nous avons sélectionné les valeurs suivantes conformément à la documentation UIC 719 R :

Tableau N°VIII.02 : Dimensionnement de la couche d'assise.

Paramètre	Valeur	Critère de choix
E	0,45	Pour une plate-forme de classe de portance P3
a	0	Pour les lignes de vitesse V>160 Km/h.
b	0,13	Pour les traverses en béton de longueur L = 2,24 m
c	0	Pour un dimensionnement normal.
d	0,05	Pour la charge nominal d'essieu de 20 ton/axe).
f	0	pour une plate-forme de classe de portance P3 , et ligne à grande vitesse
g	0	pas de géotextiles pour couches de forme de qualité de sol QS3
Épaisseur de e (m)	0,63	
Épaisseur adopte (m)	0,65	

Tableau N°VIII.03 : Épaisseurs des composants de la structure d'assise.

Couches	Epaisseur (cm)
Ballast	30
Sous-ballast	20
Couche de fondation	15
couche de forme de type S3	35

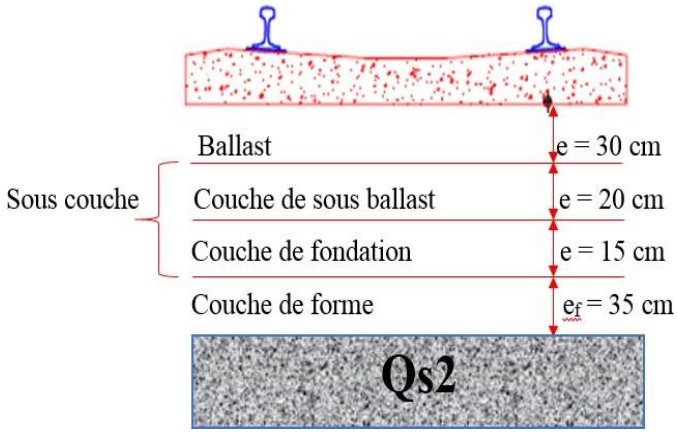


Figure N°VIII.01 : Les composants de la structure d'assise

Conclusion :

En conclusion, l'étude de l'assise ferroviaire et de son dimensionnement revêt une importance capitale dans la conception et la construction de voies ferrées robustes et fiables. Nous avons constaté que la qualité de l'assise joue un rôle déterminant dans la stabilité structurelle, la résistance aux charges et la durabilité globale des infrastructures ferroviaires. En respectant les normes de l'UIC et en effectuant un dimensionnement approprié, nous assurons non seulement la sécurité des voyageurs et du matériel roulant, mais également la pérennité des voies, garantissant ainsi un réseau ferroviaire efficace et performant pour les générations futures.

CHAPITRE IX :
PROFIL EN TRAVERS

CHAPITRE IX : PROFIL EN TRAVERS

Introduction :

Une fois le tracé en plan et le profil en long établis, on passe à l'élaboration du profil en travers. Cette étape est cruciale dans un projet ferroviaire car elle permet de définir avec précision la section type projetée pour le couloir, ainsi que les volumes de déblais et de remblais nécessaires. Les travaux de terrassement, qui incluent le nivellement et l'excavation, sont ensuite effectués pour matérialiser les profils transversaux et assurer l'installation de la structure d'assise et du réseau d'assainissement. Cette phase garantit également la stabilité du terrain et l'efficacité du drainage, contribuant ainsi à la durabilité et à la sécurité de l'infrastructure ferroviaire.

IX.1 Profile en travers :

Le profil en travers représente une section transversale réalisée selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe projeté des voies. Pour simplifier les dimensions sur chaque profil, l'échelle généralement utilisée est de 1/100, signifiant un centimètre pour un mètre.

Il existe deux types de profils en travers :

- Profil en travers type:

Un profil spécifique est créé pour chaque section, détaillant de manière précise toutes les dimensions et caractéristiques constructives telles que les largeurs des voies, les pentes des surfaces et des talus, les dimensions des couches de la superstructure et de l'infrastructure, ainsi que les systèmes d'évacuation des eaux, entre autres.

- Profil en travers courant:

Le profil en travers courant constitue une composante fondamentale des projets. Il est appliqué au point kilométrique (PK) spécifié et contient toutes les informations décrivant la section transversale de la voie à ce PK donné, notamment les côtes du terrain naturel (TN) et du projet, ainsi que les inclinaisons de la plate-forme. Ces données sont essentielles pour le calcul des volumes de terrassement**.**

IX.2 Etablissement du profil en travers :

Les éléments essentiels du profil en travers comprennent :

- **Les éléments de superstructure:**

- Le type de rail utilisé.
- La valeur de l’écartement de la voie.
- La distance entre les axes (cas de plusieurs voies), pour notre projet : voie unique.
- Le type de traverse utilisé.
- La valeur de devers en courbe (maximum).

- L'épaisseur de la couche de ballast

Les éléments de l'infrastructure:

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

Les éléments du talus:

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

Les éléments d'assainissement:

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

IX.3 Le profils en travers du projet d'étude :

- Type de ligne : unique voies mixte électrifiée.
- Écartement de la voie : 1.435 m (standard).
- Largeurs de la plate-forme :8 m.
- Pente latérale de la plate-forme : 4%.
- Épaisseur du ballast: 30 cm.
- Épaisseur du sous-ballast : 20 cm.
- Épaisseur de la couche de fondation : 15 cm.
- Pente talus (déblai : 1 /1 et remblai : 2 /3)
- Une bande 700 mm sera prévue pour l'implantation des équipements de signalisation.

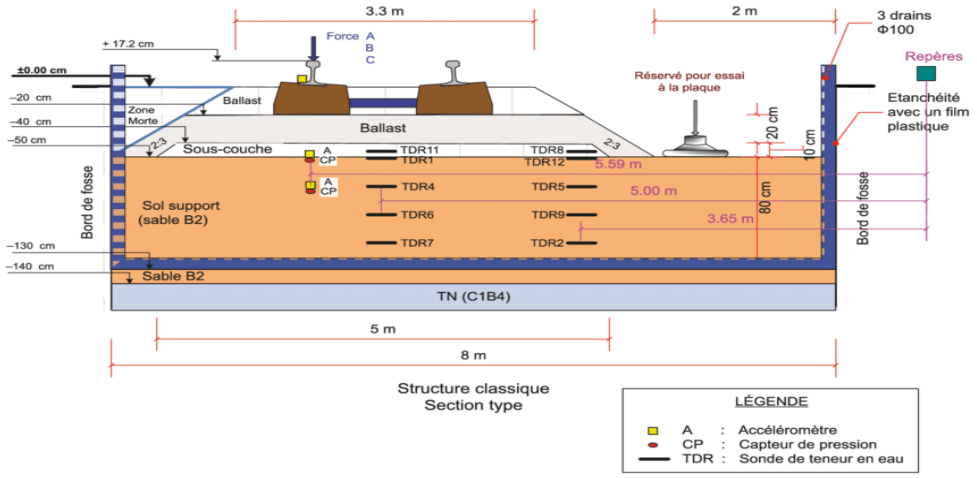


Figure N° IX.01 : Constituant d'un profil en travers

Le profil en travers type en pleine voie, du présent projet, correspondant à un profil pour voie **unique**, il présente une largeur de plateforme de 8,0 m soit en déblais soit en remblai. Le profil en travers présente une forme asymétrique, avec une largeur droite de 4,70 m et une largeur gauche de 3,30m mesurés à partir de l'axe de la voie. La superstructure est formée par des rails UIC-60

espacé de 1435 mm et des traverses bibloc, sur ballast dont son épaisseur minimale est de 0,30 m et sa pente latérale est de 2/3.

IX.4 Les Cubatures :

Les mouvements des terres désignent tous les travaux de terrassement, et ils ont objectif primordial de modifier la forme du terrain naturel pour qu'il soit disponible à recevoir des ouvrages en terme général. Ces actions sont nécessaires et fréquemment constatées sur les profils en longs et les profils en travers. La modification de la forme du terrain naturel comporte deux actions, la première s'agit d'ajouter des terres (remblai) et la deuxième s'agit d'excaver des terres (déblai).

On définit **les cubatures de terrassement** par l'évolution de nombre des cubes de déblais et remblais que comporte le projet à fin d'obtenir une surface uniforme sensiblement rapprocher et sous adjacente à la ligne rouge de notre 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 automatique des cubatures de terrassement a été fait à l'aide du logiciel autopiste, les détails de calcul résumés dans les tableaux suivant :

Tableau N° IX.01 : Les cubatures des terrassements

Volume déblais (m^3)	Volume remblais (m^3)	Volume de décapage du terre végétal (20 cm) m^3
110365	590523	72690

Tableau N° IX.02 : Les cubatures des couches d'assise

Nature	Ballast	Sous ballast	Couche de fondation	Couche de forme
Volume (m^3)	36542	30194	25244	66421

N.B : Des tronçons de profil en travers sont joints en plans format A3.

Conclusion :

En déterminant la section type projetée ainsi que les volumes de déblais et de remblais, tout en prenant en compte les préoccupations environnementales, cette étape permet d'assurer la réalisation d'une infrastructure ferroviaire optimale en termes de sécurité, d'efficacité et de durabilité.

CHAPITRE X : TERRASSEMENTS ET OUVRAGES

CHAPITRE X : TERRASSEMENTS ET OUVRAGES

Introduction :

Les travaux de terrassement et les ouvrages sont essentiels à tout projet ferroviaire ambitieux. Ils ne se limitent pas à de simples constructions, mais constituent les bases solides sur lesquelles repose l'ensemble du réseau ferroviaire. Ce chapitre mettra en lumière l'importance de ces éléments clés, en détaillant les différentes phases, techniques et considérations nécessaires à leur réussite. Nous aborderons également les aspects géotechniques et environnementaux qui doivent être pris en compte lors de ces travaux.

Pour ce qui est des ouvrages, nous discuterons de leur intégration dans le réseau ferroviaire global. Les ponts, en particulier, jouent un rôle crucial en permettant de franchir des obstacles naturels comme les cours d'eau, les vallées ou les zones urbaines denses.

X.1. Les terrassements :

Les travaux de terrassement concernent les activités visant à modifier la topographie d'un terrain afin de créer une plate-forme ferroviaire. Ces modifications du sol sont réalisées par des opérations de déblai et de remblai, parfois de grande ampleur. Le remblai consiste à apporter des matériaux pour élever le niveau du sol existant, comblant ainsi les creux ou dépressions du terrain. À l'inverse, le déblai réduit le niveau du sol en enlevant des matériaux, abaissant ainsi les reliefs ou élévations excessives.

Un talus en construction est une pente résultant des travaux de terrassement. Il s'agit d'une surface inclinée qui peut être sujette à des mouvements indésirables si des mesures appropriées ne sont pas prises pour assurer sa stabilité.

Il est crucial de noter que lorsque les hauteurs des déblais et remblais dépassent un certain seuil, il existe un risque de rupture, souvent sous la forme de glissements de talus.

De manière générale, les travaux de terrassement sont exécutés en trois phases :

- L'extraction
- Le transport
- La mise en remblai ou en dépôt



Figure N°X.01 : Les travaux de terrassement

X.1.1 Ouvrages en terre :

L'étude et le contrôle de l'exécution des ouvrages en terre nécessitent une attention particulière afin d'assurer le bon fonctionnement dynamique du système (véhicule + voie + ballast + ouvrage en terre) et de maintenir des efforts acceptables au niveau du contact rail/roue.

X.1.1.1. Exigences environnementales des ouvrages en terre :

Pour garantir une intégration harmonieuse des ouvrages en terre dans leur environnement, il est essentiel de respecter certaines recommandations sur les exigences environnementales :

- **Choix des matériaux :**

Les matériaux, en particulier ceux placés en surface, doivent être sélectionnés de manière à préserver la végétation locale et la biodiversité. Il est crucial de prendre en compte l'impact sur l'écosystème environnant et de privilégier les matériaux compatibles avec l'environnement naturel.

- **Impacts hydrogéologiques** :

Il est nécessaire d'analyser les interactions entre l'ouvrage en terre et les eaux souterraines, afin de minimiser les effets néfastes sur les ressources en eau et les écosystèmes aquatiques.

- **Protection des sites archéologiques :**

Avant la réalisation de l'ouvrage en terre, des études préliminaires doivent être effectuées pour identifier la présence de ruines archéologiques et mettre en place des mesures de préservation.

X.1.1.2. Conditions de réalisation des remblais :

Pour garantir une meilleure qualité, stabilité et durabilité de la couche de remblai, il est essentiel de respecter les conditions suivantes :

- Enlever la couche de terre végétale.
- Effectuer le remblai en couches de 30 cm d'épaisseur.
- Compacter chaque couche de remblai avec des compacteurs appropriés.
- Employer un matériau de remblai adéquat.
- Prévoir une pente transversale minimale de 4% pour éviter la stagnation des eaux de pluie.
- Suivre les prescriptions géotechniques et les normes de terrassement.

X.1.1.3. Conditions d'excavation de déblai :

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

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

X.1.2. La stabilité :

La stabilité des ouvrages en terre est cruciale pour assurer leur sécurité à court et à long terme. Elle est évaluée par des calculs basés sur les caractéristiques du sol, telles que la résistance, le poids spécifique (γ), la cohésion (C') et l'angle de frottement interne (ϕ'). Les méthodes de calcul adéquates tiennent compte de la pente du terrain, de la charge appliquée et des conditions environnementales.

L'objectif est de réduire au maximum les risques de glissement ou d'affaissement en prouvant que l'ouvrage peut résister aux forces exercées sur lui.

X.1.3. Tassement :

Lors de l'étude des tassements des remblais, il est crucial de s'assurer que les tassements prévus après la mise en service peuvent être gérés de manière appropriée. Dans le cas de sols sensibles à l'eau ou au gel, ou d'une hydrologie défavorable, des mesures spécifiques pour la stabilité et la durabilité des remblais doivent être prises en compte :

- Renforcement des remblais en recouvrant avec une couche de sol de qualité supérieure.
- Mise en place de drains verticaux pour favoriser le drainage et prévenir l'accumulation d'eau.
- Retrait des sols compressibles du substrat en cas de faible profondeur pour diminuer les risques de tassement excessif.

X.1.4. Pentes et talus :

Pour garantir la sécurité et la stabilité globale de la construction, des études géotechniques sont menées afin de déterminer la pente optimale du talus. Cela dépend de plusieurs facteurs, notamment :

- caractéristiques géotechniques des sols.
- La hauteur de l'ouvrage.
- La topographie du site et les risques naturels.

Les pentes de talus généralement utilisées et exprimées en fraction base (V) sur hauteur (H) sont les suivantes :

- En déblai : 1/2, 2/3.
- En remblai : 2/3, 1/2. (1/1 ou 1/1,25 dans le cas d'un réseau rocheux)

N.B. : dans notre projet on adopte une pente de 2/3 que ce soit pour remblai et 1/1 pour le déblai. Nous rappelons aussi que la hauteur des talus, pour les deux cas, est de l'ordre de 0,6 jusqu'à moins de 6 mètres

X.1.5. Compactage :

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

X.2. Les ouvrages :

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

- Structures de ponts ferroviaires.
- Ponts routiers.
- Passages souterrains (ponts-cadres).
- Ouvrages hydrauliques (buses, dalots).
- Éléments de protection des ouvrages.

Il est crucial que ces constructions soient dimensionnées en accord avec les critères de sécurité et de confort des passagers établis par les normes de l'UIC (Union Internationale des Chemins de Fer) ainsi que par les normes européennes actuellement en vigueur.

X.2.1. Influence sur le choix du type d'ouvrage :

Le choix du type d'ouvrage est influencé par diverses contraintes imposées, qui peuvent être regroupées en deux catégories principales :

- **Contraintes liées aux données naturelles :** Ces contraintes concernent des éléments tels que l'écoulement des eaux, la nature du sol, etc. Elles peuvent impacter le choix du type d'ouvrage afin d'assurer sa stabilité, sa durabilité et sa résistance face aux conditions naturelles spécifiques du site.
- **Contraintes techniques :** Elles englobent des aspects comme la portée, le programme de charge, le gabarit, etc. Ces exigences techniques doivent être prises en compte pour garantir la fonctionnalité et la sécurité de l'ouvrage.

Cependant, certaines contraintes dimensionnelles et fonctionnelles revêtent une importance particulière lors du choix du type d'ouvrage. Il est crucial de considérer l'obstacle à franchir, le respect du gabarit, le tirant d'eau, l'adaptation architecturale à la région, ainsi que la protection des structures existantes.

En tenant compte de ces contraintes, le choix du type d'ouvrage sera orienté de manière à garantir la fonctionnalité, la sécurité et l'intégration harmonieuse de la nouvelle infrastructure dans son environnement.

X.2.2. Les ouvrages d'art du projet :

X.2.2.1. Rétablissement routier :

Compte tenu que la future ligne ferroviaire reliant Laghouat à Ghardaïa, du PK 70 au PK 85 (passant par la gare de Bellil), sera conçue pour une vitesse de 220 km/h, il est impératif d'éliminer les passages à niveau. Afin d'assurer la continuité des pistes qui devront être supprimées et des

routes qui seront traversées par la ligne, il sera nécessaire d'envisager des passages supérieurs ou inférieurs, en fonction de la topographie locale. Ces aménagements permettront de franchir les voies ferrées en toute sécurité tout en garantissant la continuité des infrastructures routières.

Les rétablissements des voiries existantes sont étudiés par référence à « B40 : normes techniques d'aménagement des routes en Algérie » et compte tenu du type de voirie, de la vitesse de conception, du tracé en plan, du profil en long, etc.

Un passage inférieur nécessite une hauteur libre de :

- 5,25 mètres en cas d'une RN (route nationale) et d'un CW (chemin de wilaya).
- 4,0 mètres en cas d'une piste.

Le tableau suivant récapitule les rétablissements des voiries et les types d'OA (ouvrages d'Art) proposés le long de la nouvelle ligne.

Tableau N°X.01 : Liste des ouvrages d'art.

Obstacle à franchir	PK de l'ouvrage	Ouvrage Projeté
75+123	Route (RN 01)	Passage supérieure N°01
84+562	Route (CW)	Passage supérieure N°02

X.2.2.2. Les ouvrages hydrauliques :

Pour permettre le franchissement des cours d'eau, différents types d'ouvrages sont envisagés en fonction de l'importance du cours d'eau à traverser. Dans la zone située entre le PK 9+000 et le PK 29+000, des ouvrages hydrauliques sont nécessaires, comme détaillé dans l'étude hydrologique et hydraulique (CHAPITRE VI). Cela comprend notamment l'installation de buses et de dalots.

De plus, dans la zone inondable s'étendant du croisement avec Oued Bellil, le tracé rencontre un débit centennal de 81.02 m3/s, avec un niveau d'eau correspondant à ce débit de 771.775 et une largeur de lit majeur de 290.88 m, donc il est nécessaire d'installer un pont ferroviaire.

Tableau N°X.02 : Liste des ouvrages ferroviaires

Obstacle à franchir	PK de l'ouvrage	Ouvrage Projeté	Longueur	PK début/fin
Oued bellil	73+525	Dalot 12 x (3.00 x2.50)	36 m	73+525 /73+550

X.2.2.3 Protection des fibres optique et les lignes de tension :

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

Tableau N°X.03 : Protection des fibres optique et les lignes de tension

Obstacle à franchir	PK	Les protection
Fibre optique	74+993	Utilisation de gaines protectrices et de conduits
Ligne de tension	75+440	Ajouter des barrières physiques ainsi que des dispositifs de signalisation sont essentiels. Ces mesures avertissent les équipes de maintenance de la présence de lignes électriques.

Conclusion :

Nous soulignons l'importance cruciale des opérations de terrassement et de la réalisation des ouvrages d'art, qui sont des éléments indispensables à la réussite d'un projet ferroviaire. Ces opérations exigent une approche rigoureuse et minutieuse ainsi qu'une collaboration étroite entre les différents intervenants. En effet, le respect strict de ces étapes clés garantit la sécurité, la fiabilité et l'efficacité du réseau ferroviaire. Investir dans la qualité des terrassements et des ouvrages d'art permet de créer une infrastructure ferroviaire durable, répondant aux besoins de mobilité et de connectivité de notre société moderne.

CHAPITRE XI : CONCEPTION ET AMÉNAGEMENT DE LA GARE

CHAPITRE XI : CONCEPTION ET AMÉNAGEMENT DE LA GARE

Introduction :

Une gare bien aménagée représente bien plus qu'un simple point de départ ou d'arrivée pour les voyageurs. Elle incarne un véritable carrefour où se croisent différents modes de transport, répondant ainsi aux besoins des passagers en les reliant à travers les villes, régions et cultures. Son objectif est de garantir une expérience fluide et plaisante pour les voyageurs tout en intégrant des éléments de durabilité, de fonctionnalité et d'esthétique.

Dans ce chapitre, nous entreprendrons une analyse approfondie des principaux aspects à considérer lors de la conception d'une gare ferroviaire. Nous accorderons une attention particulière à la planification urbaine, aux défis liés à l'accessibilité, à l'intégration des technologies modernes et aux préoccupations environnementales. Nous mettrons également en avant l'importance de combiner innovation et fonctionnalité pour façonner des hubs de transport essentiels dans notre société moderne.

XI.1. Type de gare :

Il existe plusieurs types de gares :

- Gare de voyageur.
- Gare merchandise.
- Gare mixte.
- Gare de croisement.

XI.2 Objet d’une gare ferroviaire :

Une gare ferroviaire est conçue pour répondre à un ou plusieurs objectifs spécifiques :

- Faciliter l'embarquement et le débarquement des passagers.
- Assurer le chargement et le déchargement de marchandises ou de colis.
- Contrôler le flux de circulation des trains.
- Faciliter les croisements entre les trains sur une voie unique.
- Permettre aux trains plus rapides de dépasser ceux qui sont plus lents.
- Fournir des installations pour le ravitaillement en carburant, en eau ou en charbon pour les locomotives.
- Pour attacher ou détacher des voitures ou des wagons aux trains.

XI.3 Conditions de conception des gares :

Les critères de conception des gares reposent sur plusieurs aspects importants :

- L'étude du bâtiment voyageurs (B.V) doit être menée en concertation avec le plan d'urbanisme en vigueur, assurant ainsi une intégration harmonieuse de la gare dans son environnement urbain.
- Le plan de la gare doit être conçu pour optimiser la prise en charge des besoins de transport des voyageurs et des marchandises. Cela nécessite de considérer les conditions géologiques environnantes, l'accessibilité aux routes existantes et les futurs plans d'urbanisme.
- Le terrain sélectionné pour la construction de la gare doit non seulement fournir un espace suffisant pour les installations, mais aussi permettre des extensions futures de la ville. Cela assure la pérennité et l'adaptabilité de la gare face aux évolutions urbaines à long terme.

XI.4 Installations d'une gare a voyageur :

Les installations présentes dans une gare ferroviaire comprennent diverses constructions et structures, adaptées en fonction du type, de la conception et de la catégorie de la gare :

- **Le bâtiment voyageurs:** Il s'agit d'un espace dédié aux passagers, fournissant des services tels qu'une salle d'attente, un guichet de billetterie, un poste de sécurité et des boutiques, entre autres.
- **Les bâtiments à usages divers (B.U.D):** Ces espaces de service sont destinés au personnel ferroviaire pour diverses fonctions.
- **Les quais :** Ils constituent une bande parallèle à la voie ferrée, permettant aux passagers d'accéder aux trains en toute sécurité.
- **Les abris de quais :** Ces installations sur les quais sont conçues pour abriter les passagers des intempéries.
- **Les passages souterrains et les passerelles :** Il s'agit d'une construction permettant aux passagers de traverser les voies et de changer de quai en toute sécurité.

XI.5 Garage franc :

Le garage franc délimite la zone que les trains occupent dans les gares. Sa valeur théorique est de 3,57 fois la distance entre les voies directe et déviée. Toutefois, pour des raisons de sécurité, il est installé à 1 mètre de cette valeur théorique. Ainsi, le garage franc est calculé selon la formule suivante : $GF = 3{,}5 \times N + 1$

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

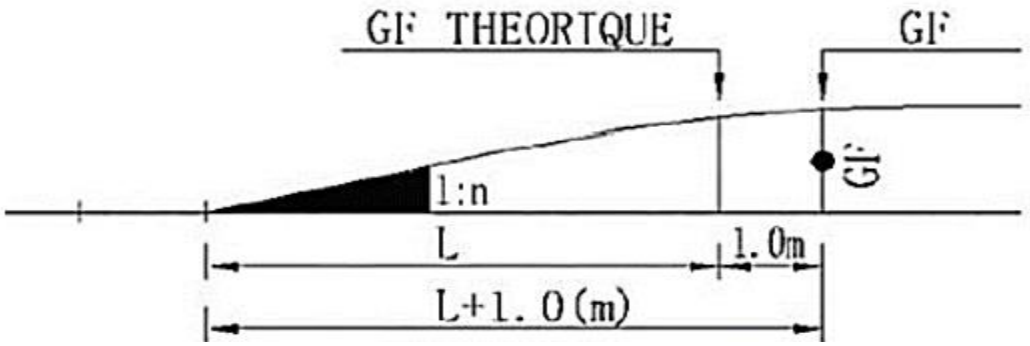


Figure N°XI.01 : Garage franc

XI.6 La longueur utile d'une voie de stationnement :

La longueur nécessaire pour qu'un train se gare sur la voie de dépassement sans perturber la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisines est appelée la longueur utile. Cette longueur utile représente la distance entre deux garages francs. Les valeurs de cette longueur sont définies dans la norme SNTF (aménagement et gare, tracé des voies) comme suit :

- Pour les trains voyageurs, la longueur utile minimale est de 426 mètres.
- Pour les trains de marchandises, la longueur utile minimale est de 870 mètres pour la voie principale et la voie de service.
- La longueur utile des voies d'évitement est de 1200 mètres.

XI.7 Heurtoir :

Les heurtoirs marquent la terminaison d'une voie de garage ou de sécurité. Positionnés à chaque extrémité des voies, notamment celles désignées comme "voies tiroirs" ou "voies en cul-de-sac", leur rôle est d'empêcher les véhicules en mouvement de poursuivre leur trajet au-delà de la voie. Ces structures sont spécialement conçues pour absorber l'énergie cinétique des trains qui les heurtent, grâce aux tampons placés à la même hauteur que l'attelage des trains.



Figure N°XI.02 : Heurtoirs

XI.8 Les Quais :

La hauteur du quai (h) :

D'après la fiche UIC 741OR :

- La hauteur nominale du bord du quai doit être de 550 mm.
- Dans certaines circonstances, comme pour les quais desservant les lignes principales et les banlieues, une hauteur de 760 mm peut être requise sous conditions spécifiques.

Distance par rapport à l'axe de la voie :

La distance nominale de l'axe de la voie pour les bordures de quais implantées à la hauteur nominale de 550 mm est déterminée à : $\mathrm{L\,(mm)} = 1650 + \mathrm{S}$

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

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

La longueur de quai :

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

La largeur des quais :

La SNTF recommande pour une telle gare :

- Quai intermédiaire B > 8 m
- Quai extérieur B ≥ 6m

L'entre axe des quais :

Selon SNTF :

- Entraxe normal en ≥ 11.3
- Entraxe minimal en ≥ 9.3

XI.9 Appareils de voie :

Ces équipements facilitent :

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

Trois éléments de base sont nécessaires pour construire ces dispositifs :

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

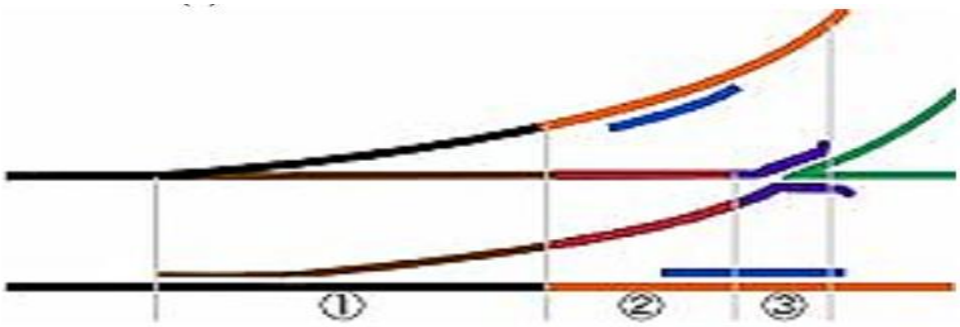


Figure N°XI.03 : Eléments constitutifs d'un appareil de voie

XI.10 Application au projet :

La nouvelle gare de Bellil, située à Laghouat, est une gare voyageurs comprenant trois voies. Elle se trouve au sud-est de la ville de Bellil, entre les points kilométriques (pk) 71+900 et 73+400. Le bâtiment voyageurs est constitué de deux niveaux : le rez-de-chaussée (R) et le premier étage (R+1). Les déplacements entre ces deux niveaux sont facilités par une passerelle.



Figure N°XI.04 : Implantation de la gare de Bellil

- **Les quais:**

La longueur des quais :

Pour notre gare, nous avons prévu des quais de 225 mètres de longueur, ce qui correspond à trois wagons de 75 mètres chacun, avec une inclinaison de 2%.

Largeur des quais :

- B= 6 m pour les quais extérieurs.
- B= 8 m pour les quais intermédiaires.

• **Hauteur des quais :**

On prend pour notre cas h= 55 cm.

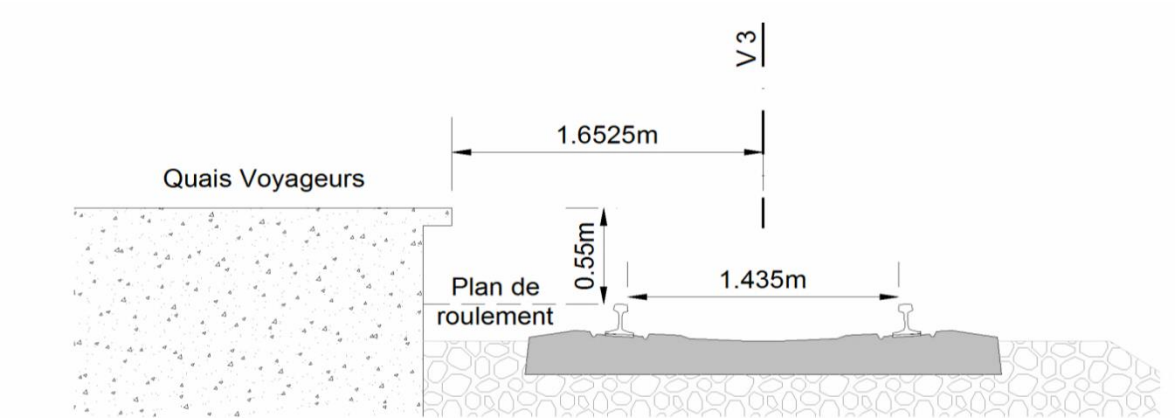


Figure N°XI.05 : Quai voyageurs

• **La distance par rapport à l'axe de la voie Selon UIC741 :**

La distance par rapport à l'axe de la voie L = 1650+S

$$S = \frac{3750}{R} + \frac{I - 1435}{2}$$

Tel que :

R : rayon de la voie (le tracé dans la gare est droit R = ∞).

I : écartement de la voie (dans notre projet I = 1435 mm).

$$L = 1650 + \frac{3750}{R} + \frac{I - 1435}{2} = 1650mm$$

• **Entraxe entre les quais A et B :**

Dans notre projet on a opté pour l'entraxe de 14.5 m entre les quais A, B

- **Appareils de voie :**

Pour notre projet on a recours à deux appareils de voies :

- UIC 60 500 1/12.
- UIC 60 300 1 /9.

- **Longueur du garage franc :**

Calcul la distance de garage franc :

- UIC 60 500 1/12: GF = (3.57×N) + 1= (3.57×12) +1 = 43.84m.
- UIC 60 300 1 /9: GF = (3.57×N) + 1= (3.57× 9) +1 = 33.13m.

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

Tableau N°XI.01 : Les longueurs utiles

Voie	Longueur utile(m)
VA	1200
VB	1047
V4	963

XI.11 Passage souterrain (PS) :

Dans notre gare, un passage souterrain est conçu pour faciliter la circulation des voyageurs entre les différents quais. Étant donné que les trains peuvent arriver et partir de plusieurs quais, ce passage permet aux voyageurs de se déplacer facilement d'un quai à l'autre sans avoir à traverser les voies de chemin de fer.

De plus, le passage souterrain peut également servir de zone de sécurité en cas d'urgence ou d'évacuation. En cas d'incendie ou d'autres situations critiques, il peut être utilisé comme voie d'évacuation pour les voyageurs de la gare.

En somme, le passage souterrain dans une gare est un élément essentiel pour assurer la sécurité et la commodité des voyageurs.

XI.12 Assainissement de la gare :

XI.12.1 Assainissement transversale :

Pour garantir une évacuation efficace des eaux pluviales dans les gares, les quais doivent être inclinés à 2% selon leur configuration. Cette inclinaison permet de diriger l'eau vers les voies, lesquelles sont ensuite dotées de pentes transversales sur les plates-formes pour faciliter l'évacuation ultérieure.

XI.12.1 Assainissement longitudinal :

Les drains, disposés parallèlement à l'axe du rail avec une inclinaison de 4‰, sont conçus pour collecter les eaux de pluie qui s'infiltrent dans le ballast et la plate-forme. Ils conduisent ces eaux vers le réseau d'assainissement à travers des regards de visite et des fossés bétonnés de 0,7 m de largeur et 0,5 m de hauteur.

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

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

CHAPITRE XII: SIGNALISATION FERROVIAIRE

CHAPITRE XII : SIGNALISATION FERROVIAIRE

Introduction :

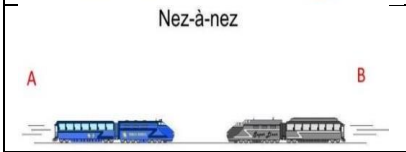
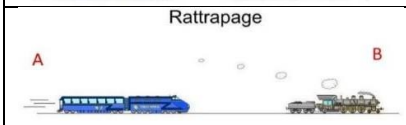
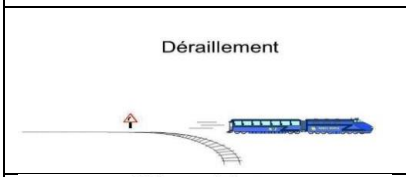
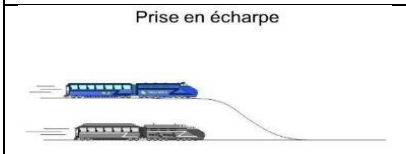
Depuis les débuts des chemins de fer, les systèmes de signalisation ont connu une évolution remarquable, passant de configurations rudimentaires à des systèmes complexes et sophistiqués. Leur fonction principale est désormais de gérer efficacement le trafic sur d'immenses réseaux ferroviaires. Ces systèmes jouent un rôle crucial dans le contrôle des mouvements des trains, la prévention des collisions et la coordination fluide des diverses lignes et itinéraires.

Dans ce chapitre, nous plongerons dans les principes essentiels de la signalisation ferroviaire, où la sécurité et la fluidité des opérations occupent une place centrale. Nous examinerons les divers types de signaux utilisés ainsi que les systèmes de contrôle associés, mettant en lumière leur fonctionnement et leur importance dans le bon fonctionnement des réseaux ferroviaires modernes.

XII.1 Objet de la signalisation ferroviaire :

La signalisation ferroviaire revêt une importance cruciale dans la transmission des directives aux conducteurs de trains, garantissant ainsi une circulation sécurisée. Les équipements de signalisation sont soigneusement élaborés pour résoudre des défis et répondre aux risques majeurs, comme répertorié dans le tableau ci-dessous :

Tableau N°XII.01: Les risques ferroviaires.

Risque	Description	Solution
	Les dangers liés aux passages à niveau.	La gestion par des dispositifs d'annonce des trains pour alerter les conducteurs routiers de l'approche d'un train.
	Deux trains se trouvant en situation de rencontre sur une même voie.	La Prise en charge par les enclenchements de sens.
	Un train suivant dépassant celui devant lui.	L'utilisation du système de cantonnement pour le maintien des distances de sécurité entre les trains.
	Une ou plusieurs roues d'un véhicule se déviant du rail sur une voie ferrée.	-Imposer des restrictions de vitesse dans les virages, les zones d'aiguillage et les zones de travaux. -Déployer des systèmes de surveillance.
	Un train se dirigeant vers un aiguillage déjà occupé par un train venant d'une autre direction.	L'équipement des postes d'aiguillage d'enclenchements internes (enclenchements d'itinéraires et de transit).

XII.2 Implantation des signaux en Algérie :

Il existe deux principales catégories de signaux ferroviaires : les feux et les panneaux. En règle générale, ils sont positionnés du côté gauche de la voie, conformément à la circulation des trains sur cette voie. Cependant, des exceptions peuvent survenir lorsque le positionnement à gauche n'est pas réalisable.

XII.3 Principe de signalisation ferroviaire :

Les signaux ont été destinés à assumer les rôles et les fonctions ci-après :

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

Chaque type de signalisation comprend généralement une phase d'annonce et une phase de rappel ou d'application.

XII.4 Les différents types de blocks :

Les divers systèmes employés pour gérer les signaux sont désignés par le terme "block", en fonction de la catégorie de la ligne, comme indiqué ci-dessous :

- **Le block manuel (B.M) :** Est déployé sur les lignes peu fréquentées, où l'accès à une voie en mode "Block Manuel" est régulé par un signal de block ouvert manuellement par un agent de circulation.
- **Le block automatique à permissivité restreinte (B.A.P.R) :** Ce système est déployé sur les lignes de trafic modéré. Il s'agit d'un système d'espacement par signaux partiellement ou entièrement automatisé.
  Le block automatique lumineux (B.A.L) : est utilisé principalement sur les lignes à fort trafic. Il se caractérise par l'utilisation de cantons courts, ce qui implique un nombre plus élevé de signaux, ce qui peut être plus coûteux. Cependant, il offre une grande souplesse dans la régulation des circulations ferroviaires. Grâce aux cantons courts, l'espacement entre les trains est réduit.

Le canton : Le canton désigne une section de voie ferrée alimentée par une énergie électrique, constituant ainsi la fondation du système qui régule l'espacement entre les trains, prévenant ainsi les collisions.

XII.5 Les principaux signaux ferroviaires et leur indication :

✓ Signaux d'arrêt et signaux d'annonce :

Tableau N°XII.02 : Signaux d'arrêt et signaux d'annonce

Signal lumineux	Signal mécanique	Description
		**Carré** Le signal carré ordonne l'arrêt absolu et ne doit jamais être dépassé. Il sert de dispositif de sécurité pour protéger les équipements ferroviaires tels que les aiguillages, les passages à niveau, les zones de stationnement ou pour arrêter les trains en cours de route.
		**Carré violet** Il est installé sur les voies de service et, tout comme le signal carré, son ouverture ne permet pas le départ sur la ligne principale.
		**Guidon d'arrêt** Le guidon d'arrêt est employé pour sécuriser certaines manœuvres, remplaçant ainsi le signal d'arrêt manuel. Sa fonction principale est de commander l'arrêt.
	inexistant	**Feu rouge clignotant** Le feu rouge clignotant, une déclinaison du sémaphore, permet la circulation à vue sans nécessiter d'arrêt préalable, à condition de ne pas dépasser les 15 km/h en passant devant le signal.
		**Disque** Le disque ordonne un arrêt différé, ce qui signifie qu'il faut passer en mode marche à vue dès que possible, puis s'arrêter impérativement (même si les signaux suivants indiquent un chemin libre) avant d'atteindre le premier quai ou dispositif de voie. Après avoir reçu une autorisation verbale, la marche peut reprendre.
		**Avertissement** L'avertissement oblige le conducteur à être prêt à s'arrêter avant d'atteindre le prochain signal. Il peut annoncer la présence d'un signal affichant le carré/violet ou un feu rouge clignotant, un

		signal accidentellement éteint, ou la proximité d'un heurtoir.
		**Ralentissement 30** Le panneau de ralentissement 30 indique qu'il y a une ou plusieurs aiguilles réglées sur la position "voie déviée" et que la vitesse maximale autorisée pour les franchir est de 30 km/h.
	Inexistant	**Ralentissement 60** Le panneau de ralentissement 60 signifie qu'il y a une ou plusieurs aiguilles réglées sur la position "voie déviée" et que la vitesse maximale autorisée pour les franchir est de 60 km/h.
	Inexistant	**Feu jaune clignotant** Le feu jaune clignotant indique un avertissement proche du signal d'arrêt, c'est-à-dire à une distance inférieure à celle nécessaire pour freiner normalement.
	inexistant	**Feu vert clignotant** Pour les trains dont la vitesse maximale est de 160 km/h ou moins, le feu vert clignotant est similaire au feu vert fixe. Cependant, pour les trains dont la vitesse maximale est supérieure à 160 km/h, il indique au conducteur de réduire sa vitesse aussi rapidement que possible pour atteindre 160 km/h avant de passer le prochain signal.
		**Rappel de ralentissement 30** Le panneau de rappel de ralentissement 30 est placé avant une ou plusieurs aiguilles configurées en position "voie déviée", où la vitesse maximale autorisée pour les franchir est de 30 km/h.
	Inexistant	**Rappel de ralentissement 60** Le panneau de rappel de ralentissement 60 est positionné avant une ou plusieurs aiguilles réglées sur la position "voie déviée", où la vitesse maximale autorisée pour les franchir est de 60 km/h.

✓ Limitations de vitesse:

Tableau N°XII.03 : Signaux de limitation de vitesse

Panneau	Description
	Ce panneau indique une réduction de la vitesse autorisée. Le panneau en forme de losange signifie qu'il est équipé de la répétition du signal en cabine.
	Ce panneau signale le début d'une zone où la vitesse est limitée.
	Ce panneau signale la fin d'une zone à vitesse limitée (Retour à la vitesse normale).

✓ Itinéraires de manœuvres:

Tableau N°XII.04 : Signaux d'itinéraires de manœuvres

Panneau	Description
	Ce panneau signale que le train se dirige vers une voie de garage.
	Ce panneau signale que le train se dirige vers un dépôt.

XII.6 Système de contrôle et de protection ERTMS :

ERTMS (Européen Rail Traffic Management System) est un système européen de gestion du trafic ferroviaire qui se compose de trois niveaux.

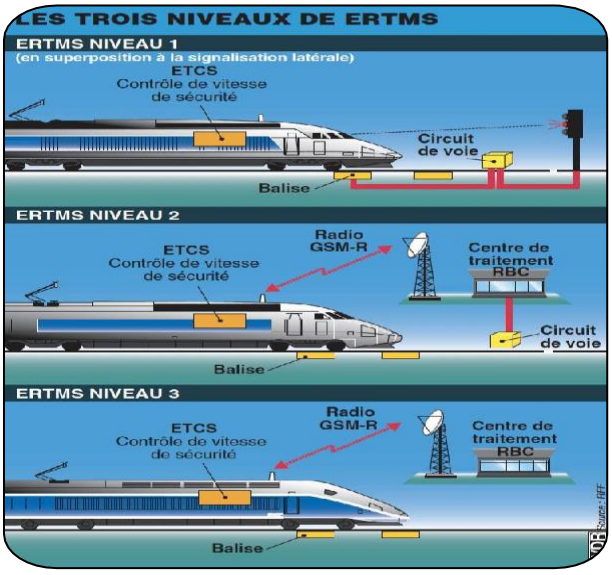


Figure N°XII.01: le système de contrôle des trains ERTMS.

C'est un système de contrôle et de gestion qui assure un trafic ferroviaire standardisé et interopérable. Son objectif est d'harmoniser et de simplifier les opérations de gestion du trafic ferroviaire en favorisant une coordination efficace entre les parties prenantes et en encourageant l'interopérabilité des réseaux ferroviaires.

XII.6.1 Les fonctions d'ERTMS :

- Contrôle la signalisation latérale via une balise standard qui communique avec le système à bord du train.
- Donne l'autorisation de mouvement jusqu'au prochain point de signalisation latérale en utilisant le principe de blocage fixe.
- Convertit les informations de signalisation latérale via l'Unité de Contrôle Latéral (LEU) pour les transmettre au train par la balise.
- Permet au train de transmettre en continu sa position et sa vitesse via une antenne.
- Protège les trains grâce à une communication intermittente entre la voie et le train via les balises.

XII.7 APPLICATION SUR NOTRE PROJET :

La ligne ferroviaire Laghouat- Ghardaïa est une voie à grande vitesse de 220 km/h, conçue pour désengorger le réseau existant et accueillir davantage de passagers ou augmenter les capacités de circulation de manière extrêmement sûre et précise. Pour ce faire, nous avons choisi de combiner la signalisation latérale fournie par le système BAPR avec la signalisation en cabine établie par le système ERTMS.

Grâce à la compatibilité de ces deux systèmes, les informations relatives à l'accélération, au ralentissement et aux arrêts sont transmises de manière continue et directe au conducteur de train. Celui-ci peut ainsi ajuster sa conduite en temps réel, permettant une circulation plus rapide et plus rapprochée des trains. Cela nous permet d'augmenter le nombre de trains pouvant circuler par heure et d'optimiser la fluidité du trafic.

Conclusion :

Le chapitre sur la signalisation ferroviaire met en lumière l'importance cruciale de ce système dans la sécurité et l'efficacité de la circulation ferroviaire. Nous avons exploré les différents niveaux de systèmes de signalisation existants, ainsi que les spécificités du système proposé pour notre tracé.

CHAPITRE XIII :
ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

CHAPITRE XIII : ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Introduction :

Les infrastructures ferroviaires ont un impact environnemental significatif. Dans ce chapitre, nous étudierons les divers aspects de cet impact, mettant en lumière les défis et les opportunités qu'il présente. Nous explorerons les actions de l'industrie ferroviaire pour minimiser son empreinte écologique. En examinant ces questions, nous comprendrons mieux comment les projets ferroviaires peuvent concilier développement et préservation de l'environnement.

XIII.1 Délimitation de la zone d'étude :

La zone d'étude se trouve au nord du Sahara, au pied de l'Atlas Saharien, à environ 330 km au sud d'Alger. Géographiquement, cette zone marque la limite entre deux régions distinctes : l'Atlas saharien au nord et la plateforme saharienne au sud. Le tracé traverse le territoire de deux wilayas, Laghouat et Ghardaïa.

La zone d'étude du présent projet traverse la wilaya de Laghouat sur une longueur de 15 km, allant du point kilométrique 70+000 au 85+000.

XIII.2 Description de l'état initial de la zone d'étude :

XIII.2.1 Milieu physique :

Une analyse des caractéristiques physiques de cette région permettra de contextualiser la zone dans ses aspects géologiques, géomorphologiques, hydrodynamiques, climatiques et sismologiques.

Tableau N°XIII.01 : Description du milieu physique de la région.

	La zone d'étude
Wilaya traversée	Laghouat
Ville traversée	Bellil
PK	70+000 au 85+000.
Longueur du Tronçon	15 km
Terrains traversés / occupation du sol	Arides / pauvres en humus, fragiles et peu profonds
Géomorphologie / topographie	Le tracé traverse le plateau des Dayas, avec une altitude moyenne d'environ 775m.
Géologie et sismicité	La géologie du terrain varie tel qu'expliquée dans le chapitre VII.
Climatologie	Domaine aride
Hydrologie et Hydrogéologie	La wilaya de Laghouat, sous un climat aride, se distingue par une hydrologie limitée avec des précipitations rares et des cours d'eau intermittents, et une hydrogéologie dominée par des nappes souterraines.
Risques naturels	Risque d'ensablement

XIII.2.2 Milieu humain :

Tableau N°XIII.02 : Description du milieu humain de la région.

	La zone d'étude
Wilaya traversée	Laghouat
Ville traversée	Bellil
PK	70+000 au 85+000.
Population	La population totale de la wilaya de Laghouat est estimée à 674 690 habitants (en 2018), soit environ 27 habitants par km².
Activité économique	La zone d'étude se concentre principalement sur l'agriculture (gro-pastorale/la céréaliculture) et l'industrie(artisanat)**.**
Profil socio-économique	Grâce à la présence de la RN° 1, qui sert d'axe interrégional, la région joue un rôle crucial en tant que porte principale de liaison entre le nord et le sud du pays. C'est un lieu de passage qui favorise le développement des activités commerciales régionales.
Voie de communicationou transport croisée	Le tracé, parallèle à la RN01 et traversé par des pistes et une route, se trouve au PK 75+123 et nécessite d'être rétabli par un passage supérieur.
Ligne électrique croisée	Le tracé croise : Une ligne de tension au PK 75+440. Une fibre optique au PK 74+993.
Conduite de gaz croisée	
Conduite d'eau croisée	
Franchissement des Oueds	Le tracé croise un oued au PK 73+597,57, où un pont rail est prévu.
Ouvrages hydrauliques	6 buses et 11 dalots sont implantés.
Gare	Une gare de Voyageur au PK 72+600

XIII.2.3 Milieu biologique :

Tableau N°XIII.03 : Description du milieu biologique de la région

	La zone d'étude
Wilaya traversée	Laghouat
Ville traversée	Bellil
PK	70+000 au 85+000.
La faune	La protection de la faune dans les zones d'étude est indispensable en raison de sa vulnérabilité et de son importance écologique. Dans les environnements désertiques, la faune est peu abondante et comprend principalement des mammifères insectivores, carnivores, rongeurs, ongulés, des oiseaux, des reptiles et des arachnides.
La flore	La flore de Laghouat, en Algérie, est caractérisée par une variété de plantes adaptées aux conditions semi-arides et désertiques de la région. On y trouve des palmiers, des acacias, des cactus, des plantes succulentes, des arbustes résineux et des herbes xérophytes. Ces plantes jouent un rôle crucial dans la préservation de l'écosystème local en fournissant de la nourriture, de l'ombre et un habitat pour la faune.

XIII.3 Les impacts positifs :

La construction de cette nouvelle ligne de chemin de fer promet d'apporter un développement significatif à la région sur les plans sécuritaire, économique et touristique. Les avantages de cette infrastructure sont multiples :

- Renforcement du réseau ferroviaire de la wilaya.
- Amélioration des standards de confort et de sécurité dans les déplacements.
- Stimulus pour le développement économique et la croissance des zones traversées par le projet.
- Création d'emplois temporaires pendant la phase de construction, ainsi que des opportunités durables une fois les travaux achevés.
- Optimisation de l'utilisation des transports ferroviaires, réduction du trafic routier et diminution des temps de trajet.

XIII.4 Identification et évaluation des impacts négatifs prévisibles avec les mesures d'atténuation :

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des impacts négatifs anticipés, accompagnée d'une évaluation de leur gravité et des mesures d'atténuation recommandées.

Tableau N°XIII.04 : Identification des impacts négatifs avec les mesures d'atténuation.

Item	Impact	Mesures d 'atténuation
L'air	-L'émission de poussières et leur dispersion. -La présence de polluants tels que le CO, le CO2 et les Nox contribue au réchauffement climatique.	-Maintenir les voies d'accès des chantiers humides afin de réduire les poussières soulevées par les camions. -Recouvrir les camions transportant des matériaux -poussiéreux avec des bâches. -Eloigner les sources de poussière des zones sensibles comme les zones humides. -Protéger les cours d'eau pendant la construction des ponts en utilisant des films plastiques ou des géomembranes pour réduire la pollution par les poussières. -Assurer une gestion adéquate des déchets, des rejets liquides et des eaux usées. -Éviter l'utilisation de produits chimiques nocifs à proximité des sites sensibles.
Eau souterraine	-Risques de pollution par rejets directs d'eaux de lavage, d'eaux usées. - Risque de pollution par une mauvaise gestion des déchets. -Le rabattement des nappes par pompage qui conduit à un abaissement du niveau des nappes phréatiques ainsi qu'une modification du régime d'écoulement des eaux souterraines	
Eau superficielle	-Dérivations des écoulements durant la construction de l'ouvrage. -La pollution des eaux. -L'érosion des talus en cours de création	
Sols	-Les affaissements causés par la compression des sols. -L'accumulation de désherbants et de produits chimiques d'entretien dans les sols. -L'infiltration de matières polluantes issues des déchets et des rejets liquides.	
Faune	-Installation d'une infrastructure étrangère dans une zone colonisée par la faune. -Risque de perturbation due au bruit et aux vibrations.	-Installation de barrières pour la faune le long des passages forestiers ou des zones de colonisation faunistique. -L'impact des vibrations sera progressivement atténué. -Mise en place de passages pour les animaux (passages à faune).
Flore	-La déforestation. -Une réduction des populations végétales locales suite à la perte d'une partie de leur habitat, notamment dans les zones de dépôt des matériaux et lors de la circulation des engins pendant la phase de construction.	-La réduction du déboisement au minimum nécessaire. -La mise en place de programmes de re-végétalisation et de transplantation d'espèces végétales. -L'interdiction des zones de dépôt, des emprunts et des installations de chantier dans toutes les zones sensibles telles que les zones humides et protégées

Milieux humain	-Les conséquences sur l'atmosphère, l'eau et les sols peuvent affecter la santé de la population. -Les émissions atmosphériques des locomotives diesel peuvent être nocives pour la santé humaine (l'impact dépend de l'emplacement de la ligne et de la fréquence d'utilisation des locomotives). -Perturbation de la circulation routière. -Gêne sonore.	-Il est formellement prohibé de brûler des déchets. -Il est envisagé de réduire la vitesse des locomotives diesel à proximité des zones résidentielles. -Installation de murs anti-bruit dans les zones peuplées, en utilisant les déblais provenant des travaux comme écran antibruit. -Élaboration d'un plan de gestion de la circulation en collaboration avec les autorités locales.
Milieux agricoles	-La diminution de la productivité des cultures. -Un accroissement de la distance à parcourir pour les agriculteurs, en particulier pour accéder à leurs parcelles.	-Informer régulièrement les agriculteurs sur les perturbations afin qu'ils puissent s'organiser en conséquence. -Engager une concertation avec les agriculteurs et installer des passages dédiés pour leurs activités agricoles.

- **Commentaire:**

✓ Le projet revêt une importance socio-économique significative pour la région, favorisant la création d'emplois, le développement urbain et les échanges commerciaux, ce qui offre de nouvelles perspectives professionnelles à la population.

✓ L'utilisation du train comme moyen de transport permettra de réduire le trafic routier entre Laghouat et Ghardaïa, entraînant ainsi une baisse de la pollution de l'air et une diminution de la consommation de carburant.

✓ Sur le plan écologique, la construction et l'exploitation de la ligne entre Laghouat et Ghardaïa ne sont pas susceptibles d'avoir un impact négatif sur l'environnement, à condition que les mesures prévues pour préserver la biodiversité et les zones agricoles soient mises en œuvre.

✓ L'intégration des considérations environnementales dès les premières étapes de l'étude a permis d'anticiper les défis environnementaux et d'évaluer plus précisément la faisabilité du projet.

✓ Cependant, il est crucial de rester vigilant quant à l'impact potentiel du projet sur l'environnement, étant donné le manque d'informations sur la phase de réalisation.

Conclusion :

Il est essentiel de reconnaître que la construction ferroviaire a des répercussions sur l'environnement, mais qu'avec une planification minutieuse, une gestion appropriée et des mesures d'atténuation efficaces, ces impacts peuvent être réduits au minimum. En intégrant dès les premières étapes de l'étude des considérations environnementales et en appliquant des pratiques durables tout au long du processus, il est possible de concilier le développement des infrastructures ferroviaires avec la préservation de la biodiversité, la protection des écosystèmes fragiles et la réduction de la pollution. Cependant, il est impératif de maintenir une vigilance constante et de rester ouvert à l'adaptation et à l'amélioration continue afin de garantir un équilibre harmonieux entre le progrès économique et la préservation de notre environnement précieux.

CHAPITRE XIV :
DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

National School of Architecture. All rights reserved.

CHAPITRE XIV : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

Introduction :

Le devis estimatif et quantitatif est un document essentiel dans la planification et la gestion des projets de construction. Il joue un rôle crucial en fournissant une évaluation détaillée des coûts et des quantités des matériaux, équipements, et main-d'œuvre nécessaire à la réalisation d'un projet. Ce document permet non seulement de prévoir les dépenses et d'établir un budget précis, mais aussi d'assurer un suivi rigoureux de l'avancement des travaux.

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

XIV.1 devis estimatif et quantitatif :

Tableau N° XIV.01 : Devis Quantitatif et Estimatif.

Lot.N°	Désignations	Unité	Prix unitaire	Quantité	Montant
1. ÉTUDE D'EXÉCUTION ET INSTALLATION DE CHANTIER :					
1-1	Études d'exécution.	F			130 000 000,00
1-2	Installation générale de chantier.	F			388 146 705,37
	PRIX TOTAL :				**518 146 705 DA**
2. TERRASSEMENT :					
2-1	Décapage de terre végétale.	M^3	390,00	72690	39 095 550
2-2	Déblais mise en dépôt	M^3	500,00	110365	60 022 500
2-3	Remblai d'apport.	M^3	600,00	590523	270 385 200
2-4	F/P matériau de zone inondable	M^3	4 200,00	29700	124 740 000
2-5	F/P géotextile	M^2	1 016	7929	8 055 864
	PRIX TOTAL :				**502 299 114 DA**
3. DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT :					
3-1	Buses de tuyaux en béton arme diamètre 1500 mm.	Ml	125000,00	66	8 250 000
3-2	Fossé en béton arme.	Ml	6200,00	13 567,00	84 115 400
3-3	F/p dalot en béton armée 8(3.00x2,00).	M^3	44 500,00	4741,92	211 015 440
3-4	F/p dalot en béton armée 3(2,50x2,00).	M^3	44 500,00	57,5	2 558 750
	PRIX TOTAL :				**305 939 590 DA**

4. COUCHES D'ASSISE FERROVIAIRE :					
4-1	F/p couche de forme.	M^3	1100,00	66421	73 063 100
4-2	F/p couche de fondation.	M^3	2 800,00	25244	70 683 200
4-3	F/p couche de sous ballast.	M^3	3 000,00	30194	90 582 000
4-4	F/p couche de ballast.	M^3	3 880,00	36542	141 782 960
PRIX TOTAL :					**376 111 260 DA**
5. TRAVAUX DE LA VOIE SUR LE PARCOURS :					
5-1	Fourniture des rails neufs UIC 60 (60,34 kg/m).	T	173 250,00	1800	311 850 000
5-2	Fourniture des traverses mono-bloc	U	9 256,00	25005	231 446 280
5-3	Fourniture des attaches élastique pour rails UIC 60 (butées isolantes, lames élastiques, goujons et semelles).	U	1 130,00	50001	56 501 130
5-4	Pose de la voie.	Ml	1 988,00	15 000	29 820 000
5-5	Soudures aluminothermiques et électriques.	U	20 806,00	1665	34 641 990
PRIX TOTAL :					**664 259 400 DA**
6. TRAVAUX DE LA VOIE DANS LA GARE					
6-1	Fourniture des rails neufs UIC 60 (60,34 kg/m)	T	173880,00	540,00	93 895 200
6-2	Fourniture des traverses bi-bloc	U	9 256,00	7501,1	69 430 181.6
6-3	Fourniture des attachés pour rails UIC 60 (butéesisolantes, lames élastiques, goujons et semelles)	U	1 130,00	13578	15 343 140
6-4	Pose de la voie	Ml	1 988,00	3000	5 964 000
6-5	Soudures aluminothermiques et électriques	U	20 806,00	333	6 928 398
6-6	Fourniture adv — UIC 60-500-1/12	U	15 899 976,16	2	31 799 952,3
6-7	Fourniture adv — UIC 60-300-1/9	U	7 841 980,00	3	23 525 940
6-8	Pose adv — UIC 60-500-1/12	U	412 933,00	2	825 866
6-9	Pose adv — UIC 60-300-1/9	U	206 216,00	3	618 648
6-10	Heurtoir	U	936 686,00	1	936 686
6-11	Traverses de Garage Franc	U	40 891,56	5	204 457,8
6-12	Bâtiments voyageurs	F	18 022 510,2 DA		
6-13	F/p des quais avec tous ces installations	U	19 417 281,00	2	38 834 562,00
6-14	Passage souterrain (étude, fourniture et mise enœuvre)	U	10 609 063,00	1	10 609 063,00
6-15	Réalisation des travaux d'aménagement extérieur dela gare	F			83 803 927,70
PRIX TOTAL :					**400 742 532 DA**

7. INSTALLATIONS ERTMS :			
7-1	Étude.	F	1 862 121,60
7-2	Fourniture.	F	53 201 753,34
7-3	Travaux.	F	58 609 732,88
7-4	Génie Civil.	F	46 463 315,34
PRIX TOTAL :			**160 136 923,16 DA**
8. OUVRAGE D'ART			
8-1	**Passage supérieur N°1**		332 500 000
8-2	**Passage supérieur N°2**		299 250 000
PRIX TOTAL :			**631 750 000 DA**
MONTANT TOTAL DU PROJET (enHT) :			**3 559 385 525 DA**
MONTANT TOTAL FINAL (en TTC) :			**4 235 668 774 DA**

MONTANT TOTAL EN TTC (EN LETTRES) :

QUATRE MILLIARDS DEUX CENT TRENTE-CINQ MILLIONS SIX CENT SOIXANTE-HUIT MILLE SEPT CENT SOIXANTE-QUATORZE DINAR ALGERIEN.

CHAPITRE XV: PLANIFICATION DE PROJET

CHAPITRE XV: PLANIFICATION DE PROJET

Introduction :

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

XV.1 Planification :

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

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

XV.1.1 Objectifs de la planification :

La planification vise à atteindre les objectifs suivants :

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

XV.2 Le diagramme de GANTT :

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

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

Les éléments clés à considérer lors de l'établissement d'un planning Gantt incluent :

- La séquence logique des tâches en fonction de leurs relations mutuelles.
- Le nombre total d'heures estimées pour l'exécution, basées sur le devis quantitatif.

- L'efficacité du matériel disponible sur le chantier.
- Le délai d'exécution.

XV.3 Application sur notre projet :

Pour ce projet, nous avons élaboré le diagramme de Gantt en utilisant le logiciel MS Project. Après avoir intégré les données du projet, voici les résultats obtenus :

Le délai d'exécution du projet est fixé à 577 jours, répartis selon le planning établi comme suit :

- Le délai d'exécution de la section installation générale de chantier :577
- Le délai d'exécution de la section étude d'exécution :60
- Le délai d'exécution de la section terrassement généraux :197
- Le délai d'exécution de la section drainage assainissement :161
- Le délai d'exécution de la section assise ferroviaire : 272
- Le délai d'exécution de la section travaux de voie :124
- Le délai d'exécution de la section bâtiment gare et aménagement :150
- Le délai d'exécution de la section signalisation : 257

N.B : La planification de notre projet est jointe en plans format A3.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

De nos jours, les infrastructures de transport sont un indicateur clé du niveau de développement d'un pays en termes de mobilité, d'échanges commerciaux et de communication. En réponse à cette nécessité, les pouvoirs publics ont mis en œuvre un programme ambitieux visant à moderniser les lignes existantes et à en créer de nouvelles. Le tronçon étudié s'inscrit dans ce programme et concerne le projet de la nouvelle desserte ferroviaire reliant Laghouat-Ghardaïa, s'étendant du PK 70+000 au PK 85+000. Ce projet représente une étape cruciale dans l'amélioration des réseaux de transport, facilitant ainsi les déplacements et renforçant les connexions économiques et sociales dans la région.

Ce projet de fin d'études nous a offert l'opportunité d'acquérir une compréhension approfondie et exhaustive du domaine du transport ferroviaire sous ses divers aspects techniques, économiques et opérationnels. Le travail effectué dans le cadre de ce projet a constitué une occasion précieuse de mettre en pratique nos connaissances théoriques accumulées au cours de nos années de formation intensive à l'ENSTP. De plus, il nous a permis de nous familiariser avec les nombreux défis complexes et variés auxquels sont confrontés les ingénieurs, tels que la gestion des contraintes techniques, le respect des normes de sécurité et la recherche de solutions innovantes pour améliorer l'efficacité et la durabilité des infrastructures ferroviaires.

L'étude APD de cette nouvelle desserte ferroviaire nous a conduit à explorer des éléments essentiels tels que la planification du tracé, la conception des infrastructures et des installations, tout en prenant en compte les aspects environnementaux et ceux liés au développement durable pour garantir une conception équilibrée et respectueuse de l'environnement. Au cours de cette étude, nous avons également développé des compétences en analyse de données, en utilisation d'outils de modélisation et de simulation (AutoCAD, Covadis et MS Project), ainsi qu'en gestion de projet. Par ailleurs, nous avons appris à travailler en équipe, à communiquer efficacement avec les parties prenantes (durant notre période de stage), et à prendre des décisions éclairées en fonction des contraintes et des objectifs du projet.

En conclusion, ce projet de fin d'études a constitué une expérience inestimable dans le domaine du transport ferroviaire. Nous sommes convaincus que les compétences et les connaissances acquises nous seront extrêmement utiles dans notre future carrière, et nous sommes enthousiastes à l'idée de contribuer activement au développement et à l'amélioration des systèmes de transport ferroviaire.

Bibliographie

[1] C. N. Pyrgidis, Railway Transportation Systems: Design, Construction and Operation: CRC press, 2016

[2] Cours voie ferrée de Mr. Morsli ENSTP.

[3] Cours voie ferré de Mme F/ AISSIOU FGC / USTHB

[4] Rapport protection des routes contre l'ensablement : cas du sud Algérien **(**Nabil KEBAÏLI1 et Noureddine MOUDJAHED2)

[5] Guide technique de lutte contre l'ensablement, Edition CRSTRA 2015.

[6] SETIRAIL, « Rapport de l'étude géologique et géotechnique ».

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

[8] Cours hydraulique et assainissement de Mr. RAHMANI ENSTP.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

[18] Mémoires de voie ferrée école nationale des travaux publics.

Annexe

ANNEXE A : Listing Axe en plan

Eléments Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	144.07gr	1116.190	72275.000	516280.146	3680027.637
Clothoïde 1	Paramètre	-614.817	180.000	73391.190	517139.411	3679315.217
Arc 1	Rayon Centre X Centre Y	-2100.000 m 515867.933 m 3677640.660 m	953.528	73571.190	517276.313	3679198.372
Clothoïde 2	Paramètre	614.817	180.000	74524.719	517816.848	3678422.792
Droite 2	Gisement	178.43gr	878.713	74704.719	517879.083	3678253.909
Clothoïde 3	Paramètre	-754.983	190.000	75583.432	518171.115	3677425.142
Arc 2	Rayon Centre X Centre Y	-3000.000 m 515372.735 m 3676338.357 m	187.639	75773.432	518232.362	3677245.294
Clothoïde 4	Paramètre	754.983	190.000	75961.071	518283.459	3677064.778
Droite 3	Gisement	186.45gr	8477.225	76151.071	518325.562	3676879.510
Clothoïde 5	Paramètre	719.722	140.000	84628.296	520116.796	3668593.690
Arc 3	Rayon Centre X Centre Y	3700.000 m 523748.262 m 3669307.126 m	1369.746	84768.296	520147.240	3668457.042
Clothoïde 6	Paramètre	-719.722	140.000	86138.042	520698.757	3667211.769
Droite 4	Gisement	160.47gr	355.129	86278.042	520779.488	3667097.394
Clothoïde 7	Paramètre	616.441	190.000	86633.171	520986.103	3666808.557
Arc 4	Rayon Centre X Centre Y	2000.000 m 522668.641 m 3667895.340 m	1036.505	86823.171	521099.067	3666655.809
Clothoïde 8	Paramètre	-616.441	190.000	87859.676	521919.192	3666041.068
Droite 5	Gisement	121.43gr	1903.787	88049.676	522097.496	3665975.490
				89953.463	523894.449	3665346.707
Longueur totale de l'axe 17678.463 mètre(s)						

ANNEXE B : Listing profil en long

Eléments Caractéristiques				Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente	-0.13 %	1285.764	72275.000	776.008
Parabole 1	Rayon	51861.617 m	41.957	73560.764	774.348
	Sommet Absc.	73627.716 m			
	Sommet Alt.	774.305 m			
Pente 2	Pente	-0.05 %	1455.951	73602.721	774.311
Parabole 2	Rayon	42944.980 m	73.443	75058.672	773.609
	Sommet Absc.	75079.370 m			
	Sommet Alt.	773.604 m			
Pente 3	Pente	0.12 %	4426.452	75132.115	773.637
Parabole 3	Rayon	-88890.293 m	441.423	79558.567	779.073
	Sommet Absc.	79667.742 m			
	Sommet Alt.	779.140 m			
Pente 4	Pente	-0.37 %	2132.123	79999.990	778.519
Parabole 4	Rayon	-82377.671 m	629.011	82132.112	770.550
	Sommet Absc.	81824.207 m			
	Sommet Alt.	771.126 m			
Pente 5	Pente	-1.14 %	1285.328	82761.123	765.798
Parabole 5	Rayon	77223.313 m	757.098	84046.451	751.179
	Sommet Absc.	84924.744 m			
	Sommet Alt.	746.184 m			
Pente 6	Pente	-0.16 %	5149.914	84803.549	746.280
				89953.463	738.197
Longueur totale de l'axe 17678.463 mètre(s)					
Longueur développée totale de l'axe 17678.611 mètre(s)					

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

Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh
0.0021	0.189	0.033	0.0600	0.548	0.166	0.1179	0.670	0.232	0.1758	0.750	0.283	0.2337	0.814	0.329	0.2916	0.866	0.370
0.0031	0.219	0.040	0.0611	0.551	0.167	0.1190	0.672	0.233	0.1769	0.752	0.284	0.2348	0.815	0.329	0.2927	0.867	0.371
0.0042	0.249	0.048	0.0621	0.554	0.169	0.1200	0.674	0.234	0.1779	0.753	0.285	0.2359	0.816	0.330	0.2938	0.867	0.371
0.0053	0.266	0.053	0.0632	0.557	0.170	0.1211	0.676	0.235	0.1790	0.755	0.286	0.2369	0.817	0.331	0.2948	0.868	0.372
0.0064	0.278	0.057	0.0643	0.560	0.172	0.1222	0.677	0.236	0.1801	0.756	0.287	0.2380	0.818	0.332	0.2959	0.869	0.373
0.0074	0.290	0.061	0.0653	0.563	0.173	0.1233	0.679	0.237	0.1812	0.757	0.288	0.2391	0.819	0.333	0.2970	0.870	0.373
0.0085	0.302	0.065	0.0664	0.566	0.175	0.1243	0.681	0.238	0.1822	0.759	0.289	0.2401	0.820	0.333	0.2981	0.871	0.374
0.0096	0.315	0.069	0.0675	0.569	0.176	0.1254	0.682	0.239	0.1833	0.760	0.290	0.2412	0.821	0.334	0.2991	0.872	0.375
0.0107	0.327	0.073	0.0686	0.571	0.177	0.1265	0.684	0.240	0.1844	0.762	0.290	0.2423	0.822	0.335	0.3002	0.873	0.376
0.0117	0.337	0.076	0.0696	0.574	0.179	0.1275	0.686	0.241	0.1855	0.763	0.291	0.2434	0.823	0.336	0.3013	0.874	0.376
0.0128	0.344	0.079	0.0707	0.576	0.180	0.1286	0.687	0.242	0.1865	0.764	0.292	0.2444	0.824	0.337	0.3023	0.874	0.377
0.0139	0.352	0.082	0.0718	0.579	0.181	0.1297	0.689	0.243	0.1876	0.766	0.293	0.2455	0.825	0.337	0.3034	0.875	0.378
0.0149	0.360	0.085	0.0729	0.582	0.183	0.1308	0.691	0.244	0.1887	0.767	0.294	0.2466	0.826	0.338	0.3045	0.876	0.378
0.0160	0.367	0.088	0.0739	0.584	0.184	0.1318	0.692	0.245	0.1897	0.768	0.295	0.2477	0.828	0.339	0.3056	0.877	0.379
0.0171	0.375	0.090	0.0750	0.587	0.185	0.1329	0.694	0.246	0.1908	0.770	0.296	0.2487	0.829	0.340	0.3066	0.878	0.380
0.0182	0.382	0.093	0.0761	0.589	0.187	0.1340	0.696	0.247	0.1919	0.771	0.297	0.2498	0.830	0.341	0.3077	0.879	0.381
0.0192	0.390	0.096	0.0771	0.592	0.188	0.1351	0.698	0.248	0.1930	0.773	0.298	0.2509	0.831	0.341	0.3088	0.880	0.381
0.0203	0.397	0.099	0.0782	0.594	0.189	0.1361	0.699	0.250	0.1940	0.774	0.299	0.2519	0.832	0.342	0.3099	0.881	0.382
0.0214	0.404	0.101	0.0793	0.597	0.190	0.1372	0.701	0.251	0.1951	0.775	0.300	0.2530	0.833	0.343	0.3109	0.881	0.383
0.0224	0.409	0.103	0.0804	0.599	0.192	0.1383	0.702	0.251	0.1962	0.777	0.300	0.2541	0.834	0.344	0.3120	0.882	0.384
0.0235	0.415	0.105	0.0814	0.602	0.193	0.1393	0.704	0.252	0.1972	0.778	0.301	0.2552	0.835	0.345	0.3131	0.883	0.384
0.0246	0.420	0.108	0.0825	0.604	0.194	0.1404	0.705	0.253	0.1983	0.779	0.302	0.2562	0.836	0.345	0.3141	0.884	0.385
0.0257	0.425	0.110	0.0836	0.607	0.196	0.1415	0.706	0.254	0.1994	0.780	0.303	0.2573	0.837	0.346	0.3152	0.885	0.386
0.0267	0.431	0.112	0.0846	0.609	0.197	0.1426	0.708	0.255	0.2005	0.781	0.304	0.2584	0.838	0.347	0.3163	0.886	0.386
0.0278	0.436	0.114	0.0857	0.612	0.198	0.1436	0.709	0.256	0.2015	0.782	0.304	0.2594	0.839	0.348	0.3174	0.887	0.387
0.0289	0.441	0.116	0.0868	0.615	0.200	0.1447	0.710	0.257	0.2026	0.783	0.305	0.2605	0.840	0.349	0.3184	0.887	0.388
0.0300	0.447	0.118	0.0879	0.617	0.201	0.1458	0.712	0.258	0.2037	0.784	0.306	0.2616	0.841	0.349	0.3195	0.888	0.389
0.0310	0.452	0.120	0.0889	0.619	0.202	0.1468	0.713	0.259	0.2048	0.785	0.307	0.2627	0.842	0.350	0.3206	0.889	0.389
0.0321	0.457	0.122	0.0900	0.621	0.203	0.1479	0.715	0.260	0.2058	0.786	0.308	0.2637	0.843	0.351	0.3216	0.890	0.390
0.0332	0.463	0.125	0.0911	0.623	0.204	0.1490	0.716	0.261	0.2069	0.787	0.308	0.2648	0.844	0.352	0.3227	0.891	0.391
0.0342	0.467	0.126	0.0922	0.625	0.205	0.1501	0.717	0.261	0.2080	0.788	0.309	0.2659	0.845	0.352	0.3238	0.892	0.391
0.0353	0.471	0.128	0.0932	0.627	0.206	0.1511	0.719	0.262	0.2090	0.789	0.310	0.2670	0.846	0.353	0.3249	0.893	0.392
0.0364	0.474	0.130	0.0943	0.629	0.208	0.1522	0.720	0.263	0.2101	0.790	0.311	0.2680	0.847	0.354	0.3259	0.894	0.393
0.0375	0.478	0.132	0.0954	0.631	0.209	0.1533	0.721	0.264	0.2112	0.791	0.312	0.2691	0.848	0.355	0.3270	0.894	0.394
0.0385	0.481	0.133	0.0964	0.632	0.210	0.1544	0.723	0.265	0.2123	0.792	0.312	0.2702	0.848	0.355	0.3281	0.895	0.394
0.0396	0.485	0.135	0.0975	0.634	0.211	0.1554	0.724	0.266	0.2133	0.794	0.313	0.2712	0.849	0.356	0.3292	0.896	0.395
0.0407	0.489	0.137	0.0986	0.636	0.212	0.1565	0.726	0.267	0.2144	0.795	0.314	0.2723	0.850	0.357	0.3302	0.897	0.396
0.0418	0.492	0.139	0.0997	0.638	0.213	0.1576	0.727	0.268	0.2155	0.796	0.315	0.2734	0.851	0.357	0.3313	0.898	0.397
0.0428	0.496	0.140	0.1007	0.640	0.214	0.1586	0.728	0.269	0.2166	0.797	0.316	0.2745	0.852	0.358	0.3324	0.899	0.397
0.0439	0.500	0.142	0.1018	0.642	0.215	0.1597	0.730	0.270	0.2176	0.798	0.317	0.2755	0.853	0.359	0.3334	0.900	0.398
0.0450	0.503	0.144	0.1029	0.644	0.216	0.1608	0.731	0.270	0.2187	0.799	0.317	0.2766	0.854	0.360	0.3345	0.900	0.399
0.0460	0.507	0.146	0.1040	0.646	0.217	0.1619	0.733	0.271	0.2198	0.800	0.318	0.2777	0.854	0.360	0.3356	0.901	0.399
0.0471	0.511	0.147	0.1050	0.648	0.219	0.1629	0.734	0.272	0.2208	0.801	0.319	0.2788	0.855	0.361	0.3367	0.902	0.400

Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh
0.3495	0.911	0.408	0.4074	0.949	0.444	0.4653	0.981	0.479	0.5233	1.010	0.514	0.5812	1.036	0.548	0.6391	1.059	0.581
0.3506	0.911	0.409	0.4085	0.949	0.445	0.4664	0.982	0.480	0.5243	1.011	0.514	0.5822	1.037	0.548	0.6402	1.059	0.582
0.3517	0.912	0.409	0.4096	0.950	0.445	0.4675	0.982	0.481	0.5254	1.011	0.515	0.5833	1.037	0.549	0.6412	1.059	0.583
0.3527	0.913	0.410	0.4107	0.951	0.446	0.4686	0.983	0.481	0.5265	1.012	0.516	0.5844	1.038	0.549	0.6423	1.060	0.583
0.3538	0.913	0.411	0.4117	0.952	0.447	0.4696	0.984	0.482	0.5275	1.012	0.516	0.5855	1.038	0.550	0.6434	1.060	0.584
0.3549	0.914	0.411	0.4128	0.952	0.447	0.4707	0.984	0.482	0.5286	1.013	0.517	0.5865	1.038	0.551	0.6444	1.061	0.584
0.3560	0.915	0.412	0.4139	0.953	0.448	0.4718	0.985	0.483	0.5297	1.013	0.518	0.5876	1.039	0.551	0.6455	1.061	0.585
0.3570	0.916	0.413	0.4149	0.954	0.449	0.4729	0.985	0.484	0.5308	1.014	0.518	0.5887	1.039	0.552	0.6466	1.062	0.586
0.3581	0.916	0.413	0.4160	0.954	0.449	0.4739	0.986	0.484	0.5318	1.014	0.519	0.5897	1.040	0.553	0.6477	1.062	0.586
0.3592	0.917	0.414	0.4171	0.955	0.450	0.4750	0.987	0.485	0.5329	1.015	0.519	0.5908	1.040	0.553	0.6487	1.062	0.587
0.3603	0.918	0.415	0.4182	0.956	0.451	0.4761	0.987	0.486	0.5340	1.015	0.520	0.5919	1.041	0.554	0.6498	1.063	0.588
0.3613	0.918	0.415	0.4192	0.956	0.451	0.4771	0.988	0.486	0.5351	1.016	0.521	0.5930	1.041	0.554	0.6509	1.063	0.588
0.3624	0.919	0.416	0.4203	0.957	0.452	0.4782	0.988	0.487	0.5361	1.016	0.521	0.5940	1.041	0.555	0.6519	1.064	0.589
0.3635	0.920	0.417	0.4214	0.957	0.453	0.4793	0.989	0.488	0.5372	1.017	0.522	0.5951	1.042	0.556	0.6530	1.064	0.589
0.3645	0.921	0.417	0.4225	0.958	0.453	0.4804	0.989	0.488	0.5383	1.017	0.523	0.5962	1.042	0.556	0.6541	1.064	0.590
0.3656	0.921	0.418	0.4235	0.959	0.454	0.4814	0.990	0.489	0.5393	1.018	0.523	0.5973	1.043	0.557	0.6552	1.065	0.591
0.3667	0.922	0.419	0.4246	0.959	0.455	0.4825	0.991	0.490	0.5404	1.018	0.524	0.5983	1.043	0.558	0.6562	1.065	0.591
0.3678	0.923	0.419	0.4257	0.960	0.455	0.4836	0.991	0.490	0.5415	1.019	0.524	0.5994	1.043	0.558	0.6573	1.066	0.592
0.3688	0.923	0.420	0.4267	0.960	0.456	0.4847	0.992	0.491	0.5426	1.019	0.525	0.6005	1.044	0.559	0.6584	1.066	0.592
0.3699	0.924	0.421	0.4278	0.961	0.457	0.4857	0.992	0.492	0.5436	1.020	0.526	0.6015	1.044	0.559	0.6595	1.066	0.593
0.3710	0.925	0.421	0.4289	0.962	0.457	0.4868	0.993	0.492	0.5447	1.020	0.526	0.6026	1.045	0.560	0.6605	1.067	0.594
0.3721	0.925	0.422	0.4300	0.962	0.458	0.4879	0.994	0.493	0.5458	1.020	0.527	0.6037	1.045	0.561	0.6616	1.067	0.594
0.3731	0.926	0.423	0.4310	0.963	0.459	0.4889	0.994	0.494	0.5469	1.021	0.528	0.6048	1.045	0.561	0.6627	1.068	0.595
0.3742	0.927	0.423	0.4321	0.963	0.459	0.4900	0.995	0.494	0.5479	1.021	0.528	0.6058	1.046	0.562	0.6637	1.068	0.596
0.3753	0.928	0.424	0.4332	0.964	0.460	0.4911	0.995	0.495	0.5490	1.022	0.529	0.6069	1.046	0.563	0.6648	1.069	0.596
0.3763	0.928	0.425	0.4342	0.964	0.460	0.4922	0.996	0.495	0.5501	1.022	0.529	0.6080	1.047	0.563	0.6659	1.069	0.597
0.3774	0.929	0.425	0.4353	0.965	0.461	0.4932	0.996	0.496	0.5511	1.023	0.530	0.6091	1.047	0.564	0.6670	1.069	0.597
0.3785	0.930	0.426	0.4364	0.966	0.462	0.4943	0.997	0.497	0.5522	1.023	0.531	0.6101	1.048	0.564	0.6680	1.070	0.598
0.3796	0.930	0.427	0.4375	0.966	0.462	0.4954	0.998	0.497	0.5533	1.024	0.531	0.6112	1.048	0.565	0.6691	1.070	0.599
0.3806	0.931	0.427	0.4385	0.967	0.463	0.4964	0.998	0.498	0.5544	1.024	0.532	0.6123	1.048	0.566	0.6702	1.071	0.599
0.3817	0.932	0.428	0.4396	0.967	0.464	0.4975	0.999	0.499	0.5554	1.025	0.533	0.6133	1.049	0.566	0.6713	1.071	0.600
0.3828	0.933	0.429	0.4407	0.968	0.464	0.4986	0.999	0.499	0.5565	1.025	0.533	0.6144	1.049	0.567	0.6723	1.071	0.601
0.3838	0.933	0.429	0.4418	0.969	0.465	0.4997	1.000	0.500	0.5576	1.026	0.534	0.6155	1.050	0.568	0.6734	1.072	0.601
0.3849	0.934	0.430	0.4428	0.969	0.466	0.5007	1.000	0.501	0.5586	1.026	0.534	0.6166	1.050	0.568	0.6745	1.072	0.602
0.3860	0.935	0.431	0.4439	0.970	0.466	0.5018	1.001	0.501	0.5597	1.027	0.535	0.6176	1.050	0.569	0.6755	1.072	0.603
0.3871	0.935	0.431	0.4450	0.970	0.467	0.5029	1.001	0.502	0.5608	1.027	0.536	0.6187	1.051	0.569	0.6766	1.073	0.603
0.3881	0.936	0.432	0.4460	0.971	0.468	0.5040	1.002	0.502	0.5619	1.028	0.536	0.6198	1.051	0.570	0.6777	1.073	0.604
0.3892	0.937	0.433	0.4471	0.971	0.468	0.5050	1.002	0.503	0.5629	1.028	0.537	0.6208	1.052	0.571	0.6788	1.073	0.604
0.3903	0.937	0.433	0.4482	0.972	0.469	0.5061	1.003	0.504	0.5640	1.029	0.538	0.6219	1.052	0.571	0.6798	1.074	0.605
0.3914	0.938	0.434	0.4493	0.973	0.470	0.5072	1.003	0.504	0.5651	1.029	0.538	0.6230	1.052	0.572	0.6809	1.074	0.606
0.3924	0.939	0.435	0.4503	0.973	0.470	0.5082	1.004	0.505	0.5662	1.030	0.539	0.6241	1.053	0.573	0.6820	1.075	0.606
0.3935	0.940	0.435	0.4514	0.974	0.471	0.5093	1.004	0.506	0.5672	1.030	0.539	0.6251	1.053	0.573	0.6830	1.075	0.607
0.3946	0.940	0.436	0.4525	0.974	0.471	0.5104	1.005	0.506	0.5683	1.030	0.540	0.6262	1.054	0.574	0.6841	1.075	0.608
0.3956	0.941	0.437	0.4536	0.975	0.472	0.5115	1.005	0.507	0.5694	1.031	0.541	0.6273	1.054	0.574	0.6852	1.076	0.608
0.3967	0.942	0.437	0.4546	0.976	0.473	0.5125	1.006	0.507	0.5704	1.031	0.541	0.6284	1.055	0.575	0.6863	1.076	0.609
0.3978	0.942	0.438	0.4557	0.976	0.473	0.5136	1.006	0.508	0.5715	1.032	0.542	0.6294	1.055	0.576	0.6873	1.076	0.610
0.3989	0.943	0.439	0.4568	0.977	0.474	0.5147	1.007	0.509	0.5726	1.032	0.543	0.6305	1.055	0.576	0.6884	1.077	0.610
0.3999	0.944	0.439	0.4578	0.977	0.475	0.5158	1.007	0.509	0.5737	1.033	0.543	0.6316	1.056	0.577	0.6895	1.077	0.611
0.4010	0.945	0.440	0.4589	0.978	0.475	0.5168	1.008	0.510	0.5747	1.033	0.544	0.6326	1.056	0.578	0.6906	1.077	0.612
0.4021	0.945	0.441	0.4600	0.978	0.476	0.5179	1.008	0.511	0.5758	1.034	0.544	0.6337	1.057	0.578	0.6916	1.078	0.612
0.4032	0.946	0.441	0.4611	0.979	0.477	0.5190	1.009	0.511	0.5769	1.034	0.545	0.6348	1.057	0.579	0.6927	1.078	0.613

Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh
0.697	1.080	0.615	0.755	1.099	0.650	0.813	1.114	0.685	0.871	1.126	0.723	0.929	1.135	0.763	0.987	1.139	0.810	1.044	1.133	0.869
0.698	1.080	0.616	0.756	1.099	0.651	0.814	1.115	0.685	0.872	1.126	0.723	0.930	1.135	0.764	0.988	1.139	0.811	1.046	1.133	0.870
0.699	1.080	0.617	0.757	1.100	0.651	0.815	1.115	0.686	0.873	1.126	0.724	0.931	1.136	0.764	0.989	1.139	0.812	1.047	1.132	0.872
0.700	1.081	0.617	0.758	1.100	0.652	0.816	1.115	0.687	0.874	1.126	0.725	0.932	1.136	0.765	0.990	1.139	0.813	1.048	1.132	0.873
0.701	1.081	0.618	0.759	1.100	0.653	0.817	1.115	0.687	0.875	1.126	0.726	0.933	1.136	0.766	0.991	1.139	0.813	1.049	1.131	0.875
0.702	1.081	0.619	0.760	1.100	0.653	0.818	1.116	0.688	0.876	1.126	0.726	0.934	1.136	0.767	0.992	1.139	0.814	1.050	1.131	0.876
0.703	1.082	0.619	0.761	1.101	0.654	0.819	1.116	0.689	0.877	1.126	0.727	0.935	1.137	0.767	0.993	1.139	0.815	1.051	1.130	0.878
0.705	1.082	0.620	0.762	1.101	0.654	0.820	1.116	0.689	0.878	1.127	0.728	0.936	1.137	0.768	0.994	1.139	0.816	1.052	1.130	0.879
0.706	1.082	0.620	0.764	1.101	0.655	0.821	1.117	0.690	0.879	1.127	0.729	0.937	1.137	0.769	0.995	1.139	0.817	1.053	1.129	0.881
0.707	1.083	0.621	0.765	1.102	0.656	0.823	1.117	0.691	0.880	1.127	0.729	0.938	1.137	0.770	0.996	1.139	0.818	1.054	1.129	0.883
0.708	1.083	0.622	0.766	1.102	0.656	0.824	1.117	0.691	0.881	1.127	0.730	0.939	1.138	0.770	0.997	1.139	0.819	1.055	1.128	0.884
0.709	1.084	0.622	0.767	1.102	0.657	0.825	1.117	0.692	0.883	1.127	0.731	0.940	1.138	0.771	0.998	1.139	0.820	1.056	1.128	0.886
0.710	1.084	0.623	0.768	1.102	0.658	0.826	1.118	0.693	0.884	1.127	0.732	0.942	1.138	0.772	0.999	1.139	0.821	1.057	1.127	0.888
0.711	1.084	0.624	0.769	1.103	0.658	0.827	1.118	0.693	0.885	1.127	0.732	0.943	1.138	0.773	1.001	1.139	0.822	1.058	1.127	0.889
0.712	1.085	0.624	0.770	1.103	0.659	0.828	1.118	0.694	0.886	1.128	0.733	0.944	1.138	0.773	1.002	1.139	0.823	1.060	1.127	0.891
0.713	1.085	0.625	0.771	1.103	0.660	0.829	1.119	0.695	0.887	1.128	0.734	0.945	1.139	0.774	1.003	1.139	0.824	1.061	1.126	0.893
0.714	1.085	0.626	0.772	1.104	0.660	0.830	1.119	0.695	0.888	1.128	0.735	0.946	1.139	0.775	1.004	1.139	0.825	1.062	1.126	0.894
0.715	1.086	0.626	0.773	1.104	0.661	0.831	1.119	0.696	0.889	1.128	0.735	0.947	1.139	0.776	1.005	1.139	0.826	1.063	1.125	0.896
0.716	1.086	0.627	0.774	1.104	0.662	0.832	1.119	0.696	0.890	1.128	0.736	0.948	1.139	0.777	1.006	1.139	0.827	1.064	1.125	0.897
0.717	1.086	0.628	0.775	1.104	0.662	0.833	1.120	0.697	0.891	1.128	0.737	0.949	1.139	0.777	1.007	1.139	0.828	1.065	1.124	0.899
0.718	1.087	0.628	0.776	1.105	0.663	0.834	1.120	0.698	0.892	1.129	0.738	0.950	1.139	0.778	1.008	1.139	0.829	1.066	1.123	0.902
0.720	1.087	0.629	0.777	1.105	0.664	0.835	1.120	0.698	0.893	1.129	0.738	0.951	1.139	0.779	1.009	1.139	0.830	1.067	1.121	0.905
0.721	1.087	0.629	0.779	1.105	0.664	0.836	1.121	0.699	0.894	1.129	0.739	0.952	1.139	0.780	1.010	1.139	0.831	1.068	1.119	0.909
0.722	1.088	0.630	0.780	1.106	0.665	0.838	1.121	0.700	0.895	1.129	0.740	0.953	1.139	0.781	1.011	1.139	0.832	1.069	1.117	0.913
0.723	1.088	0.631	0.781	1.106	0.665	0.839	1.121	0.700	0.897	1.129	0.741	0.954	1.139	0.782	1.012	1.139	0.833	1.070	1.116	0.916
0.724	1.089	0.631	0.782	1.106	0.666	0.840	1.121	0.701	0.898	1.129	0.741	0.955	1.139	0.783	1.013	1.139	0.834	1.071	1.114	0.920
0.725	1.089	0.632	0.783	1.106	0.667	0.841	1.121	0.702	0.899	1.129	0.742	0.957	1.139	0.784	1.014	1.139	0.835			
0.726	1.089	0.633	0.784	1.107	0.667	0.842	1.122	0.703	0.900	1.130	0.743	0.958	1.139	0.785	1.016	1.139	0.836			
0.727	1.090	0.633	0.785	1.107	0.668	0.843	1.122	0.703	0.901	1.130	0.744	0.959	1.139	0.786	1.017	1.139	0.837			
0.728	1.090	0.634	0.786	1.107	0.669	0.844	1.122	0.704	0.902	1.130	0.744	0.960	1.139	0.787	1.018	1.139	0.838			
0.729	1.090	0.635	0.787	1.108	0.669	0.845	1.122	0.705	0.903	1.130	0.745	0.961	1.139	0.788	1.019	1.139	0.839			
0.730	1.091	0.635	0.788	1.108	0.670	0.846	1.122	0.706	0.904	1.130	0.746	0.962	1.139	0.789	1.020	1.139	0.840			
0.731	1.091	0.636	0.789	1.108	0.671	0.847	1.122	0.706	0.905	1.130	0.747	0.963	1.139	0.789	1.021	1.139	0.841			
0.732	1.091	0.636	0.790	1.108	0.671	0.848	1.122	0.707	0.906	1.130	0.747	0.964	1.139	0.790	1.022	1.139	0.842			
0.733	1.092	0.637	0.791	1.109	0.672	0.849	1.123	0.708	0.907	1.131	0.748	0.965	1.139	0.791	1.023	1.139	0.843			
0.735	1.092	0.638	0.792	1.109	0.673	0.850	1.123	0.709	0.908	1.131	0.749	0.966	1.139	0.792	1.024	1.139	0.844			
0.736	1.093	0.638	0.794	1.109	0.673	0.851	1.123	0.709	0.909	1.131	0.750	0.967	1.139	0.793	1.025	1.139	0.845			
0.737	1.093	0.639	0.795	1.109	0.674	0.853	1.123	0.710	0.910	1.131	0.750	0.968	1.139	0.794	1.026	1.139	0.846			
0.738	1.093	0.640	0.796	1.110	0.674	0.854	1.123	0.711	0.912	1.131	0.751	0.969	1.139	0.795	1.027	1.139	0.847			
0.739	1.094	0.640	0.797	1.110	0.675	0.855	1.123	0.712	0.913	1.132	0.752	0.970	1.139	0.796	1.028	1.139	0.848			
0.740	1.094	0.641	0.798	1.110	0.676	0.856	1.123	0.712	0.914	1.132	0.753	0.972	1.139	0.797	1.029	1.139	0.849			
0.741	1.094	0.642	0.799	1.111	0.676	0.857	1.124	0.713	0.915	1.132	0.753	0.973	1.139	0.798	1.031	1.139	0.850			
0.742	1.095	0.642	0.800	1.111	0.677	0.858	1.124	0.714	0.916	1.132	0.754	0.974	1.139	0.799	1.032	1.139	0.851			
0.743	1.095	0.643	0.801	1.111	0.678	0.859	1.124	0.715	0.917	1.133	0.755	0.975	1.139	0.800	1.033	1.138	0.853			
0.744	1.095	0.644	0.802	1.111	0.678	0.860	1.124	0.715	0.918	1.133	0.756	0.976	1.139	0.800	1.034	1.138	0.854			
0.745	1.096	0.644	0.803	1.112	0.679	0.861	1.124	0.716	0.919	1.133	0.756	0.977	1.139	0.801	1.035	1.137	0.856			
0.746	1.096	0.645	0.804	1.112	0.680	0.862	1.124	0.717	0.920	1.133	0.757	0.978	1.139	0.802	1.036	1.137	0.857			
0.747	1.096	0.645	0.805	1.112	0.680	0.863	1.125	0.718	0.921	1.133	0.758	0.979	1.139	0.803	1.037	1.136	0.859			

ANNEXE D : Classifications des sols selon UIC.

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

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

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

(e en mètres)

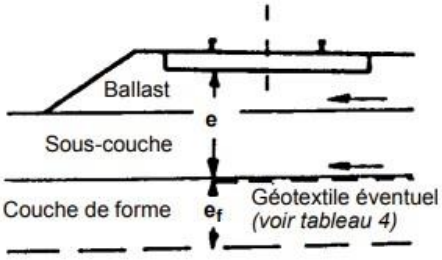


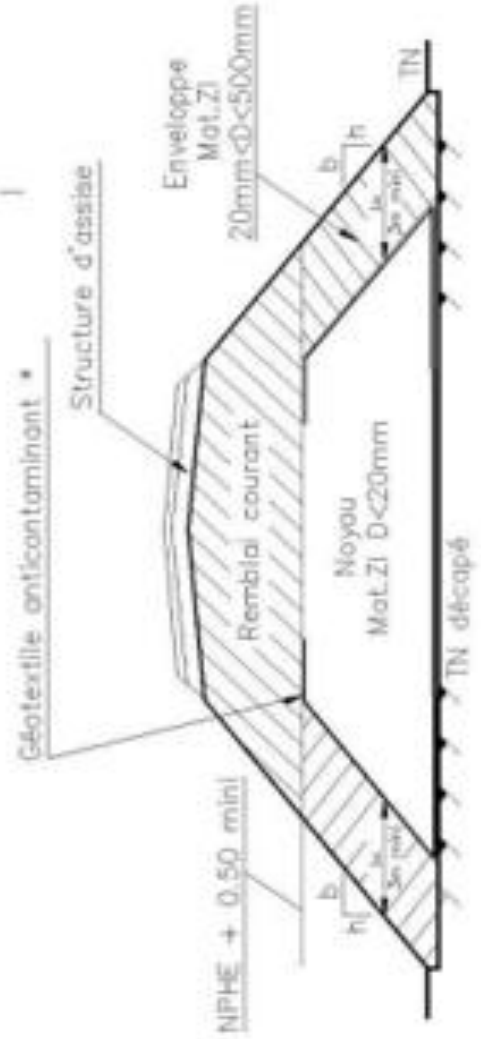
Fig. 9 - Calcul de l'épaisseur minimale "e" des couches d'assise

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

a. Les classes de portance des plates-formes sont définies au tableau 4.
b. Les groupes UIC sont définis dans la fiche n° 714 (édition du 01.01.89) (v oir Bibliographie).
c. Les classes de qualité des sols sont définies au tableau 3.

ANNEXE F : ANNEXE 7 de la norme IN 3278 « Remblai de zone inondable avec noyau et enveloppe »

Annexe 7 – Remblai de zone inondable avec noyau et enveloppe



Le NPHE (niveau des plus hautes eaux) est déterminé par l'étude hydraulique

* Si les conditions de Terzaghi ne sont pas respectées entre les matériaux du noyau et ceux de l'enveloppe

ANNEXEG : FICHE 7 de la norme ST N°590

SPECIFICATION TECHNIQUE N° 590B	CHAPITRE 2	SPECIFICATIONS TECHNIQUES	EDITION mars-99	PAGE 26

ARTICLE 9	SPECIFICATIONS

Fiche n° 7 : Matériaux de zone inondable

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

désignation		Granulat 0/D	Observations
Caractéristiques intrinsèques			
résistance	LA+MDA	<= 80	
Caractéristiques de fabrication			
dimensions nominales	d	0	
	D	63 à 500	
granularité	P[Dmax]	>= 99 %	
(fuseau de spécification)	P[D]	[1]	
	P[D/20]		
	P[0,08]	<= 5 %	[2]
angularité			
forme			
propreté			
Caractéristiques complémentaires			
sensibilité au gel		non gélif	
dégradabilité		non mesurable	
granulats artificiels		[3]	

[1] si D <= 200 mm : P[D] = 99 à 85 % (Dmax = 1,25 D)
si D > 200 mm : P[D] >= 99 % (D = Dmax)

[2] mesuré sur la fraction 0/50

[3] voir recommandations d'emploi en annexes 1 et 2