République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة
فرنسيس جانسون

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 d'APD de la ligne ferroviaire TISSEMSILT - BOUGHEZOUL
Tronçon du PK 72+200 au PK 86+000 avec la conception de la gare de « CHAHBOUNIA »

Présenté par :
- DJELFI Mohamed Islam

Encadré par :
Mme BELHADJ Fatma Zohra

Promotion 2024 / 2025

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

REMERCIEMENT

Avant toute chose, je rends grâce à Allah Le Tout-Puissant pour m'avoir accordé la force, la patience et la sagesse nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je dédie ce modeste mémoire à mes parents et mes soeurs, piliers indéfectibles, dont l'amour, les sacrifices et les encouragements ont été ma source de motivation tout au long de mon parcours. Mes pensées vont également à mes professeurs de l'ENSTP Kouba, département DIB, qui m'ont inculqué les connaissances et les valeurs essentielles à ma formation d'ingénieur.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Mme Belhadj Fatma Zohra, ma promotrice, pour son encadrement rigoureux, ses conseils éclairés et sa disponibilité tout au long de l'élaboration de ce projet. Son expertise et son soutien ont été déterminants dans la réalisation de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à l'ensemble des enseignants de l'ENSTP, particulièrement ceux du département DIB, pour leur transmission de savoir et leur accompagnement académique etje tiens à mentionner tout particulièrement Monsieur Kamel Hamadi, qui nous a toujours soutenus, nous a prodigué des encouragements constants, et a été pour nous une véritable source de motivation et un appui indéfectible.

Je suis reconnaissant envers les ingénieurs et professionnels des entreprises SAETI, GCB et SETIRAIL pour leur appui technique et leurs précieuses contributions. Je remercie tout particulièrement : **M. BENOUMECHIARA Salah Eddine, M. ABDELLI Foudil, M. Ibrahim LATER, M. SAADI Boubker, Mme WIDAD** pour leur expertise, leur temps et leurs conseils pratiques qui ont enrichi ce projet.

Enfin, je n'oublie pas mes amis et collègues pour leur soutien moral, leurs encouragements et les moments de partage qui ont rendu ce parcours plus enrichissant.

"Quiconque n'est pas reconnaissant envers les gens ne peut être reconnaissant envers Allah." (Hadith Prophétique)

DEDICACE

Je dédie humblement ce travail à ceux qui ont rendu possible son aboutissement.
À mes chers parents, dont l'amour inconditionnel et les sacrifices quotidiens ont été le terreau fertile de toutes mes réalisations. Votre patience et vos conseils ont guidé chacun de mes pas.
À mes sœurs bien-aimées, pour votre soutien indéfectible et cette complicité fraternelle qui a illuminé mes moments de doute. Vos encouragements discrets mais constants ont été ma bouffée d'oxygène dans les périodes exigeantes.

Une pensée particulière va à mes amis de cœur – **ELKBIR Mohamed Islam, Yassine SAHNOUN, Samy LACHEB et Abdo ZIDI et Attiche kamel** – qui ont transformé ce parcours en une aventure collective.
Nos échanges enrichissants, vos remarques constructives et surtout votre amitié sincère ont donné un sens particulier à ce travail. Vous avez su, par votre présence, faire de chaque difficulté une occasion d'apprentissage partagé.

Je tiens également à remercier du fond du cœur **Sahraoui Mouad, Fares, Yakin, Abdou, Nabil, Sabri Boughenna**, ainsi que **tous mes frères et amis** dont les noms ne peuvent tous être cités ici, mais qui occupent une place irremplaçable dans mon cœur.
Merci pour votre soutien, vos sourires, vos encouragements et tous ces moments de fraternité qui ont donné de la chaleur humaine à ce long chemin.

Ce mémoire est le reflet de notre chemin parcouru ensemble, car c'est dans la chaleur des relations humaines que le savoir prend toute sa valeur.
Que ces lignes témoignent de ma profonde reconnaissance pour votre accompagnement précieux.

Résumé

Ce projet de fin d'études porte sur l'**étude d'Avant-Projet Détaillé (APD)** de la ligne ferroviaire **Tissemsilt - Boughezoul**, entre les PK **72+200 et 86+000**. Cette liaison stratégique vise à **stimuler le développement économique** en réduisant la pression sur le transport routier, notamment la **RN40**, dont la saturation pose un défi majeur en Algérie. Elle permettra également d'améliorer les services de transport de voyageurs et de marchandises, en offrant une alternative fiable et efficace.

Les **caractéristiques techniques** de la ligne ont été définies en conformité avec les **normes SNTF et UIC**, s'inspirant des meilleures pratiques ferroviaires internationales. La **modélisation géométrique** du tracé a été réalisée à l'aide du logiciel **AutoCAD Civil 3D**, garantissant une conception précise et optimisée.

Abstract

This graduation project focuses on the **Detailed Preliminary Design (DPD)** study of the **Tissemsilt - Boughezoul** railway line, between **KP 72+200 and KP 86+000**. This strategic link will **boost economic growth** by alleviating pressure on road transport, particularly **National Road 40 (RN40)**, whose congestion is a major challenge in Algeria. It will also enhance passenger and freight transport services by providing a reliable and efficient alternative.

The **technical specifications** of the railway line were determined in compliance with **SNTF and UIC standards**, drawing on international best practices. The **geometric modeling** of the alignment was carried out using **AutoCAD Civil 3D**, ensuring a precise and optimized design.

ملخص

يركز هذا المشروع النهائي على **دراسة التصميم الأولي المفصل (APD)** لخط السكك الحديدية **تيسمسيلت - بوغزول**، بين الكيلومتر **72+200 و 86+000**. يمثل هذا الربط الاستراتيجي **دفعة للتنمية الاقتصادية** من خلال تخفيف الضغط على النقل البري، خاصة **الطريق الوطني رقم 40 (RN40)** الذي يعاني من الازدحام كأحد التحديات الكبرى في الجزائر. كما سيسهم في تحسين خدمات نقل الركاب والبضائع من خلال توفير بديل موثوق وفعال.

تم تحديد **المواصفات الفنية** للخط وفقاً لـ **معايير الشركة الوطنية للسكك الحديدية (SNTF) والاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC)**، مستندةً إلى أفضل الممارسات الدولية. وقد تم تنفيذ **النمذجة الهندسية** للمسار باستخدام برنامج **AutoCAD Civil 3D** لضمان تصميم دقيق ومُحسَّن.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE : 1

I CHAPITRE I : GENERALITES 3

I.1 INTRODUCTION : 3
I.2 INFRASTRUCTURE FERROVIAIRE : 3
I.3 AVANTAGES DES TRANSPORTS FERROVIAIRES : 3
I.4 DEFIS LIES A LA VOIE FERREE : 4
I.5 LES TYPES DE LA VOIE FERREE : 4
I.6 LES COMPOSANTS PRINCIPAUX DE LA VOIE FERREE : 4
I.6.1 La Plateforme : 4
I.6.2 Le Ballast : 4
I.6.3 Les Traverses : 5
I.6.4 Le Rail : 5
I.6.5 Les Attaches : 6
I.7 LES NORMES ET LES CARACTERESTIQUES TECHNIQUES : 6
I.7.1 Ecartement de Rail : 6
I.7.2 Rayon de Courbure : 6
I.7.3 Dévers et Pentes : 6
I.8 CONCLUSION : 6

II CHAPITRE II : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE 8

II.1 INTRODUCTION : 8
II.2 LA NAISSANCE DE CHEMIN DE FER : 8
II.3 HISTOIRE DU CHEMIN DE FER EN ALGERIE : 9
II.3.1 Période coloniale 9
II.3.2 Après l'indépendance de l'Algérie : 10
II.4 CONCLUSION : 10

III CHAPITRE III : PRESENTATION DU PROJET 13

III.1 INTRODUCTION 13
III.1.1 LES OBJECTIFS DE PROJET : 13
III.2 PRÉSENTATION DU PROJET ÉTUDIÉ : 14
III.2.1 PRESENTATION DU PROJET : 14
III.3 CONCLUSION : 15

IV CHAPITRE IV : TOPOGRAPHIE 17

IV.1 INTRODUCTION 17
IV.2 OBJECTIFS DE L'ETUDE TOPOGRAPHIQUE 17
IV.3 MATERIEL UTILISE 17
IV.4 MISE EN PLACE DE LA POLYGONALE 17
IV.4.1 Objectifs de la polygonale : 18
IV.5 METHODOLOGIE DES LEVES 18
IV.6 RESULTATS ET EXPLOITATION DES DONNEES 18
IV.7 CONTRAINTES RENCONTREES 19
IV.8 CONCLUSION 19

V CHAPITRE V : ETUDE GEOMETRIQUE 21

V.1 INTRODUCTION : 21
V.2 TRACE EN PLAN : 21
V.2.1 CONDITIONS ET RÈGLES A RESPECTER DANS LE TRACÉ EN PLAN : 21
V.2.2 LES ÉLÉMENTS DU TRACÉ EN PLAN : 22
V.2.3 APPLICATIONS SUR LE PROJET : 23

V.3 PROFIL EN LONG : 26
V.3.1 LES ÉLÉMENTS DU PROFIL EN LONG : 26
V.3.2 APPLICATION SUR LE PROJET : 28
V.4 CONCLUSION : 28
VI CHAPITRE VI : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE 30
VI.1 INTRODUCTION : 30
VI.2 ÉTUDE HYDROLOGIQUE : 30
VI.2.1 Présentation générale 31
VI.2.2 Caractéristiques climatiques : 32
VI.2.3 Bassins versants : 35
VI.2.4 Calcul des débits maximaux (Les crues) 37
VI.3 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES LONGITUDINAUX (LES FOSSES) : 44
VI.3.1 Les hypothèses formulées pour le dimensionnement : 44
VI.4 CONCLUSION : 46
VII CHAPITRE VII : ETUDE GEOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE 48
VII.1 L'ETUDE GEOLOGIQUES : 48
VII.1.1 Introductions : 48
VII.1.2 Aperçu géologique régionale : 48
VII.1.3 Contexte géologique de ce tronçon : 48
VII.1.4 Climat du site : 49
VII.1.5 Sismicité : 49
VII.1.6 Risques géologiques : 51
VII.2 ETUDE GEOTECHNIQUE : 51
VII.2.1 Introduction : 51
VII.2.2 Programme d'investigations géotechniques : 51
VII.2.3 Essais in-situ : 52
VII.2.4 Essai de laboratoire : 52
VII.2.5 Lithologie de la zone d'étude : 53
VII.2.6 Résultats des essais de Standard Pénétration Test (SPT) : 55
VII.2.7 Synthèse des résultats géotechniques : 56
VIII CHAPITRE VIII : ASSISE FERROVIAIRE : 60
VIII.1 INTRODUCTION : 60
VIII.2 LE BALLAST 60
VIII.2.1 Caractéristique de ballast 60
VIII.3 SOUS COUCHE : 61
VIII.3.1 Rôle de la sous couche : 61
VIII.4 LA PLATE-FORME : 61
VIII.4.1 Classification des sols pour la plateforme 61
VIII.4.2 Les classes de la portance de la plateforme : 62
VIII.5 CALCUL DES EPAISSEURS MINIMALES DES COUCHES D'ASSISE : 63
VIII.5.1 Application au projet 64
VIII.6 CONCLUSION 64
IX CHAPITRE IX : PROFILE EN TRAVERS 66
IX.1 INTRODUCTION : 66
IX.2 PROFIL EN TRAVERS 66
IX.2.1 Les éléments du profil en travers 66
IX.2.2 Profile en travers type : 67
IX.3 CALCUL DES CUBATURES : 68
IX.4 CONCLUSION : 68
X CHAPITRE X : TERRASSEMENT 70

X.1 INTRODUCTION : 70
X.2 TERRASSEMENT 70
X.2.1 Particulières : *70*
X.2.2 Pour la manipulation des masses de terre, il est important de considérer les règles suivantes : *70*
X.2.3 En phase de construction qu'à la fin des travaux : *70*
X.3 ENGINS DE TERRASSEMENT 71
X.4 DEFINITION : 71
X.5 STABILITE DE TALUS : 72
X.5.1 Application : *72*
X.5.2 Synthèse de la vérification de stabilité du talus : *73*
X.6 CALCUL DES CUBATURES : 74

XI OUVRAGE D'ART : 76

XI.1 INTRODUCTION : 76
XI.2 LES DIFFERENTES PARTIES D'UN PONT 76
XI.2.1 Le tablier : *76*
XI.2.2 Les appuis : *76*
XI.2.3 Les fondations : *76*
XI.3 CLASSIFICATION DES PONTS : 77
XI.3.1 Classification selon la voie portée *77*
XI.3.2 Classification selon la structure *77*
XI.3.3 Classification selon la nature *80*
XI.3.4 Classification selon la brèche franchie *80*
XI.4 LES CROISEMENTS AVEC LA ROUTE : 81
XI.4.1 Rôle des ouvrages d'art dans la conception ferroviaire *81*
XI.4.2 Choix des solutions techniques *81*
XI.4.3 Ouvrages hydrauliques (transition) *82*
XI.4.4 Normes et prescriptions techniques *82*
XI.5 CONCLUSION : 82

XII CHAPITRE XII : CONCEPTION DE LA GARE CHAHBOUNIA : 84

XII.1 INTRODUCTION : 84
XII.2 ETUDE DU PLAN DE MASSE D'UNE GARE : 84
XII.3 AMENAGEMENT DE LA GARE : 84
XII.3.1 Installations d'une gare à voyageur : *84*
XII.3.2 Garage franc : *85*
XII.3.3 Heurtoir : *86*
XII.4 CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES GARES : 86
XII.4.1 Quai *86*
XII.4.2 L'appareil de voie : *87*
XII.4.3 La longueur utile d'une voie de stationnement : *88*
XII.4.4 Déclivité dans les gares : *88*
XII.5 APPLICATION AU PROJET 88
XII.6 ASSAINISSEMENT DANS LES GARES : 89
XII.6.1 Assainissement transversale : *89*
XII.6.2 Assainissement longitudinal : *89*
XII.7 CONCLUSION : 89

XIII CHAPITRE XIII : SIGNALISATION FERROVIAIRE : 91

XIII.1 INTRODUCTION : 91
XIII.2 LES PRINCIPAUX RISQUES FERROVIAIRES ET LE ROLE DE LA SIGNALISATION 91
XIII.2.1 Risques liés à la circulation des trains : *91*
XIII.2.2 Risques de déraillement : *91*
XIII.2.3 Risques au niveau des passages à niveau : *91*

XIII.2.4 Risques liés au freinage insuffisant : 91
XIII.3 IMPLANTATION DES SIGNAUX EN ALGERIE : 91
XIII.4 PRINCIPE DE LA SIGNALISATION FERROVIAIRE : 92
XIII.4.1 Signalisation classique : 92
XIII.5 LES DIFFERENTS SYSTEMES DE SIGNALISATION FERROVIAIRE (LES BLOCKS) 93
XIII.5.1 1. Le Block Manuel (B.M.) 93
XIII.5.2 2. Le Block Automatique à Permissivité Restreinte (B.A.P.R.) 93
XIII.5.3 3. Le Block Automatique Lumineux (B.A.L.) 93
XIII.5.4 Conclusion 93
XIII.6 LES PRINCIPAUX SIGNAUX FERROVIAIRES ET LEUR SIGNIFICATION 93
XIII.6.1 Définition du système ERTMS : 94
XIII.6.2 Fonctionnement d'ERTMS : 95
XIII.7 CONCLUSION : 97
XIV CHAPITRE XIV : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT 99
XIV.1 INTRODUCTION 99
XIV.2 CADRE REGLEMENTAIRE DE L'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT 99
XIV.3 IDENTIFICATION DES CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES 100
XIV.4 IDENTIFICATION ET EVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX 101
XIV.5 MESURES REDUCTRICES ET COMPENSATOIRES 102
XIV.6 CONCLUSION : 103
XV CHAPITRE XV : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF 105
CONCLUSION GENERALE 108

LISTE DES FIGURES

FIGURE I-1: COMPOSANTS DE LA SECTION TRANSVERSALE DU RAIL. (RAIL VIGNOLE) 5
FIGURE II-1I. LA NAISSANCE DE CHEMIN DE FER 8
FIGURE II-2 CARTE DU RESEAU FERRE NATIONAL 11
FIGURE III-1: LOCALISATION DU PROJET 14
FIGURE V-1: ÉLEMENTS DE TRACE EN PLAN 22
FIGURE V-2 : LES ELEMENTS DE PROFIL EN LONG 27
FIGURE VI-1CARTE DE SITUATION DE LA REGION ETUDIEE 31
FIGURE VI-2CARTE SIMPLIFIEE DES ZONES BIOCLIMATIQUES DE L'EST ALGERIEN (COTE, 1998 DANS BAZRI, 2015) 33
FIGURE VII-1CARTE DES CHAINES DE MONTAGNES EN ALGERIE 48
FIGURE VII-2 CARTE CLIMATIQUE DE L'ALGERIE 49
FIGURE VII-3CARTE DE ZONAGE SISMIQUE APRES LE SEISME DE TISSEMSILT (CGS, 2003) 50
FIGURE VIII-1DETERMINATION DE LA CLASSE PORTANCE DE LA PLATE-FORME 62
FIGURE IX-1 PROFILE EN TRAVERS TYPE 67
FIGURE X-1 SECTION TRANSVERSALE MIXTE : DEBLAI ET REMBLAI 71
FIGURE X-2 : STABILITE DU TALUS 73
FIGURE XI-1 DIFFERENTES PARTIES D'UN PONT 76
FIGURE XI-2 PASSAGE GRANDE FAUNE 78
FIGURE XII-1 : SCHEMA ILLUSTRATIF D'UN GARAGE FRANC 85
FIGURE XII-2PHOTO REPRESENTATIVE D'UN HEURTOIR. 86
FIGURE XIII-1 BLOCK AUTOMATIQUE LUMINEUX SERVANT AU CANTONNEMENT DES TRAINS. 92
FIGURE XIII-2LE SYSTEME DE CONTROLE DES TRAINS ERTMS 94

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU VI-1 : MOYENNE ANNUELLES ET MENSUELLES DES TEMPERATURES AU NIVEAU DES STATIONS DE TISSEMSILT, HAMADIA, KSAR CHELLALA, AÏN OUSSERA ET BOUGHEZOUL (1975–2010) 32
TABLEAU VI-2 : LES PARAMETRES STATISTIQUES DES PLUIES ANNUELLES DES CINQ STATIONS 34
TABLEAU VI-3 : PRECIPITATIONS JOURNALIERES MAXIMALES ANNUELLES 35
TABLEAU VI-4 RECAPITULATIF DES CARACTERISTIQUES GEOMORPHOLOGIQUES DES BASSINS VERSANTS 35
TABLEAU VI-5QUELQUES FORMULES UTILISEES DANS LE CALCUL DU DEBIT 37
TABLEAU VI-6 : VALEUR DE C1 38
TABLEAU VI-7: VALEUR DE C2 38
TABLEAU VI-8: VALEUR DE C3 39
TABLEAU VI-9 VALEURS DU PARAMETRE « A » DE LA ZONE DE BOUGHEZOUL 40
TABLEAU VI-10 LES DEBITS MAXIMAUX CENTENNAUX 40
TABLEAU VI-11 : LES BUSES D'EQUILIBRE 43
TABLEAU VI-12DEBIT DES DEBLAIS 45
TABLEAU VI-13TABLEAU RECAPITULATIF DES CARACTERISTIQUES DE FAUSSE 46
TABLEAU VII-1 PROGRAMME D'INVESTIGATION GEOTECHNIQUE. 52
TABLEAU VII-2L'ENSEMBLE DES ESSAIS IN-SITU PREVUS POUR LE LOT DE TERRASSEMENT: 52
TABLEAU VII-3LES DIFFERENTES ESSAIES AU LABORATOIRE. 53
TABLEAU VII-4: LA LITHOLOGIE DES PUITS DE RECONNAISSANCE 53
TABLEAU VII-5 L'ESSAI SPT 55
TABLEAU VII-6SYNTHESE DES ESSAIS D'IDENTIFICATION 56
TABLEAU VII-7SYNTHESE DES ESSAIS MECANIQUES 56
TABLEAU VII-8SYNTHESE DES ESSAIS CHIMIQUES 57
TABLEAU VII-9SYNTHESE DES ESSAIS DE LABORATOIRE 57
TABLEAU VII-10 QUALIFICATIF DE LA FRACTION DU SOL CONSTITUEE D'ELEMENTS INFERIEURS A 400 µM EN FONCTION DE L'INDICE DE PLASTICITE 58
TABLEAU VIII-1 CLASSIFICATION DU SOL GTR + UIC 62
TABLEAU X-1: LES CARACTERISTIQUES MECANIQUES DES SOLS 72
TABLEAU X-2: LES CUBATURES DE TERRASSEMENT ET LES COUCHES D'ASSISES 74
TABLEAU XI-1: LISTE DES OUVRAGES D'ART/PASSAGE A NIVEAU POUR NOTRE PROJET 81
TABLEAU XII-1LONGUEURS MINIMAL DE TRACE 87
TABLEAU XII-2 QUANTITE D'APPAREIL DE NOTRE PROJET 89
TABLEAU XIII-1 LES PRINCIPAUX SIGNAUX FERROVIAIRES ET LEUR INDICATION 95
TABLEAU XIV-1: LISTE DES CONTRAINTES 100
TABLEAU XV-1 DEVIS QUANTITATIF ESTIMATIF 105

Introduction Générale :

Les infrastructures de transport constituent un levier fondamental du développement économique et social des nations. Parmi elles, le transport ferroviaire occupe une place stratégique grâce à sa capacité de transporter de grandes quantités de marchandises et de passagers, tout en présentant des avantages indéniables en matière de sécurité, de consommation énergétique et de respect de l'environnement. Ce mode de transport s'impose comme un outil puissant d'aménagement du territoire et de désenclavement des régions intérieures, en favorisant la mobilité et en dynamisant les échanges économiques.

En Algérie, la configuration géographique et l'immensité du territoire ont incité les autorités à entreprendre une politique ambitieuse d'extension et de modernisation du réseau ferroviaire. Ce dernier, bien qu'encore incomplet dans certaines zones, connaît un développement progressif grâce à une série de projets structurants inscrits dans les plans nationaux de développement. Le projet de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Tissemsilt – Boughezoul s'inscrit dans cette dynamique, visant à relier les Hauts Plateaux et à améliorer la connectivité régionale.

Le présent mémoire porte sur l'étude d'un tronçon de cette ligne, situé entre la gare de Sidi Ladjel et la gare de Chahbounia, couvrant une distance de PK 72+200 à PK 86+000 , et incluant également la conception de la gare de Chahbounia. L'étude a été réalisée en phase Avant-Projet Détaillé (APD), en s'appuyant sur des méthodes d'analyse technique rigoureuses et des normes de conception ferroviaire reconnues.

Ce travail est structuré en quinze chapitres, chacun couvrant un aspect technique essentiel du projet :

1. Généralités
2. Recherche bibliographique
3. Présentation du projet
4. Topographie
5. Étude géométrique
6. Étude hydrologique et hydraulique
7. Étude géologique et géotechnique
8. Assise ferroviaire
9. Terrassement
10. Profil en travers type
11. Aménagement et conception de la gare
12. Signalisation ferroviaire
13. Étude d'impact sur l'environnement
14. Devis quantitatif et estimatif
15. Conclusion générale

À travers ce projet, nous avons mobilisé nos acquis académiques, enrichis par une mise en situation concrète dans le domaine ferroviaire. Ce travail nous a permis non seulement de renforcer nos compétences techniques, mais aussi de contribuer à un projet d'intérêt national, en phase avec les objectifs de développement durable et d'intégration régionale.

Chapitre I : Généralités

I Chapitre I : Généralités

I.1 INTRODUCTION :

Le transport joue un rôle clé dans le développement économique de l'Algérie. En facilitant les échanges de biens et la mobilité des personnes, il contribue à l'intégration des régions, à la réduction des coûts logistiques et à l'amélioration de la compétitivité. Le développement d'infrastructures de transport modernes, notamment ferroviaires, permet de soutenir la croissance, de créer des emplois et d'ouvrir de nouvelles perspectives économiques à l'échelle nationale.

I.2 INFRASTRUCTURE FERROVIAIRE :

L'infrastructure ferroviaire, désigne l'ensemble des voies équipées de rails sur lesquelles circulent des trains tractés par des locomotives. Il peut être considéré comme un service public conçu pour répondre aux besoins des citoyens et du secteur industriel. Ce mode de transport collectif permet de déplacer efficacement les personnes et les marchandises. Il représente une alternative fiable à la voiture et aux camions, en contribuant à désengorger les grandes agglomérations. Aujourd'hui encore, il demeure l'un des principaux moyens de transport terrestre dans de nombreux pays. Le réseau ferroviaire comprend notamment le métro, le tramway et les voies ferrées classiques.

I.3 AVANTAGES DES TRANSPORTS FERROVIAIRES :

- Capacité élevée : un seul train peut remplacer plus de dix camions, ce qui en fait une solution idéale pour le transport en grande quantité.
- Mode de transport collectif : adapté au fret à grande échelle, aussi bien sur le territoire national qu'à l'international.
- Rentabilité :
  - Environ dix fois moins coûteux que le transport par avion.
  - Bien que plus onéreux que le transport maritime, il reste plus rapide.
- Faible impact environnemental : les émissions de CO_2 sont nettement réduites par rapport aux autres moyens de transport.
- Efficacité : permet de parcourir de longues distances plus rapidement que la route ou la mer, seul l'avion est plus rapide.
- Adaptabilité : les trains peuvent être configurés en fonction des besoins grâce à l'ajout ou le retrait de wagons.
- Fiabilité : le transport ferroviaire présente un très faible taux d'accidents, ce qui en fait l'un des moyens les plus sûrs.

I.4 DEFIS LIES A LA VOIE FERREE :

- Coût d'infrastructure élevé : La construction et l'entretien des voies ferrées nécessitent des investissements importants.
- Complexité géotechnique : Les voies doivent souvent être adaptées à des terrains variés, ce qui peut inclure la construction de tunnels, de ponts ou de viaducs.
- Maintenance régulière : Pour garantir la sécurité et la fiabilité, des opérations de maintenance fréquentes sont indispensables.

I.5 LES TYPES DE LA VOIE FERREE :

- Voies conventionnelles : Utilisées pour des trains circulant à des vitesses modérées (jusqu'à 160 km/h).
- Voies à grande vitesse : Conçues pour des vitesses supérieures à 250 km/h, elles nécessitent des matériaux de haute qualité et une infrastructure soignée.
- Voies mixtes : Accommodent à la fois les trains de passagers et de marchandises.
- Voies industrielles ou spécialisées : Utilisées dans les zones minières ou industrielles pour le transport de matériaux spécifiques.

I.6 LES COMPOSANTS PRINCIPAUX DE LA VOIE FERREE :

I.6.1 La Plateforme :

La plateforme ferroviaire est la base sur laquelle repose toute la superstructure de la voie (ballast, traverses, rails). Elle sert à répartir les charges des trains sur le sol naturel, à garantir la stabilité de la voie et à assurer un bon drainage des eaux. Elle est composée d'un corps de plateforme, d'accotements et de fossés latéraux. Sa largeur varie selon le type de voie (environ 6 à 7 m pour une voie unique, et jusqu'à 14 m pour une double voie). Sa conception dépend du sol, du type de ligne et des conditions géotechniques.

I.6.2 Le Ballast :

Le ballast est constitué de pierres concassées placées sous et autour des traverses de la voie ferrée. Il joue un rôle essentiel dans la stabilité de la voie en maintenant les traverses en position et en assurant un bon écoulement des eaux. Il contribue également à atténuer les vibrations générées par le passage des trains, ce qui permet de préserver la durée de vie des éléments de la superstructure, notamment

les rails et les traverses. Pour garantir une bonne performance et une longue durabilité, le ballast est généralement composé de matériaux rocheux durs et résistants comme le granit ou le basalte.

I.6.3 Les Traverses :

Les traverses sont des éléments transversaux essentiels dans la structure de la voie ferrée. Elles ont pour fonction principale de maintenir l'écartement constant entre les rails, garantissant ainsi la sécurité et le bon guidage des trains. En plus de cette fonction de maintien, elles permettent de répartir les charges exercées par le passage des trains vers le ballast et la plateforme. Les traverses peuvent être fabriquées en bois, souvent utilisé pour sa souplesse et sa facilité de pose, en béton, apprécié pour sa durabilité et sa résistance, ou en acier, utilisé dans certains cas spécifiques pour sa robustesse et sa longévité. Le choix du matériau dépend du type de ligne, du trafic, et des conditions environnementales.

I.6.4 Le Rail :

Les rails sont des barres d'acier profilées disposées parallèlement et fixées sur des traverses, assurant ainsi un écartement constant de la voie, généralement de 1435 mm (écartement standard). Ils jouent un double rôle : guider les roues des trains et supporter les charges dynamiques qu'ils génèrent. Inclinés à un angle de 1/20 pour favoriser le recentrage des roues. Un rail est composé de plusieurs parties : le champignon (zone de roulement), l'âme (partie verticale), le patin (base d'appui) et la table de roulement. Fabriqués en longueurs standards de 18 à 36 mètres, les rails sont assemblés soit par éclisses, soit par soudure (électrique ou aluminothermique), afin de garantir la continuité, la solidité et la sécurité de la voie ferrée.

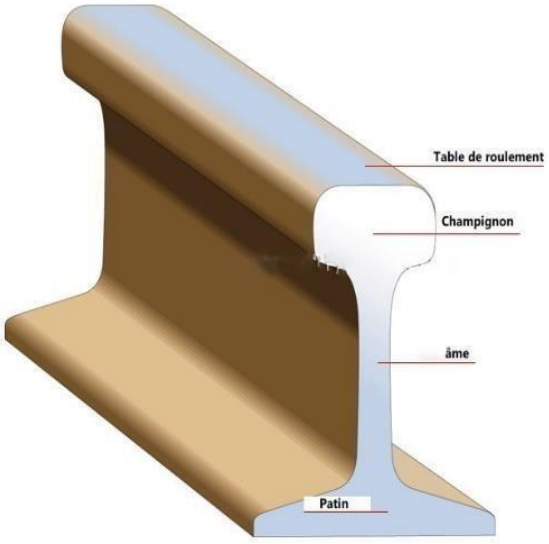


Figure I-1: Composants de la section transversale du rail. (Rail Vignole)

I.6.5 Les Attaches :

Les attaches jouent un rôle fondamental dans la stabilité de la voie ferrée. Elles assurent la liaison entre les rails et les traverses, maintenant les rails solidement en place malgré les efforts engendrés par le passage des trains. Ces dispositifs empêchent le déplacement latéral ou longitudinal des rails et contribuent ainsi à conserver l'écartement et l'alignement de la voie.

I.7 LES NORMES ET LES CARACTERESTIQUES TECHNIQUES :

I.7.1 Ecartement de Rail :

L'écartement des rails correspond à la distance mesurée entre les faces internes des deux rails. La norme la plus répandue à l'échelle mondiale est l'écartement standard de 1435 mm. Cet écartement garantit la compatibilité du matériel roulant, la stabilité des trains, ainsi que la sécurité de la circulation.

I.7.2 Rayon de Courbure :

Le rayon de courbure désigne la courbure horizontale des voies dans les zones en virage. Pour les lignes à grande vitesse, il est nécessaire d'adopter de grands rayons (plusieurs kilomètres) afin d'assurer une circulation fluide, stable et confortable. Plus la vitesse est élevée, plus le rayon doit être important pour éviter les effets de renversement ou de déraillement.

I.7.3 Dévers et Pentes :

Le dévers est l'inclinaison transversale de la voie dans les courbes, où le rail extérieur est surélevé par rapport au rail intérieur. Il permet de compenser la force centrifuge exercée par le train en virage. La pente quant à elle, représente l'inclinaison longitudinale de la voie. Pour des raisons de traction et de freinage.

I.8 CONCLUSION :

En résumé, le transport ferroviaire repose sur une infrastructure complexe et soigneusement conçue, où chaque composant joue un rôle précis pour garantir la sécurité, la performance et la durabilité de l'ensemble du réseau. Des éléments comme la plateforme, le ballast, les traverses, les rails et les attaches, jusqu'aux normes techniques comme l'écartement, les rayons de courbure ou le dévers, tout est pensé pour répondre aux exigences du transport moderne. Bien que la construction et l'entretien des voies ferrées représentent un défi technique et financier, les avantages qu'offre ce mode de transport en matière de capacité, de fiabilité et de respect de l'environnement en font une solution incontournable pour le développement durable et la mobilité des personnes et des marchandis.

Chapitre II :Recherche bibliographique

I Chapitre II : Recherche bibliographique

II Chapitre II : Recherche bibliographique

II.1 Introduction :

Dans le cadre de sa stratégie de développement global, l'Algérie a mobilisé d'importants moyens pour renforcer son réseau de transport ferroviaire. Cela s'est traduit par des opérations de dédoublement des voies, de modernisation, d'électrification, ainsi que par la réalisation de nouvelles lignes. La construction de gares modernes, destinées tant aux voyageurs qu'au transport de marchandises, s'est également étendue à l'échelle nationale.

Parmi ses objectifs stratégiques, l'État ambitionne de mettre en œuvre un plan national visant à connecter l'ensemble des régions du pays au réseau ferroviaire. L'objectif est de disposer d'un maillage efficace capable de dynamiser l'économie nationale.

II.2 La naissance de chemin de fer :

La naissance du chemin de fer remonte à la révolution industrielle, entre 1750 et 1840, période marquée par de grandes avancées technologiques. À l'origine, les rails étaient utilisés dans les mines pour faciliter le transport du charbon à l'aide de wagons tirés par des chevaux. L'invention de la machine à vapeur a révolutionné ce système. En 1825, l'ingénieur britannique George Stephenson met en service la première ligne ferroviaire au monde, reliant Stockton à Darlington, destinée au transport du charbon.

Puis, en 1830, il inaugure la première ligne dédiée au transport de voyageurs entre Manchester et Liverpool, marquant ainsi le début du service régulier de passagers par locomotive à vapeur. Le développement du chemin de fer répondait à des besoins économiques, comme l'acheminement rapide des matières premières, mais aussi politiques, en connectant les régions éloignées pour renforcer l'unité nationale. Cette innovation a profondément transformé les échanges, la mobilité et le paysage urbain à travers le monde.

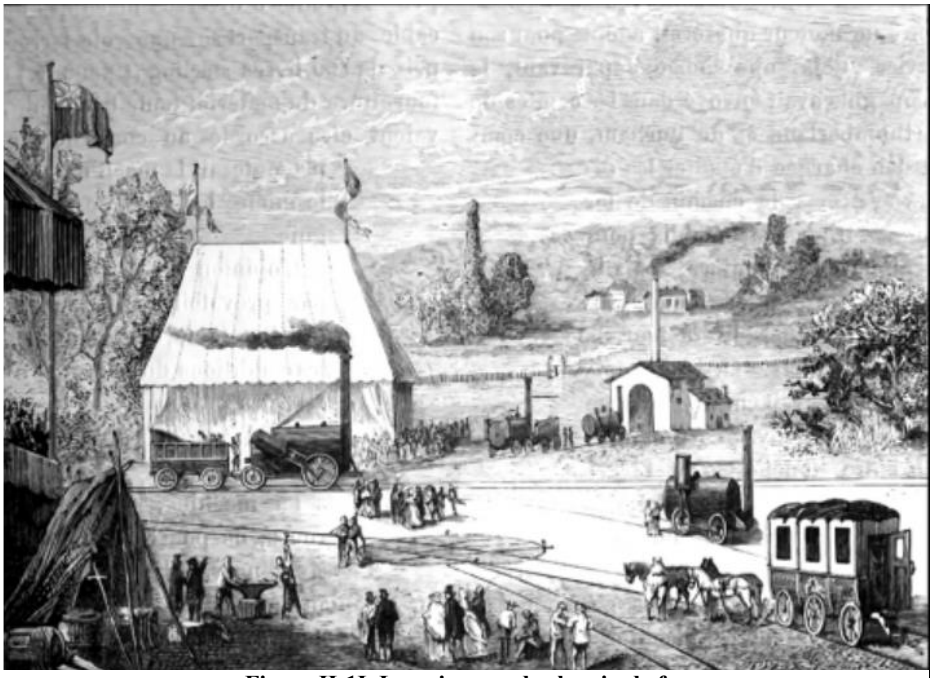


Figure II-1I. La naissance de chemin de fer

I Chapitre II : Recherche bibliographique

II.3 Histoire du chemin de fer en Algérie :

II.3.1 Période coloniale

Le développement du réseau ferroviaire en Algérie durant la colonisation française s'est effectué en trois grandes phases, correspondant à des plans d'investissement successifs.

Premier plan de développement (1857 – fin des années 1870)

L'histoire ferroviaire de l'Algérie débute officiellement le 8 avril 1857, avec la promulgation d'un décret du gouvernement français autorisant la construction de 1 357 km de voies ferrées. Le premier chantier, entamé le 12 décembre 1859, concerne la ligne Alger – Blida, traversant la plaine de la Mitidja.

Ce plan visait la création d'un axe ferroviaire principal reliant Oran, Alger et Constantine**,** d'une longueur totale de 881 km**,** en plus de six lignes secondaires desservant les ports stratégiques de Philippeville (Skikda), Bougie (Béjaïa), Bône (Annaba), Ténès et Arzew**.**

L'objectif initial est atteint, voire dépassé, puisque 1 365 km de lignes sont effectivement construites, desservant la majorité des villes importantes du nord algérien.

Deuxième plan de développement (à partir de 1879)

Le 18 juillet 1879, une seconde phase d'expansion est lancée. Ce plan national d'investissement vise à renforcer les lignes dites "d'intérêt général"**,** avec un objectif de 1 747 km supplémentaires. La construction des lignes "d'intérêt local", quant à elle, est confiée à l'initiative privée et aux collectivités territoriales.

Dans les trois décennies suivantes, le réseau s'étend considérablement avec la création de 2 035 km de nouvelles lignes, jetant les bases du futur réseau ferroviaire structuré de l'Algérie.

Troisième plan de développement (1907 – 1946)

La troisième phase de développement s'étend de 1907 à 1946, avec l'ajout de 1 614 km de lignes supplémentaires.

Au début de l'année 1925**,** le réseau atteint une longueur de 4 724 km**,** à laquelle s'ajoutent 127 km de lignes de tramway**.**

Un moment marquant est atteint en 1941 avec la mise en service du Transsaharien, une ligne symbolique reliant l'Afrique noire à la Méditerranée**.**

À la fin de la Seconde Guerre mondiale**,** le réseau ferroviaire algérien culmine à plus de 5 000 km, représentant un maillage dense du nord du pays, bien qu'orienté avant tout vers les intérêts économiques coloniaux**.**

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

Après l'indépendance de l'Algérie en 1962, une réorganisation du secteur ferroviaire s'impose. Par le décret n°63-183 du 16 mai 1963**,** la Société nationale des chemins de fer français en Algérie change de nom et devient la Société nationale des chemins de fer algériens (SNCFA)**.** Cette dernière assurera l'exploitation du réseau hérité de la période coloniale jusqu'à sa dissolution en 1976, date à laquelle elle est remplacée par la Société nationale des transports ferroviaires (SNTF)**.**
En 1986, face à la crise économique, plusieurs entités sont dissoutes, notamment la SNERIF (chargée du renouvellement de l'infrastructure) et la SIF, dont les missions sont reprises par la SNTF. Cette dernière acquiert un nouveau statut d**'**Établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) en 1990. À la fin des années 1990, le réseau ferroviaire exploité s'étend sur 3 500 km.
Dans une dynamique de relance, l'État crée en 2005 l**'**Agence nationale d'études et de suivi de la réalisation des investissements ferroviaires (ANESRIF)**,** chargée de la mise en œuvre d'un vaste programme de développement, visant à porter le réseau à 12 500 km à l'horizon 2025**.**
Ce programme donne lieu à plusieurs avancées notables. En 2010**,** 315 km de voies nouvelles sont mises en service, notamment entre Bordj Bou Arreridj et M'Sila, ainsi que Aïn Touta et M'Sila, sans oublier la nouvelle ligne vers Béchar**.** En parallèle, les lignes de banlieue d'Alger sont électrifiées pour répondre aux besoins croissants de mobilité urbaine.
En 2015, sur un total de 2 300 km de lignes planifiées, 1 324 km sont en cours de réalisation, en grande partie concentrées sur l**'**ouest de la boucle ferroviaire des Hauts Plateaux**.** Une étape importante est franchie le 13 octobre 2019, avec la mise en service de la ligne Alger – Touggourt, assurée par des trains de longues distances dotés de compartiments couchettes de 1re et 2e classe**.**

II.4 Conclusion :

L'Algérie, en raison de son immense territoire, a un besoin urgent de développer un réseau ferroviaire dense.

Malgré les insuffisances actuelles, l'État déploie d'importants efforts pour moderniser et étendre ce réseau, à travers des investissements publics, l'électrification des lignes et la création de nouvelles infrastructures. L'amélioration du secteur ferroviaire est donc essentielle pour stimuler l'économie, favoriser les échanges régionaux et renforcer la cohésion nationale.

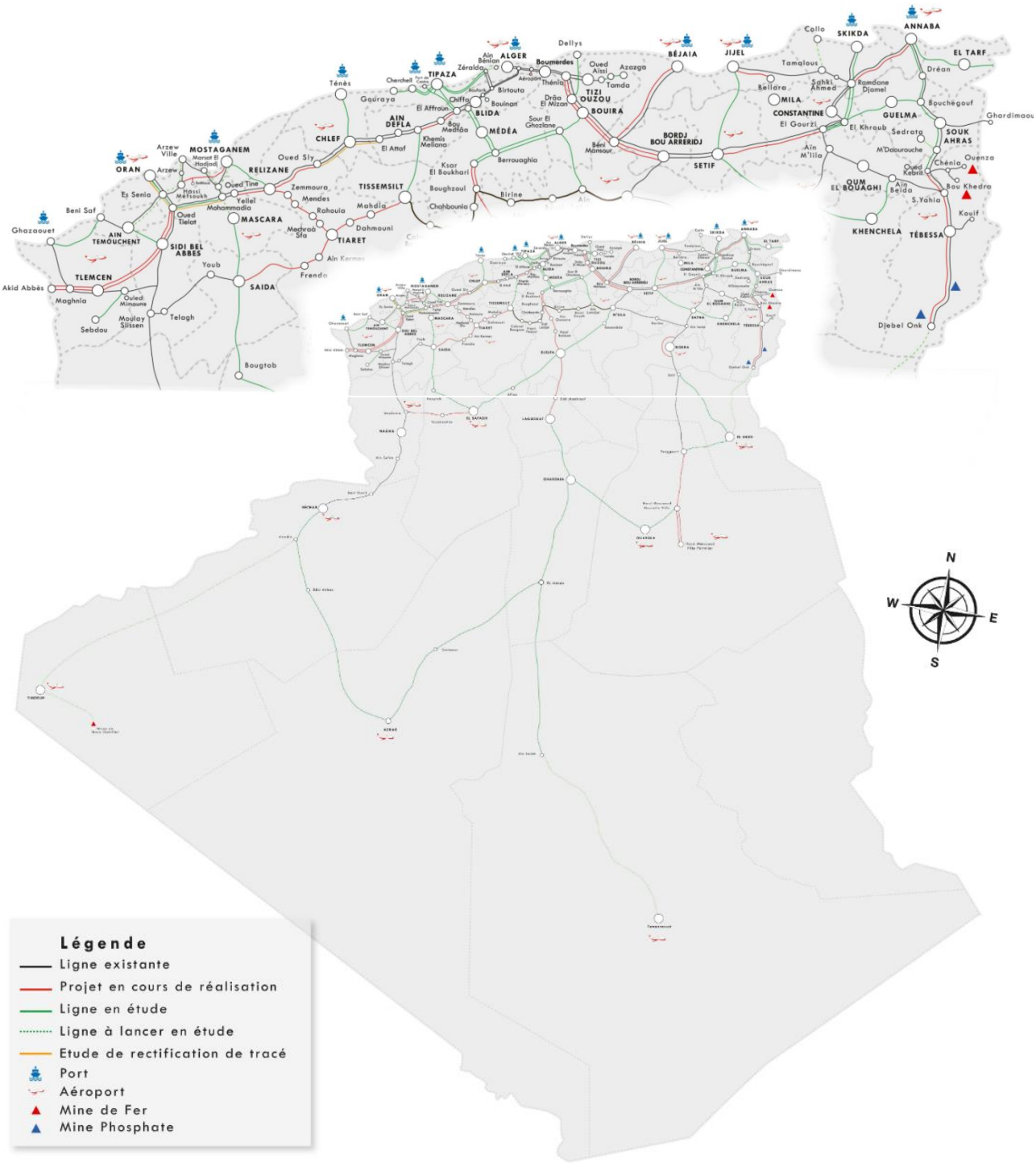


Figure II-2 Carte du réseau ferré national

Chapitre III : Présentation du Projet

III Chapitre III : Présentation du Projet

III.1 Introduction

Le secteur des transports en Algérie connaît, ces dernières années, une dynamique soutenue portée par une volonté politique de modernisation et de désenclavement des régions intérieures. Parmi les projets ferroviaires les plus significatifs figure la nouvelle ligne à voie unique reliant Tissemsilt à Boughezoul, dont le tracé traverse plusieurs localités situées au cœur des Hauts Plateaux algériens. Ce projet s'inscrit dans une stratégie nationale de développement équilibré du territoire, visant à renforcer les infrastructures de base, à améliorer la mobilité des biens et des personnes, et à stimuler le développement économique local.

La région des Hauts Plateaux, souvent considérée comme une zone intermédiaire entre le nord développé et le sud saharien, souffre historiquement d'un certain isolement en matière de réseaux de transport. La mise en œuvre de cette ligne ferroviaire vient répondre à cette problématique en créant une liaison directe et rapide entre des pôles stratégiques comme Tissemsilt**,** Sidi Laadjal, Shabounia et Boughezoul. Elle permettra notamment le transport efficace des produits agricoles, industriels et miniers, tout en facilitant la circulation des populations vers les centres urbains et économiques du nord du pays.

Par ailleurs, Boughezoul, en tant que future ville nouvelle dotée d'une vision urbanistique et économique ambitieuse (incluant un aéroport international, des zones industrielles et logistiques), représente un point nodal dans cette configuration ferroviaire. La connexion avec Tissemsilt et l'axe ferroviaire des Hauts Plateaux constitue une étape clé dans le développement de cette ville, lui assurant un rôle central dans la dynamique nationale de rééquilibrage territorial. Ainsi, ce projet ne se limite pas à une simple infrastructure de transport, mais s'intègre pleinement dans les objectifs du Plan National d'Aménagement du Territoire (PNAT) et du schéma directeur des transports ferroviaires.

En résumé, la ligne ferroviaire Tissemsilt – Boughezoul est une infrastructure stratégique à plusieurs niveaux : elle favorise l'intégration régionale, améliore la compétitivité logistique du pays, et agit comme catalyseur du développement des Hauts Plateaux. Elle s'inscrit dans une logique de durabilité, d'accessibilité et d'équité territoriale, ce qui en fait un cas d'étude pertinent pour toute réflexion sur l'aménagement du territoire et la modernisation du transport ferroviaire en Algérie.

III.1.1 LES OBJECTIFS DE PROJET :

- Assurer la liaison entre les zones isolées et les grands centres urbains, en améliorant l'accessibilité et la mobilité des populations locales.
- Réduire les temps de déplacement et renforcer la sécurité des usagers, en offrant une alternative moderne et fiable au transport routier.
- Intégrer le tronçon dans le réseau ferroviaire national, et plus particulièrement dans la ligne stratégique des Hauts Plateaux, contribuant ainsi à la structuration et à la densification du maillage ferroviaire algérien.

III.2 PRÉSENTATION DU PROJET ÉTUDIÉ :

III.2.1 PRESENTATION DU PROJET :

Nous vous présentons dans ce travail notre thème de Projet de Fin d'Études, une étude en Avant-Projet Détaillé (APD), portant sur un nouveau tronçon ferroviaire à voie unique, inscrit dans le cadre du projet national de ligne ferroviaire reliant les villes de TISSEMSILT à BOUGHEZOUL. Le tronçon étudié dans cette étude s'étend du PK 72+200 jusqu'au PK 86+000, soit une longueur linéaire d'environ 14 kilomètres, entre les localités de Sidi Laadjal et Chebounia, avec la conception complète de la gare voyageurs de Chebounia, implantée vers le PK 84+318.

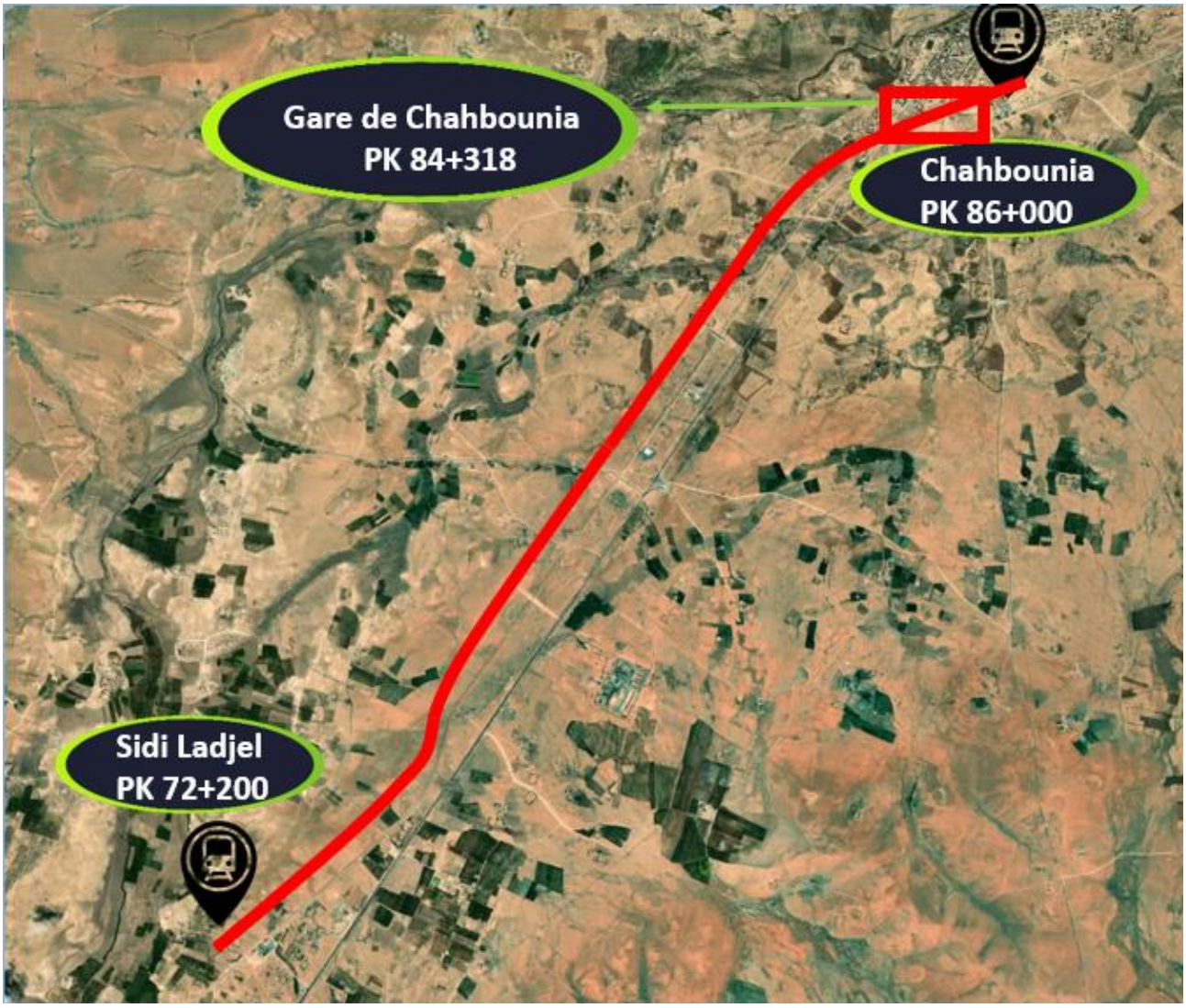


Figure III-1: localisation du projet

III.3 CONCLUSION :

Le projet de la ligne ferroviaire Tissemsilt – Tiaret – Relizane, long de 185 km, constitue un axe stratégique pour le développement du transport ferroviaire dans l'ouest algérien. Il vise à désenclaver les régions de l'intérieur, à renforcer la liaison entre les wilayas, et à soutenir la dynamique économique locale.

L'étude du tronçon de 14 km entre Tissemsilt et boughezoul représente une première étape vers la réalisation de cette ligne, en assurant une infrastructure moderne et conforme aux normes nationales et internationales**.**

Ce projet s'inscrit dans une vision globale de développement durable, visant à améliorer la mobilité, à favoriser l'investissement, et à intégrer pleinement ces régions au réseau ferroviaire national.

Chapitre IV : Topographie

IV Chapitre IV : Topographie

IV.1 Introduction

La topographie constitue une étape fondamentale dans tout projet d'infrastructure linéaire. Elle permet d'obtenir une connaissance précise de la configuration du terrain naturel, condition indispensable à la conception technique, à l'implantation des ouvrages, puis au contrôle rigoureux de l'exécution des travaux.

Dans le cadre de notre projet, une étude topographique complète a été réalisée, mobilisant des équipements modernes et une méthodologie adaptée. Cette étude a permis de produire les données nécessaires à l'établissement du tracé, au dimensionnement des ouvrages, et à la planification des terrassements.

IV.2 Objectifs de l'étude topographique

Les objectifs de l'étude topographique sont les suivants :

- Relever les altitudes et les points caractéristiques du terrain naturel ;
- Définir les profils en long et en travers de l'axe projeté ;
- Identifier les obstacles naturels et anthropiques (oueds, routes, lignes HTA, constructions, etc.) ;
- Produire un Modèle Numérique de Terrain (MNT) pour l'analyse des terrassements ;
- Permettre l'implantation précise des ouvrages et assurer le suivi d'exécution.

IV.3 Matériel utilisé

L'ensemble des levés a été réalisé à l'aide de matériels récents et reconnus pour leur fiabilité, couramment utilisés dans les études topographiques en Algérie :

Type de matériel	Marque / Modèle	Fonction principale
Station totale	Leica TS09 / Topcon GTS / Trimble S5	Levés détaillés, implantations, calculs de volumes
GPS différentiel (RTK)	Leica GS18 / Trimble R12 / CHC i80	Levés rapides, canevas géodésiques, implantations
Niveau automatique	Leica NA724 / Topcon AT-B4	Nivellement de précision
Drone photogrammétrique	DJI Phantom 4 RTK / eBee X	MNT, orthophotos, cartographie à grande échelle
Logiciels de traitement	AutoCAD Civil 3D, Covadis, Leica GeoOffice	DAO, traitement des levés, profils en long et en travers

IV.4 Mise en place de la polygonale

Une polygonale topographique a été établie pour constituer le canevas de base de l'ensemble de la mission. Elle permet d'assurer la précision, la cohérence et la reproductibilité des levés.

IV.4.1 Objectifs de la polygonale :

- Définir un réseau géodésique stable pour les levés et les implantations ;
- Garantir la précision planimétrique et altimétrique ;
- Servir de base pour le rattachement des levés station totale, GPS et drone.

Méthodologie :

- Création d'un canevas topographique par GPS différentiel (RTK) avec points matérialisés ;
- Implantation de points à intervalles réguliers (500 à 1000 m) selon la topographie ;
- Fermeture de la polygonale sur des points de contrôle existants ;
- Vérification des erreurs de fermeture : angulaires < 20″ et linéaires < 1/10 000 ;
- Réduction des distances au plan (projection Nord Sahara ou UTM).

Résultats :

- La polygonale a permis de géoréférencer l'ensemble des levés avec une grande précision ;
- Elle a servi de référence unique pour la réalisation des profils et l'implantation des ouvrages.

IV.5 Méthodologie des levés

L'étude topographique s'est déroulée en deux grandes phases :

a. Levé planimétrique et altimétrique

- Création d'un canevas de points fixes par GPS différentiel ;
- Levé détaillé des points caractéristiques du terrain (ruptures de pente, oueds, pistes, végétation, obstacles) à l'aide de la station totale ;
- Intégration des données dans un système de coordonnées projeté (Nord Sahara ou UTM).

b. Levé des profils en long et en travers

- Levé du profil en long le long de l'axe projeté, à raison d'un point tous les 20 à 50 mètres ;
- Levé des profils en travers tous les 25 mètres avec une largeur d'emprise de 100 mètres (50 m de part et d'autre de l'axe) ;
- Traitement et génération automatique des profils via le logiciel Covadis.

IV.6 Résultats et exploitation des données

Les résultats issus de la campagne topographique ont permis :

- De générer un Modèle Numérique de Terrain (MNT) précis pour l'ensemble du linéaire ;
- De calculer les volumes de déblais et de remblais pour les terrassements ;
- De définir la déclivité moyenne du tracé projeté ;
- De positionner les points d'implantation des différents ouvrages (dalots, radiers, intersections, etc.) ;

- De servir de base à la conception géométrique détaillée de la route.

IV.7 Contraintes rencontrées

Certaines difficultés ont été rencontrées sur le terrain :

- Présence de zones sablonneuses instables, compliquant les implantations ;
- Difficulté d'accès à certains secteurs en raison de l'absence de pistes praticables ;
- Présence d'obstacles naturels et anthropiques : oueds, zones inondables, lignes HTA, routes classées.

IV.8 Conclusion

L'étude topographique a constitué une étape clé dans la conception du projet. La mise en place d'une polygonale fiable, l'utilisation de matériels de précision et l'application de méthodes rigoureuses ont permis d'obtenir des données de qualité. Ces données ont grandement facilité la définition du tracé, le calcul des volumes, et l'implantation correcte des ouvrages. Ce travail préparatoire rigoureux garantit une exécution plus fluide et un meilleur contrôle du chantier.

Chapitre V : Etude Géométrique

V Chapitre V : Etude Géométrique

V.1 INTRODUCTION :

L'étude géométrique du tracé ferroviaire est une approche scientifique et technique visant à optimiser la conception des voies afin d'assurer un fonctionnement efficace et sécurisé des trains. Elle s'appuie sur plusieurs éléments essentiels. Les alignements droits offrent une stabilité optimale et favorisent une circulation fluide sur les portions rectilignes. Les courbes, quant à elles, permettent les changements de direction en douceur, mais doivent être dimensionnées avec précision pour limiter les contraintes mécaniques exercées sur les trains. Le dévers intervient dans les courbes pour compenser les effets de la force centrifuge, assurant ainsi le confort et la sécurité des passagers. Les déclivités, enfin, influent directement sur les efforts de traction et de freinage, et nécessitent donc une conception rigoureuse. L'équilibre entre tous ces paramètres est indispensable pour garantir une infrastructure ferroviaire fiable, performante et pérenne.

V.2 TRACE EN PLAN :

Le tracé en plan d'une voie ferrée correspond à la projection horizontale de l'axe de la voie sur un plan. Il représente la trajectoire vue du dessus et se compose généralement d'une alternance d'alignements droits, de courbes circulaires et de courbes de transition progressives comme les clothoïdes. Conçu en tenant compte de deux vitesses de référence :

- V_v : vitesse maximale pour les trains rapides (voyageurs).
- V_m : vitesse minimale pour les trains lents (marchandises).

le tracé en plan vise à assurer la stabilité, le confort et la sécurité de circulation tout au long du parcours ferroviaire.

V.2.1 CONDITIONS ET RÈGLES A RESPECTER DANS LE TRACÉ EN PLAN :

Conformément aux recommandations de la fiche UIC 703R, plusieurs exigences doivent être prises en compte pour garantir un tracé ferroviaire efficace, économique et respectueux de l'environnement :

- Adaptation au relief : Le tracé doit s'intégrer harmonieusement à la topographie du terrain afin de limiter les travaux de terrassement, réduire les coûts de construction et atténuer l'impact environnemental.
- Franchissement des oueds et des routes : Il est préférable de limiter les traversées de cours d'eau et d'infrastructures routières. Lorsqu'un franchissement s'avère indispensable, celui-ci doit être réalisé de manière perpendiculaire ou à l'endroit le plus étroit afin de minimiser les ouvrages d'art nécessaires.
- Évitement des zones sensibles : Il convient d'écarter le tracé des zones à haute valeur environnementale ou économique, telles que les terrains agricoles, les forêts et les propriétés privées, afin de préserver ces espaces et d'éviter les conflits d'usage.

- Respect des courbes de niveau : Suivre les courbes de niveau naturelles permet de réduire considérablement les volumes de déblais et remblais, ce qui contribue à une exécution plus rationnelle du projet.
- Privilégier les alignements droits : Les alignements rectilignes sont à favoriser chaque fois que cela est possible, car ils simplifient les travaux de construction, améliorent les conditions d'exploitation et réduisent les coûts.
- Assurer la sécurité et le confort des usagers : Le tracé doit être conçu selon les normes de sécurité ferroviaire, en veillant à garantir une circulation fluide, stable et confortable, notamment à grande vitesse.
- Éviter les zones à risques géologiques : Le tracé doit contourner les secteurs présentant des risques géotechniques tels que les sols instables, les zones fissurées ou les glissements de terrain, afin d'assurer la durabilité de l'ouvrage.
- Stabilité des talus :
    - Pour les talus en déblai, il faut tenir compte de la présence de nappes phréatiques, de sols plastiques ou de roches fissurées pouvant nuire à la stabilité.
    - Pour les talus en remblai, il convient d'éviter les terrains instables et les sols très compressibles susceptibles de provoquer des tassements ou des déformations.

V.2.2 LES ÉLÉMENTS DU TRACÉ EN PLAN :

Un tracé en plan est constitué de trois éléments géométriques : une droite, un arc de cercle et une courbe de raccordement.



Figure V-1: Éléments de tracé en plan

Pour une vitesse V du train on établit les paramètres Géométrique qui sont fixés par les recommandations de la SNTF Qui assure la stabilité des trains et le confort des voyageurs.

Table V-1: Vitesses maximales des trains

Vitesse voyageurs V_y	160 km/h
Vitesse marchandises V_m	100 km/h

Table V-2: Caractéristiques géométrique du tracé en plan selon SNTF

	Formule		Application	
	Normal	Exceptionnel	Normal	Exceptionnel
Dévers maximal D_{max} (mm)	-	-	160	180
$R_{min}=\frac{11.8xVmax2}{dmax+Imax}$ (m)	$\frac{11.8xVmax2}{dmax+Imax}$	$\frac{11.8xVmax2}{dmax+Imax}$	974	888
Longueurs minimales des alignements L_{min}(m)	$\frac{Vmax}{2}$	$\frac{Vmax}{3}$	80	53
Longueurs minimales des pleines courbes (m)	$\frac{Vmax}{2}$	$\frac{Vmax}{3}$	80	53
Insuffisance de dévers admissible I_{max} (mm)	-	-	150	160
Excès de dévers admissible E_{max} (mm)	-	-	110	130
Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur $(\frac{dd}{dl})_{max}$ (mm/m)	$\frac{180}{Vmax}$	$\frac{216}{Vmax}$	1,125	1,350
Limite de la variation d'insuffisance de dévers $(\frac{dI}{dt})_{max}$ (mm/s)	-	-	75	90
La limite de la variation de dévers par rapport au temps $(\frac{dd}{dt})_{max}$				

V.2.3 APPLICATIONS SUR LE PROJET :

Notre projet qui relie Les villes de TISSEMSILT et BOUGHEZOL débute au PK 72+200 jusqu'au PK 86+000 avec une longueur 13.8 Km et comprend 3 courbes de rayons :

- R1=1100m.
- R2=1050m.
- R3=1080m.

Selon les normes de la SNTF, pour une vitesse de 160 km/h , on a calculé un R_{min} de 974m.

On prend un exemple de calcul pour un rayon de 1100 m, juste pour illustrer les différentes étapes de calcul pour la détermination du devers et tous les paramètres correspondant à ce dernier.

- **R = 1100 m.**
  - Dévers théorique : $d_{th} = \frac{11.8*(Vmax)^2}{R} = \frac{11.8*160^2}{1100} = 274.62\ mm$
  - Coefficient du dévers : $C = 0.006 * Vmax^2 = 0.006 * 160^2 = 153.6$

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

Alors dans ce cas on prend C=165.

$0.5 < \frac{c}{0.118*Vmax^2} < 0.7$……(*)

$$0.5 < \frac{165}{0.118 * 160^2} = 0.55 < 0.7$$

La relation (*) est vérifiée.

- **Dévers préscrit :**

$$d_{projet} = \frac{1000C}{R} = \frac{1000 * 165}{1100} = 150$$

En prend $d_{adopté}$ = 150 mm.

- **Insuffisance de dévers :**

$$I = d_{th} - d_{adopté} = 274.62 - 150 = 124.62\ mm$$

- **Excès de dévers :**

$$E = d_{adopté} - \frac{11.8 \times V_{min}^2}{R} = 150 - \frac{11.8 \times 100^2}{1100} = 42.73\ mm$$

- **La longueur de clothoïde :**

$$L_{rp} = \frac{d_p}{dd/_{dl}} = \frac{d_{adopté}}{180/_{V_{max}}} = \frac{150}{180/_{160}} = 133.33m$$

dd/dt<50	$L_{rp} > \frac{d_{projet} \times V \times 0.2778}{50}$	$L_{rp} \geq 62m$
dd/dt<75	$L_{rp} > \frac{I \times V \times 0.2778}{50}$	$L_{rp} \geq 50m$

On prend **L_{rp} = 150m.**

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

$$dd/_{dt} = \frac{d_{adopté}}{L_{rp}} = \frac{150}{150} = 1\ mm/m$$

- **La variation de l'insuffisance de dévers par rapport au temps :**

$$dI/_{dt} = \frac{dl}{dI} \times \frac{V_{max}}{3.6} = \frac{51.4}{100} \times \frac{160}{3.6} = 36.92\ mm/s$$

- **La variation de dévers par rapport au temps :**

$$dd/_{dt} = \frac{d_p}{L_{rp}} \times \frac{V_{max}}{3.6} = \frac{150}{150} \times \frac{160}{3.6} = 44.44\ mm/s$$

Le listing ci-dessous présente les paramètres et les dévers correspondant à chaque rayon qui setrouve sur le tracé du tronçon d'étude, et cela pour les vitesses V_{max}=160km/h ;V_{min}=100km/h.

Table V-3 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé

		Formule	1	2	3
Rayon (m)		-	1100	1050	1080
Vitesse km/h	Min	-	100		
	Max	-	160		
d_{th} (mm)		$\frac{11.8 \times Vmax^2}{R}$	274.62	287.70	279.70
C		$0.006 \times V_{max}^2$	153.6		
C adopté		-	165		
Vérification C		$0.5 < \frac{C}{0.118 Vmax^2} < 0.7$	0.55		
			OK ✓		
d_p (mm)		$\frac{1000 \times C}{R}$	150	157.14	152.78
d_p adopté		-	150	160	160
I (mm)		$d_{th}-d_p$	124.62	127.70	119.70
E (mm)		$dp-\frac{11.8 \times Vmin^2}{R}$	42.73	47.62	50.74
L_{rp} (m)		$\frac{dp}{dd/dl}$	133.33	142.22	142.22
L_{rp} adopté		-	150	160	160
dd/dl (mm/m)		$\frac{dp}{Lrp}$	1.00	1.00	1.00
dI/dt (mm/s)		$\frac{I \times Vmax}{Lrp \times 3.6}$	36.92	35.47	33.25
dd/dt (mm/s)		$\frac{dp \times Vmax}{Lrp \times 3.6}$	44.44	44.44	44.44

Le tracé est réalisé à l'aide de AUTODESK Civil 3D selon les paramètres précédents. Veuillez consulter l'annexe pour plus de détails.

V.3 PROFIL EN LONG :

Le profil en long constitue une représentation graphique de la variation de l'altitude de la voie ferrée en fonction du kilométrage. Élément fondamental dans la conception des infrastructures ferroviaires, il permet de visualiser et d'analyser les pentes, les rampes, les déclivités et les points singuliers du tracé.

Son importance réside dans le fait qu'il influence directement la sécurité, la consommation énergétique, les performances des trains, ainsi que les coûts de construction et d'entretien. Un profil mal étudié peut entraîner des difficultés d'exploitation, notamment pour le freinage ou la traction dans les rampes excessives.

Ainsi, le profil en long constitue un outil essentiel pour assurer une infrastructure performante, durable et conforme aux exigences de sécurité et d'efficacité.

V.3.1 LES ÉLÉMENTS DU PROFIL EN LONG :

V.3.1.1 Les alignements droits :

Dans le profil en long d'une voie ferrée, les alignements droits correspondent à des sections rectilignes dépourvues de courbure. Leur déclivité, constante ou faiblement progressive, permet de maintenir une vitesse régulière et sécurisée des trains, tout en limitant les oscillations indésirables des véhicules. Leur implantation est soigneusement étudiée pour réduire les volumes de terrassement et garantir un profil en long stable, conforme aux normes de sécurité ferroviaire.

La Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) définit des règles strictes concernant les pentes admissibles sur ces tronçons, notamment dans les zones d'implantation des gares, où un palier d'au moins 1200 mètres est exigé, accompagné de déclivités maximales bien déterminées.

Table V-4 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé

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

V.3.1.2 Les raccordements :

Lors d'un changement de déclivité, le véhicule ferroviaire subit une accélération verticale brutale aux extrémités du raccordement, qui provoque une oscillation de la suspension du véhicule et perturbe le confort des voyageurs.

Cette accélération est donnée par la formule suivante :

$$A_v = \frac{v^2}{3{,}6 x R_v}$$

Pour restreindre la variation brutale d'accélération verticale pour les circulations à vitesse maximale, on doit limiter le rayon minimum de ces courbes.

Pour les vitesses inférieures à 220 km/h, la valeur maximale de cette accélération est généralement de 0,22 m/s² (correspondant à une décélération de 0,05 g), ce qui est considéré comme une valeur de confort acceptable. Exceptionnellement, cette valeur peut atteindre 0,31 m/s². On peut calculer cette accélération en remplaçant la valeur de A_v dans la formule

$$R_v = \frac{v^2}{3.6xA_v}$$

Table V-5: Rayon vertical

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

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

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

✓ $P_{n+1} - P_n > 2‰$ pour V>60km/h ou $P_{n+1} - P_n > 4‰$ pour V≤60km/h => Cercle Vetical

✓ $P_{n+1} - P_n < 2‰$ pour V>60km/h ou $P_{n+1} - P_n < 4‰$ pour V≤60km/h => PCD

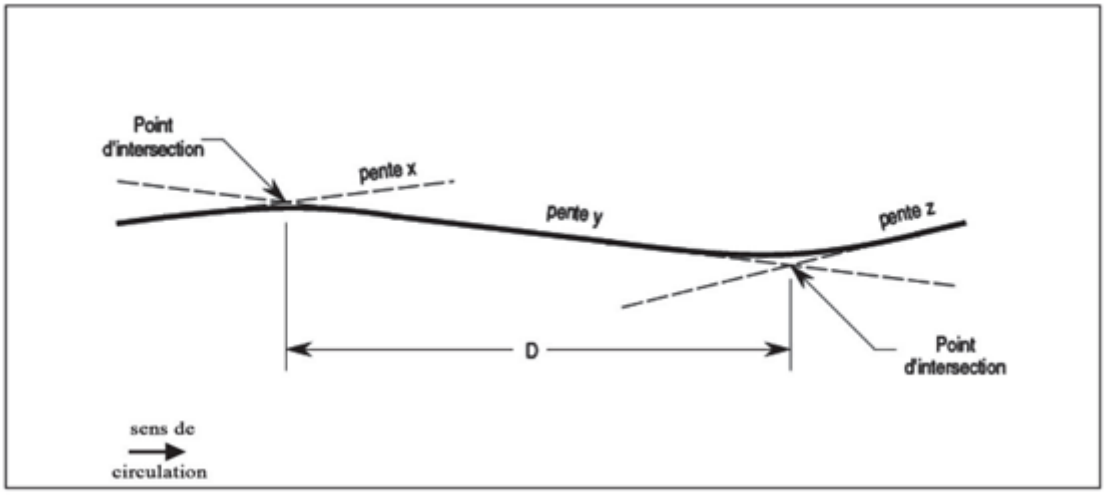


Figure V-2 : Les éléments de profil en long

V.3.2 APPLICATION SUR LE PROJET :

Table V-6 : Paramètres géométriques de profil en long (SNTF).

		D_{max}				R_{min} (m)	$L_{min}(m)$
		L< 3000m	3000< L< 15000 m	L>15000m	Gare	-	-
Formule	Normal	-	-	-	-	0.35 V²	V/2
	Exceptionnel	-	-	-	-	0.25 V²	V/2,5
Application	Normal	16 ‰	16 ‰ à 13 ‰	13 ‰	0	8960	80
	Exceptionnel	18 ‰	18 ‰ à 15 ‰	15 ‰	0	6400	64

V.4 CONCLUSION :

L'étude géométrique dans le domaine des voies ferrées représente une étape fondamentale dans le processus de conception d'une infrastructure ferroviaire. Elle repose sur deux volets complémentaires : le tracé en plan, qui définit le parcours horizontal de la voie, et le profil en long, qui décrit son évolution en altitude. Ensemble, ces études permettent d'assurer la sécurité, le confort des usagers, la stabilité de la voie et l'efficacité de l'exploitation ferroviaire.

L'élaboration d'un tracé optimal exige une adaptation intelligente au relief, l'évitement des zones sensibles, la maîtrise des déclivités et le respect des normes techniques en vigueur. Le profil en long, quant à lui, permet d'anticiper les volumes de terrassement, de positionner les gares et d'évaluer les contraintes d'exploitation liées aux pentes.

En somme, l'étude géométrique constitue la base technique sur laquelle reposent les choix d'aménagement, les études de structures et les estimations économiques, tout en assurant la conformité de la future ligne ferroviaire aux exigences de la SNTF et aux standards internationaux.

Chapitre VI : Etude Hydraulique et Hydrologique

VI Chapitre VI : Étude Hydrologique et Hydraulique

VI.1 INTRODUCTION :

Dans le cadre de la rectification du tracé de la Nouvelle Ligne Ferroviaire à Voie Unique entre Tissemsilt et Boughezoul, sur le tronçon allant du PK 72+200 au PK 86+000, cette étude porte sur le drainage transversal de la section concernée.

Elle comprend :

- La délimitation et l'analyse des bassins versants interceptés ;
- L'évaluation de leurs caractéristiques physiques pour le calcul des débits de projet ;
- Le dimensionnement hydraulique des ouvrages de drainage nécessaires.

Les plans associés détaillent l'ensemble du réseau de drainage, en précisant la nature et les dimensions des ouvrages à réaliser. Cette étude vise également à actualiser une version antérieure déjà validée, en l'adaptant aux récentes modifications du tracé entre Chahbounia et Sidi Laadjel.

VI.2 ÉTUDE HYDROLOGIQUE :

Une étude hydrologique est une analyse technique qui permet de comprendre et quantifier le comportement de l'eau dans un bassin versant, principalement en ce qui concerne :

- Les précipitations (pluie),
- Le ruissellement (écoulement de l'eau à la surface),
- Le débit des cours d'eau (rivières, oueds),
- Et surtout, les crues (inondations) pour différentes périodes de retour (10 ans, 50 ans, 100 ans…).

Dans un projet ferroviaire, elle permet de :

- Prévoir les crues susceptibles d'affecter la plateforme de la voie,
- Calculer les débits maximaux à écouler sous la voie,
- Dimensionner les ouvrages de drainage, comme les buses, dalots, ponceaux ou ponts,
- Et garantir la durabilité et la sécurité de l'infrastructure contre les risques d'inondation et d'érosion

VI.2.1 Présentation générale

La ligne nouvelle Tissemsilt –Boughezoul d'une longueur de 130 km traverse le grand bassin versant du Chellif .L'oued Chelif prend naissance au niveau de djebel Amour au sud de Tiaret pour suivre le chemin : Tissemsilt-Boughezoul-Berouaghia-Khemis-Chlef-Mostaganem, donc tous les Oued traversés sont soit des affluents du Chélif soit un autre nom de l'oued chélif (Oued Nahr Ouassel; Faich el djedida Oued fedoul; Oued touil)

-Du pk 70(SIDI LADJEL) au pk 85(Chahbounia) le tracé se trouve en remblai et traverse des zones très évasées sans grands problèmes sur le plan de l'hydrologie.

Le tracé de la nouvelle voie ferrée se situe au Nord - Ouest de l'Algérie, (Figure 4)

Cette région se caractérise par un climat méditerranéen avec parfois des averses très importantes qui peuvent conduire à des catastrophes naturelles.

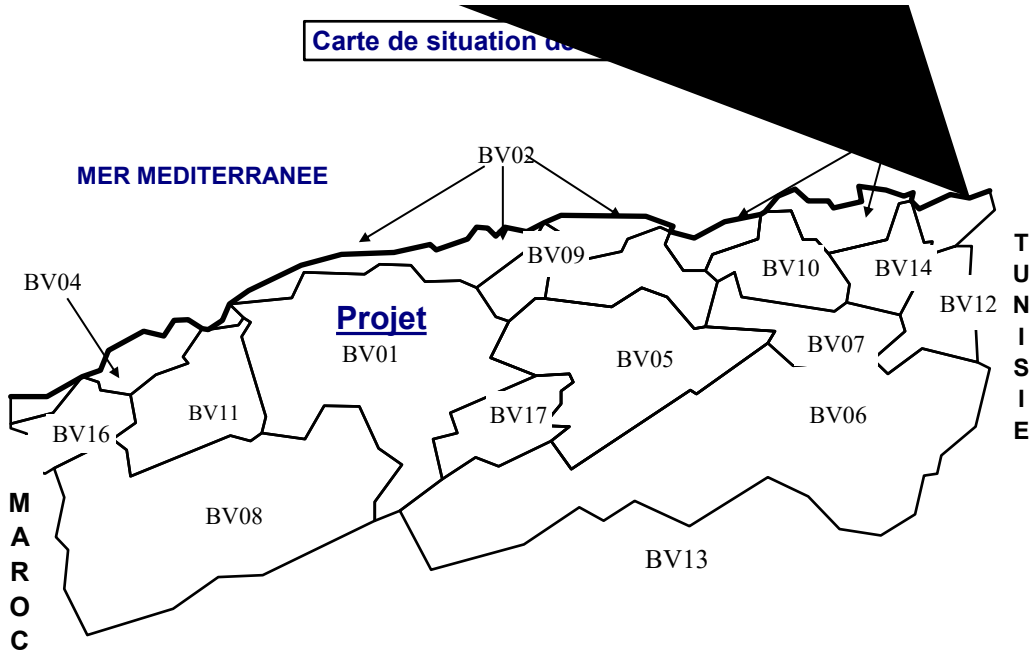


Figure VI-1Carte de situation de la région étudiée

Le bassin du Chéliff codé (01) par l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques), est situé au Centre-Ouest du pays entre les bassins des Côtiers Algérois (02) au Nord, de l'Isser (09) et Chott Hodna (05) à l'Est, de Zahrez (17) et du Sahara (13) au Sud, des Côtiers Oranais (04), des Hautes Plaines Oranaises (08) et Macta (11) à l'Ouest.

A l'Ouest, le bassin du Chéliff est délimité au Nord par les monts du Dahra et au Sud par l'Atlas Saharien.

Le PK sert de repérage du passage d'un tronçon de la voie ferrée sur l'Oued. La délimitation des bassins versants est faite à partir de son intersection.

VI.2.2 Caractéristiques climatiques :

Température :

La région de l'étude est caractérisée par un climat méditerranéen à tendance continentale, avec des étés chauds et des hivers froids. Les températures moyennes annuelles oscillent entre 15,1°C et 17,2°C au niveau des cinq stations situées à proximité du tracé, pour la période allant de 1975 à 2010.
La température moyenne annuelle au niveau de la station de Boughezoul est estimée à 17,2°C pour cette période.

Tableau VI-1 : Moyenne annuelles et mensuelles des températures au niveau des stations de Tissemsilt, Hamadia, Ksar Chellala, Aïn Oussera et Boughezoul (1975–2010)

Stations	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mars	avr	mai	Juin	juil	août	moy
Tissemsilt	21,8	17,9	12,9	8,6	6,7	7,4	10,9	14,2	18,3	22,9	27,3	27,8	15,1
Hamadia	23,0	18,8	13,1	9,0	6,9	7,8	11,3	15,0	19,0	23,4	28,1	28,5	15,8
Ksar Chellala	24,1	19,5	13,6	9,3	7,1	8,2	12,0	15,7	19,8	24,3	29,0	29,3	16,4
Aïn Oussera	24,9	20,0	14,0	9,6	7,4	8,5	12,3	16,1	20,2	25,1	30,0	30,4	17,0
Boughezoul	25,2	20,3	14,3	9,8	7,5	8,7	12,5	16,3	20,4	25,3	30,2	30,7	17,2

Source : ONM (Office National de la Météorologie)

Remarque : Les températures utilisées dans cette partie ont pour but de caractériser uniquement le climat de la zone d'étude. Elles ne sont pas utilisées dans les calculs hydrologiques.

Humidité (Zones bioclimatiques)

La région de l'étude, située entre Tissemsilt et Boughezoul, est caractérisée par un climat de type méditerranéen, marqué par une alternance nette entre une saison froide et humide et une saison chaude et sèche. Ce contraste s'accentue en allant vers le Sud, où la saison sèche peut s'étendre sur toute l'année, traduisant ainsi un climat plus aride.

L'évaluation du climat local s'appuie sur le quotient pluviothermique d'Emberger (Q) et la température moyenne minimale du mois le plus froid (m), représentés sur un climagramme. Cette méthode permet de délimiter les grands types de bioclimats méditerranéens selon les seuils suivants :

- **Humide** : P > 900 mm/an, forte humidité de l'air.
- **Subhumide** : P > 600 mm/an.
- **Semi-aride** : 300–600 mm/an, déficit hydrique notable.
- **Subaride** : P < 350 mm, plus de mois secs que de mois humides.
- **Aride** : P < 150 mm, 12 mois biologiquement secs.

Selon la carte bioclimatique de Côte (1998), élaborée à l'échelle 1/1 000 000, et corroborée par l'analyse des formations végétales et des milieux naturels, la zone du projet Tissemsilt–Boughezoul se situe majoritairement dans un domaine subhumide à semi-aride, avec une nette tendance à l'aridité en s'éloignant vers le Sud.

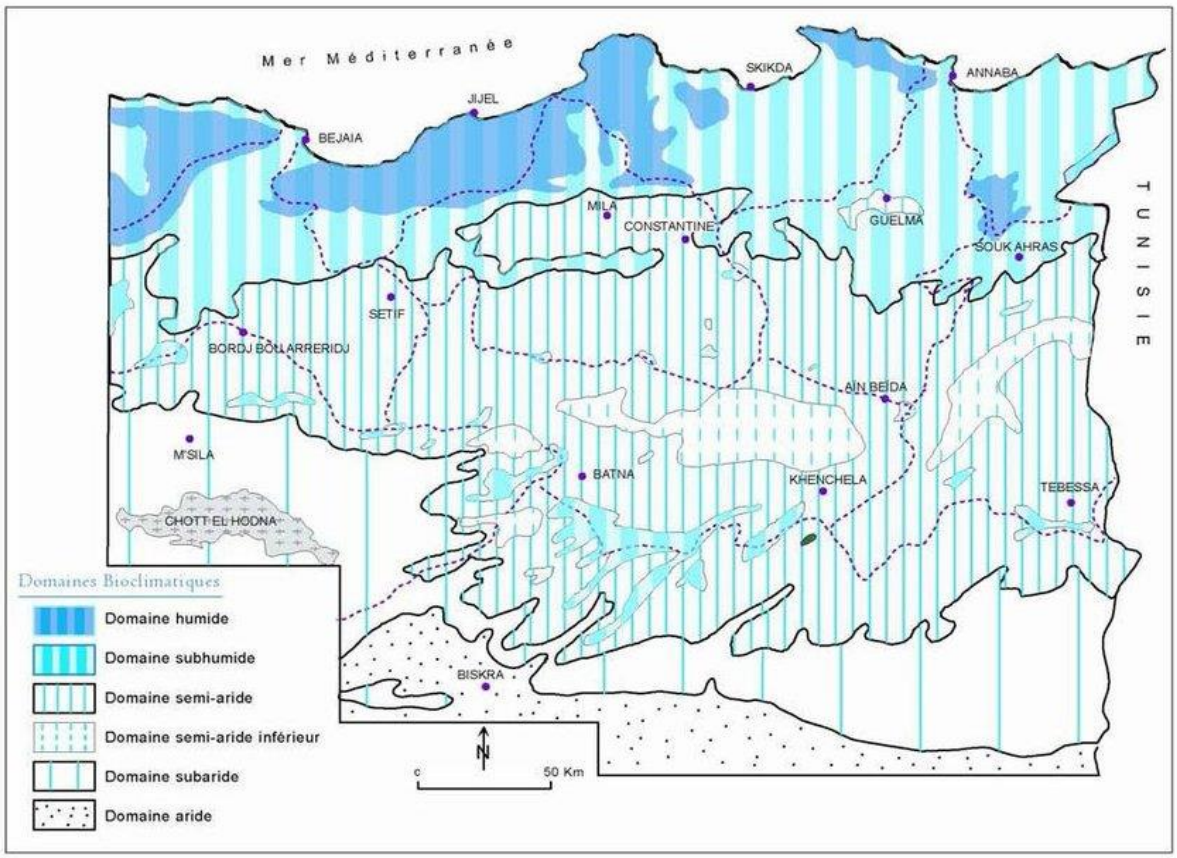


Figure VI-2Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'est algérien (Côte, 1998 dans Bazri, 2015)

Pluies annuelles :

Les données pluviométriques de 5 stations appartenant au bassin du Cheliff et proches du tracé ont été exploités et qui caractérisent au mieux la pluviométrie de la région d'étude.

Les paramètres statistiques des pluies annuelles des cinq stations calculées à base des données pluviométriques recueillies au niveau de l'ANRH (voir annexe 1) sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI-2 : Les paramètres statistiques des pluies annuelles des cinq stations

Nom de la Station	Période d'observations	Moyenne annuelle (mm)	Ecart type (mm)
Tissemsilt	68 ans	271.7	83.1
Hamadia	37 ans	338.6	91.8
Ksar Chellala	29 ans	271.6	87.5
Ain Oussera	58 ans	240.1	70.7
Boughezoul	43 ans	223.9	73.5
Moyenne		268.6	

La pluie annuelle moyenne dans la région est comprise entre 250 et 350 mm d'après la carte des pluies de l'Algérie du Nord de l'ANRH, nous prenons en considération la valeur de Pmoy = **268.6 mm**.

Précipitations Journalières

La protection contre les dégâts des eaux nécessite de s'intéresser aux pluies journalières maximales annuelles. Théoriquement les valeurs extrêmes s'ajustent à une loi des valeurs extrêmes, en Algérie, il est vérifié que les pluies journalières maximales annuelles s'ajustent à une loi de Gumbel. Dans le tableau suivant nous présentons les pluies max journalières enregistrées au niveau des stations choisies, pour différentes fréquences.

Tableau VI-3 : précipitations journalières maximales annuelles

Station	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Ksar Chellala	36,4	46,2	58,8	68,3
Boughezoul	39,7	46.6	55,0	61,3

VI.2.3 Bassins versants :

Caractéristiques géomorphologiques :

Pour évaluer les débits de crues, il est nécessaire de déterminer les caractéristiques des bassins versants en calculant ou en estimant les paramètres explicatifs correspondants. Les paramètres physiques peuvent être calculés avec une précision suffisante et sans grandes difficultés

Les principaux paramètres requis pour la modélisation des bassins versants sont :

• La surface de bassin versant S (km2)

• Périmètre P (km)

• Longueur de talweg L (km)

• L'altitude max H max (m)

• L'altitude min H min (m)

• La pente I (m/m)

• Le temps de concentration Tc (h)

Tableau VI-4 récapitulatif des caractéristiques géomorphologiques des bassins versants

N°BV	PK des BV	Surface (km^2)	P (km)	Longueur de talweg (m)	Hmax (m)	Hmin (m)	H moy	I(pente)	Tc (h)
31	72+900	0,180	1,94	370	692	682	687,00	0,027	0,328
32	76+450	30,600	33,63	16600	857	682	769,50	0,011	6,284
33	77+400	91,970	52,97	24210	864	673	768,50	0,008	9,552
34	82+775	12,860	17,22	5860	874	666	770,00	0,035	2,421

. Le temps de concentration « tc » :

Les formules de détermination du temps de concentration sont utilisées suivant la superficie du bassin versant :

a /Superficie inférieure à 5 Km² :

Il est calculé par la formule de VENTURA :

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

Tc : Temps de concentration en heure

S : Surface du bassin versant en km²

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

b/ Superficie comprise entre 5 et 25 Km :

Tc est calculé par la formule de PASSINI :

$$t_c = 0{,}11\,\frac{\sqrt[3]{S\,x\,L}}{\sqrt{P}}$$

L : Longueur du cours d'eau principal en km

S : Surface du bassin versant en km²

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

c/. Superficie comprise entre 25 et 200 km² :

Tc est calculé par la formule de GIANDOTTI :

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

L : Longueur du cours d'eau principal en km

S : Surface du bassin versant en km²

H = Hmoy –Hmin (m).

VI.2.4 Calcul des débits maximaux (Les crues)

La détermination du débit maximal d'un cours d'eau revêt une importance capitale en raison des conséquences potentiellement destructrices de tels événements hydrologiques. Lors de la planification de grands aménagements, il est indispensable d'estimer la crue maximale probable afin d'assurer la protection adéquate de l'ouvrage concerné.

La crue maximale est caractérisée par :

− Le débit Max.

− La durée de la crue.

− Le volume écoulé durant la crue.

Pour évaluer les débits maximaux des bassins versants aux sites des franchissements les plus importants, des formules empiriques ont été utilisées et qui sont élaborées en fonction des caractéristiques physiques des bassins versants, il s'agit de :

Tableau VI-5Quelques formules utilisées dans le calcul du débit

Surface du bassin versant (km²)	10	50	200
Formule	Rationnelle	Transition	Crupedix

Formule Rationnelle :

$$\mathbf{Qmax} = 0.278 \times \boldsymbol{Cr} \times \boldsymbol{I} \times \boldsymbol{A}$$

- Qmax [m3 /s] : Débit de crue de fréquence.

- Cr : Coefficient de ruissellement.

- I [mm/h] : Intensité de pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration.

- A [km²] : Surface du bassin versant.

➢ Pour la détermination du coefficient du ruissellement Cr, nous avons opté pour la méthode de KENESSEY : $\boldsymbol{Cr} = \boldsymbol{C1} + \boldsymbol{C2} + \boldsymbol{C3}$

Choix du coefficient de ruissellement :

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

Coefficient C1 : dépendant de la pente du bassin versant.

Tableau VI-6 : Valeur de C1

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

Les pentes des bassins versants concernés par notre projet étant inférieures ou égales à 3,5 %, le coefficient de ruissellement retenu est C1 = 0,03.

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

Tableau VI-7: Valeur de C2

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

Le sol étant de nature perméable, un coefficient de ruissellement de C2 = 0,06 a été retenu.

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

Tableau VI-8: Valeur de C3

Couverture végétale	C3		
Rocheux	0,22	0,26	0,30
Prairie	0,17	0,21	0,25
Labours champs	0,07	0,11	0,15
Forêt et territoire sableux	0,03	0,04	0,05

La couverture végétale du bassin versant concerné par notre projet étant constituée de champs labourés, le coefficient de ruissellement retenu est $C_3 = 0,15$.

Donc le coefficient de ruissellement $\boldsymbol{Cr} = \boldsymbol{C1} + \boldsymbol{C2} + \boldsymbol{C3}$ = 0.03+0.06+0.15 = 0.24.

Formule de Transition :

Cette formule peut être justifiée dans la mesure où le débit décennal fourni par la formule rationnelle peut être parfois plus de 2 fois supérieur à celui fourni par la formule Crupedix. Le débit fourni par la formule de transition s'écrit :

$$Q(T) = \alpha . QR(T) + \beta . QC(T)$$

Avec :

- Q(T) [m3 /s] : Débit de projet de temps de retour T.

- QR(T) [m3 /s] : Débit fourni par la formule rationnelle de temps de retour T.

- QC(T) [m3 /s] : Débit fourni par la formule Crupedix de temps de retour T.

- α et β : Coefficients de pondération.

Tel que α varie linéairement de 1 à 0 lorsque la superficie (S) croît de 10 à 50 km².

$$\alpha = \frac{50-S}{40} \qquad \text{Et} \qquad \beta = 1 - \alpha$$

Formule de Crupedix :

La méthode Crupedix permet l'estimation du débit de pointe décennal Q10.

$$Q_{10} = A^{0,8} \times \left(\frac{P_{10}}{80}\right)^2 \times R$$

$$\boldsymbol{Q_{10} = A^{0.8} * (P_{10} \div 80)^2 * R}$$

- Q_{10} [m3/s] : Débit de crue instantané de fréquence décennale.

- A [Km²] : Superficie du bassin versant.

- P10 [mm] : pluie journalière de période de retour décennale.

- R : Coefficient régional traduisant l'aptitude au ruissellement. : Q100 = b'. Q10 Avec : b' un

Évaluation du débit centennal à partir du débit décennal de la formule Crupedix :

Q100 = b'. Q10

Avec :

b' un paramètre régionale dépendant de la superficie du bassin versant b' = 4 par défaut .

L'intensité de pluie :

La relation Intensité - Durée - Fréquence recherchée est de la forme :

$$I = \boldsymbol{a}. \boldsymbol{Tc^{-b}}$$

I: Intensité de pluie en (mm/h)

Tc : Temps de concentration exprimé en heures.

Tableau VI-9 valeurs du paramètre « a » de la zone de boughezoul

T (ans)	2	5	10	20	50	100
a (t)	14,2	20,1	23,8	27,4	32	35,4

a et b : Paramètres climatiques (de Montana) pour une période de retour centennale (100 ans) selon l'ANRH sont : a = 35.4 et b = 0.81

Tableau VI-10 Les débits maximaux centennaux

N°BV	PK des BV	Surface (km²)	Longueur de talweg (km)	Cr	I(pente)	Tc (h)	Q_{100} (m^3/s)
31	72+900	0,180	0,370	0,24	0,027	0,328	1,05
32	76+450	30,600	16,600	0,24	0,011	6,284	17,18
33	77+400	91,970	24,210	0,24	0,008	9,552	43,43
34	82+775	12,860	5,860	0,24	0,035	2,421	14,41

Méthode de calcul « MANNING STRICKLER » :

$$Q = Ks.S_m.R_h^{2/3}.I^{1/2}$$

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

-Rh : Rayon hydraulique = section mouillé/périmètre mouillé

-Sm : Section mouillée de l'ouvrage b x Hu (m2).

-b : Largeur de l'ouvrage (m).

-H u : Hauteur utile (m).

-H t : Hauteur totale (m).

-Ks : Coefficient de rugosité ; pour le béton Ks=70.

Vérification des conditions d'auto curages :

Pour vérifier ces conditions il faut vérifier :

.V > 0.6 m/s pour : Q = 0.1 Qps

.V > 0.3 m/s pour : Q = 0.01 Qps

.Vps < 4 m/s

On rayon vertical : Rv = V/Vps

Exemple de calcul :

On prend la hauteur utile Hu = 0.80Ht, **Pour l'écoulement au PK 72+900 on a : Un débit d'apport de Q100 = 1.05 m³/s.**

Ks = 70.

I = 0.005 m/m

Sm = 0.8 Ht × b

Pm = 1.6 Ht + b

Rh = Sm/ Pm = $(0.8H_t \times b)/(b+1.6H_t)$

L'égalité entre le débit de saturation et celui de la crue centennale donne :

$$H_t = (1 / 0.8b) (Q / (KS \times I^{1/2}))^{3/5}(1.6H_t+b)^{2/5}$$

Après itérations et en imposant la largeur b = 1.5 m pour des raisons d'adaptation avec le lit de l'oued on trouve : Ht = 1.5 m.

Type de dalot pris : C1 : dalot 1.5m × 1.5m

Qsat = $70 \times 1.5 \times 0.8 \times 1.5 \times ((0.8 \times 1.5 \times 1.5) /(1.5+1.6 \times 1.5))^{2/3} \times \sqrt{0.005} = 5.32$ m³/s

Donc Q100 = 1.05 m³/s < Qsat =Qps = 5.32m3 /s

Donc le dalot projeté assure l'évacuation du débit de la crue centennale.

• V_{ps} < 4m/s ➔Q_{ps}/S_m= 5.32/1.8=2.96m/s ➔ la condition est vérifiée

• Pour $Q/Q_{ps}= R_q$=0.01 il faut Vécoulement> 0.3 m/s

R_q = 0.01 ➔ R_v = 0.319 = V /V_{PS} ➔ V = 0.319× 2.96 = 0.94 m/s.

V = 0.94 m/s > 0.3 m/s ➔ la condition est vérifiée.

• Pour $Q/Q_{ps}= R_q$=0.1 il faut que $V_{écoulement}$> 0.6 m/s.

R_q = 0.1 ➔ R_v = 0.638 = V/V_{PS} ➔ V = 0.638 × 2.96= 1.88m/s.

V = 1.88 m/s > 0.6 m/s ➔ la condition est vérifiée.

N°BV	PK des BV	Q_{100} (m^3/s)	Pent	**Nbrs de Cellules**	**b (m)**	**h(m)**	**Sm (m^2)**	**Pm(m)**	**Rh(m)**	**Q sat (m3/s)**	Vérification (0,1) $V_é$> 0.m/s	Vérification (0,01) $V_é$> 0.3m/s	V_{ps} < 4m/s	Vérification
31	72+900	1,05	0,005	**1**	**1,5**	**1,5**	1,8	3,9	0,46	**5,32**	1,88	0,94	2,96	
32	76+450	17,18	0,005	**2**	**2**	**2**	3,2	5,2	0,62	**22,92**	2,28	1,14	3,58	OK ✓
33	77+400	43,43	0,005	**3**	**2,5**	**2**	4	5,7	0,70	**46,91**	2,49	1,25	3,91	
34	82+775	14,41	0,004	**1**	**2,5**	**2,5**	5	6,5	0,77	**18,58**	2,37	1,19	3,72	

Zones Marécageuses

Pour notre tronçon, nous avons fait la remarque suivante : dans la majorité des cas le terrain était plat (du moins dans la partie du tracé de la voie) et par conséquent marécageux (zone inondable), ce qui nous poussés à ajouter des buses d'équilibre.

Buses d'équilibre :

Les buses d'équilibre ont pour rôle principal d'équilibrer les quantités d'eaux de chaque côté de la ligne ferroviaire.

Leur positionnement exact a été donné par la configuration du terrain et du tracé.

Dans le cadre de la plateforme ferroviaire, un diamètre de 1500 mm a été retenu pour les buses d'équilibre, afin d'assurer un bon écoulement transversal des eaux et éviter tout risque d'accumulation ou de colmatage sous la voie.

Tableau VI-11 : Les buses d'équilibre

PK	Diamètre (mm)
72+500	1500
73+000	1500
73+500	1500
74+000	1500
74+500	1500
75+000	1500
75+500	1500
76+000	1500
76+500	1500
77+000	1500
77+500	1500
78+000	1500
78+500	1500
79+000	1500
79+500	1500
80+000	1500
80+500	1500
81+000	1500
81+500	1500
82+000	1500
82+500	1500
83+000	1500
83+500	1500
84+000	1500
84+500	1500
85+000	1500
85+500	1500
86+000	1500

VI.3 Dimensionnement des ouvrages longitudinaux (Les fossés) :

Le bon écoulement des eaux provenant des talus et des pentes voisines vers la plateforme de la voie est essentiel et cela est facilité par un système de drainage longitudinal tels que les fossés. Ils assurent un drainage efficace des eaux de ruissellement, préservent la stabilité des talus et protègent les infrastructures ferroviaires, garantissant ainsi la sécurité et la durabilité du réseau.

Nous avons étudié le profil travers et les caractéristiques du terrain naturel afin de déterminer les surfaces du drainage.

VI.3.1 Les hypothèses formulées pour le dimensionnement :

- Coefficient de rugosité Strickler Ks = 65 (béton lisse)

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

$$\mathbf{Qa = Qpf + Qt + QB}$$

- La pente des fossés en zone de déblai correspond à celle du profil en long de la voie

- Dans les calculs de débit, on considère le cas le plus défavorable : quand il y a un déblai qui s'étend sur une grande distance avec une hauteur importante.

- Nous calculons chaque débit en appliquant la méthode rationnelle :

$$\boldsymbol{Q = 0.278 \times Cr \times I \times A}$$

Q [m3 /s] : Débit de crue correspondant au bassin versant

C : Coefficient de ruissellement.

I [m/m] : Pente longitudinale.

A [Km²] : Surface du bassin versant considérer (la plateforme -les talus – la berme).

Dimensionnement des fossés

Pour le dimensionnement des fossés, on utilise la formule de Manning-Strickler :

$$\boldsymbol{Qs = K_s . R_h^{2/3} . S_m . I^{1/2}}$$

Où

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

- Le périmètre mouillé $Pm = b+2h. \sqrt{1 + z2}$

- Le rayon hydraulique : $Rh = Sm/P$ avec :

- I pente longitudinale de fossé

- z la pente des berges.

Tableau VI-12Débit des déblais

		Déblais	
		Le cas plus défavorable : H max = 2.2m Longueur = 135 m Largeur de la plateforme =8m Bermes = 0m	
	Formule	Plateforme	Talus
S (Km²)	A = d × l	0.002696	0.00794
P[m/m]	-	0.04	1/2
C_r	-	0.9	0.7
Tc [h]	$\mathbf{Tc} = 0.127 \times \sqrt{\frac{S}{P}}$	0.033	0.016
I [mm/h]	$\mathbf{I = a \times t^{-b}}$ Avec : a = 23.8 ; b= 0.81	377.2	678.01
Q [m3 /s]	Q =0.278×Cr×I×A	0.254	1.047
Qtotal [m3 /s]	$Q_{pf} + Q_T + Q_B$	1.301	

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

Les hypothèses suivantes ont été émises pour le dimensionnement :

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

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

- Forme de construction : Profil trapézoïdal avec déclivité du talus 1:2.

Qa = .1301 m3 /s ,

On prend :

- Ks = 70.

- P = 0.008 m/m, représente la pente de la ligne rouge sur le profil en long.

- b = 50 cm.

Avec le calcul itératif on trouve les dimensions suivantes : h = 50 cm avec z = 1.5

Pour l'intégralité du tracé on opte pour un seul type de fossé suivant :

- Fossé trapézoïdal (b=0.5m, h=0.5 m) en béton armé.

Tableau VI-13Tableau récapitulatif des caractéristiques de faussé

B	H	Z	Sm	Pm	Rh	Ks	I	Q
0.5	0.5	1.5	0.625	2.08	0.3	70	0.008	1.754

VI.4 Conclusion :

Dans un projet linaire tel qu'une ligne ferroviaire, l'étude hydrologique et hydraulique est primordiale et obligatoire, elle permet d'assurer la pérennité de la voie. D'après l'étude précédente présentée dans ce chapitre avec les spécifications de la région on obtient les ouvrages de drainages longitudinaux et transversaux à réaliser le long de la ligne (dalot, buses d'équilibre, fossé).

Chapitre VII : Etude géotechnique et géologique

VII Chapitre VII : Etude géotechnique et géologique

VII.1 L'étude géologiques :

VII.1.1 Introductions :

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

VII.1.2 Aperçu géologique régionale :

La région de Médéa appartient à la chaîne montagneuse de l'Atlas tellien et à l'extrémité nord des hauts plateaux, voir la figure suivante :

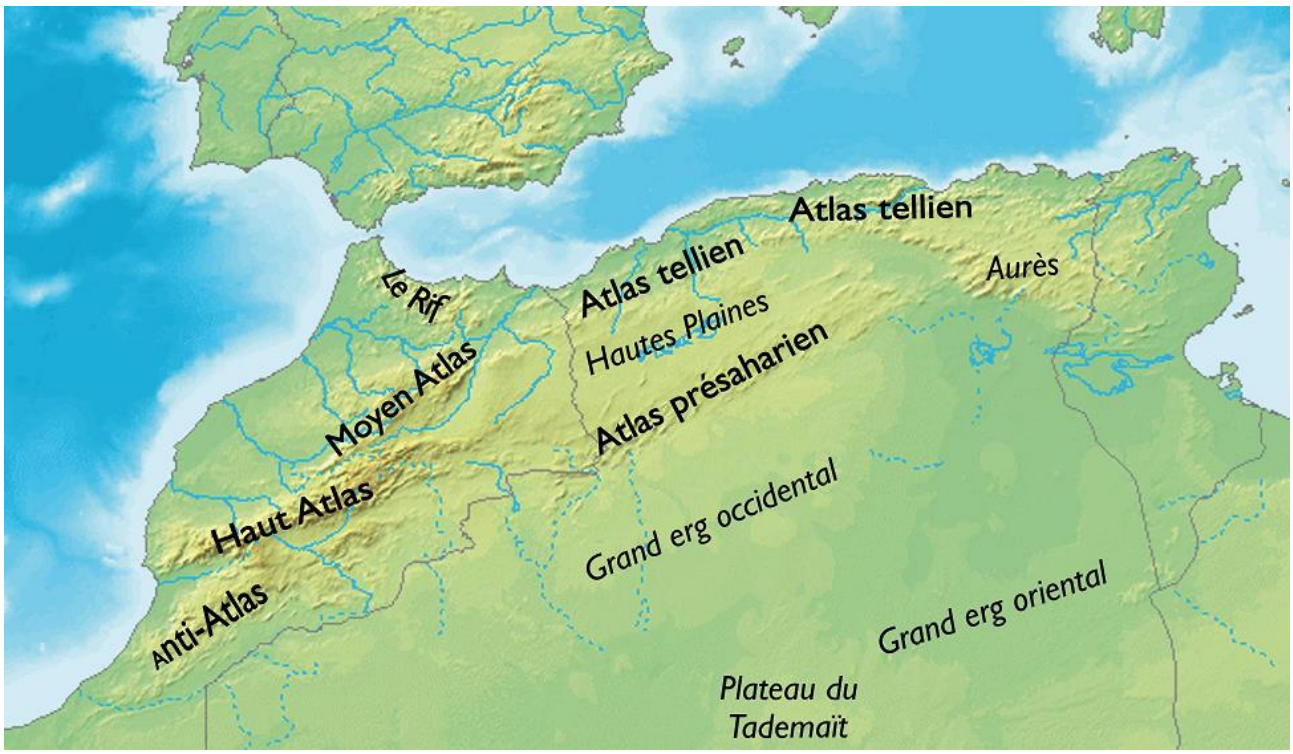


Figure VII-1Carte des chaînes de montagnes en Algérie

Les formations du Néogène sont développées sur tout le territoire de la région et sont représentés par les formations miocènes et pliocènes, constitués essentiellement d'argiles marneuse, calcaires organogènes, grès et conglomérats. De plus Les dépôts du Quaternaire sont représentés par les formations de pentes limons, sable, argiles et galets.

VII.1.3 Contexte géologique de ce tronçon :

Le tracé du projet s'inscrit dans une zone de transition entre les Hauts Plateaux et le Tell externe de l'ouest algérien. Cette région, d'altitude moyenne (400 à 900 m), se distingue par une géologie complexe, façonnée par des mouvements tectoniques majeurs et caractérisée par des formations sédimentaires du Miocène au Quaternaire. Elle est traversée par des oueds à régime saisonnier et présente un relief varié, favorable à l'implantation d'infrastructures linéaires comme les voies ferrées.

VII.1.4 Climat du site :

Le climat de la région d'étude est de type méditerranéen. Avec un été chaud et sec et un hiver froid. Les températures annuelles varient de 10° à 35°. Les précipitations atmosphériques sont de 16 à 120mm en hiver et de 0 à 55mm en été. Le réseau hydrographique de la région est représenté par une série D'oueds à écoulement temporaire s'alimentant aux dépens des cours d'eau qui s'assèchent en été.

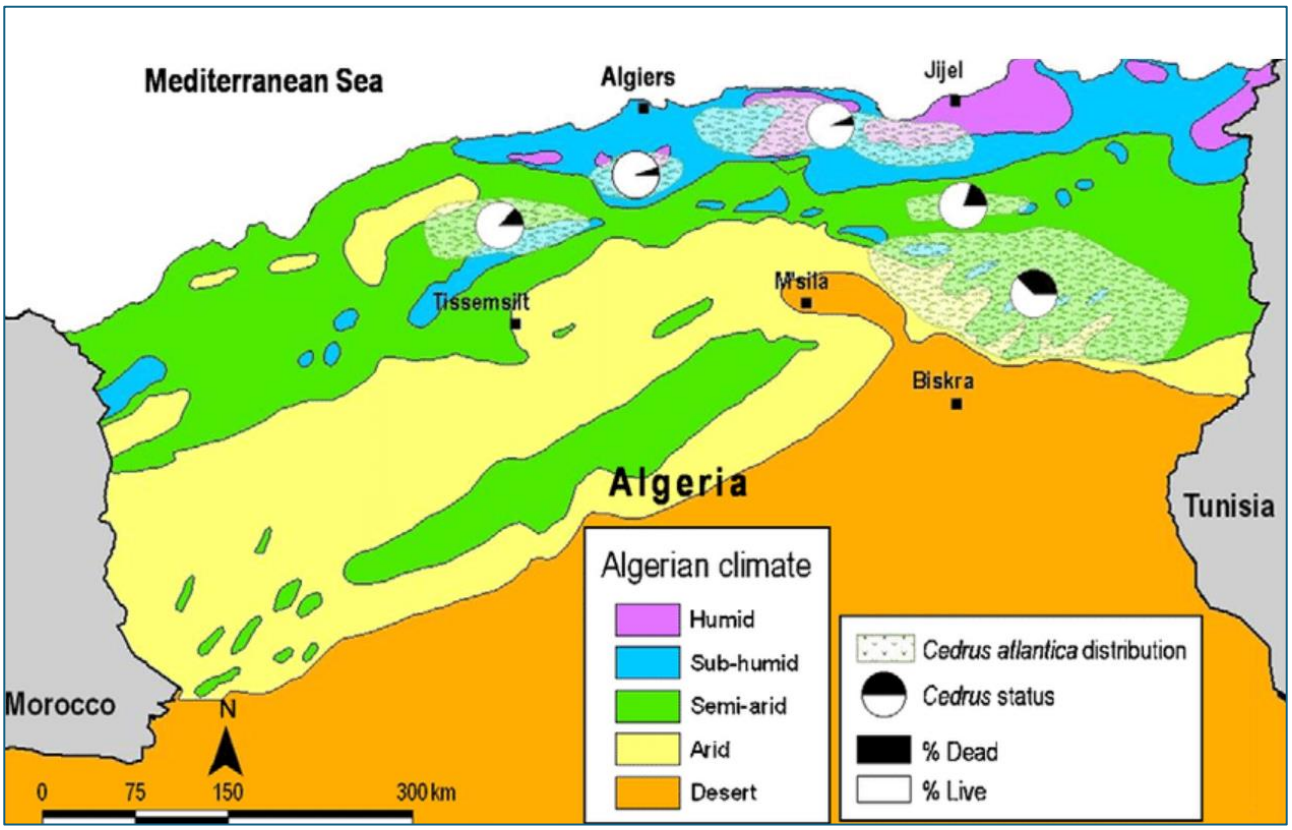


Figure VII-2 Carte climatique de l'Algérie

VII.1.5 Sismicité :

La wilaya de Tissemsilt est située dans la zone de moyenne sismicité (**II** a). La conception et la réalisation du projet devront tenir compte de la sismicité de la région et se référer à la réglementation.

Le projet en étude est situé dans une région ayant une activité sismique moyenne, (zone **II** a) d'après le RPA 99 VERSION 2003. L'ouvrage devra être conçu de façon de ce qu'il résiste aux plus fortes secousses telluriques.

La Willaya de Tissemsilt fait partie du groupe **1A,** elle est située en zone sismique **II** a, dont la valeur de coefficient d'accélération est égale à **0.20** pour les calculs de génie civil et de stabilité.

La Willaya de Djelfa fait partie du groupe **1B,** elle est située en zone sismique **I**, dont la valeur de coefficient d'accélération est égale à **0.12** pour les calculs de génie civil et de stabilité.

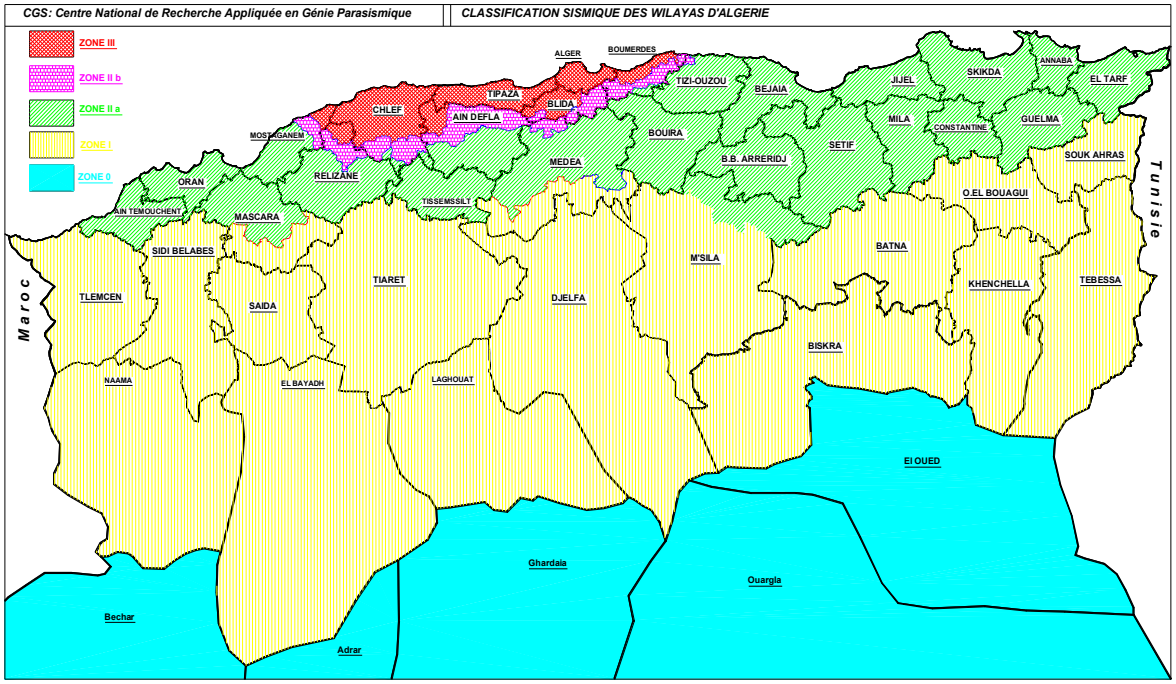


Figure VII-3Carte de zonage sismique après le séisme de TISSEMSILT (CGS, 2003)

VII.1.6 Risques géologiques :

Le tronçon du tracé ferroviaire compris entre le point kilométrique 72 et 86 ne présente pas de difficultés géologiques majeures.

Le projet est situé en zone de sismicité moyenne, ce qui nécessite de prendre en compte les risques sismiques dans la conception et la réalisation des ouvrages. Ainsi, les calculs dynamiques doivent se conformer à la réglementation parasismique algérienne en vigueur afin d'assurer la sécurité et la stabilité des infrastructures.

VII.2 ETUDE GEOTECHNIQUE :

VII.2.1 Introduction :

Les éléments géologiques recueillis doivent être complétés par des éléments géotechniques précis afin de mieux comprendre le comportement des sols face aux efforts extérieurs. À ce stade de l'étude, il est nécessaire de connaître les caractéristiques fondamentales des terrains, telles que la granulométrie, la sédimentométrie , les limites d'Atterberg, les essais chimiques, ainsi que la teneur en eau naturelle. Ces données permettent de classifier les sols et de déterminer la classe de la plateforme nécessaire au dimensionnement de la structure d'assise.

En complément des essais d'identification, des essais de compression simple, de cisaillement, de compression triaxiale et des essais œdométriques sont réalisés. Ces derniers permettent de calculer la stabilité des ouvrages en terre, les tassements des sols sous les remblais, ainsi que les pentes à adopter pour les talus de déblais et remblais. Enfin, des essais in situ sont effectués afin de déterminer la portance des sols pour les ouvrages.

Description de projet :

La ligne du projet projetée par rapport au relief du terrain naturel de mon projet présente généralement les terrassements faibles (Déblais/Remblais inférieur à 7m).

VII.2.2 Programme d'investigations géotechniques :

Suite à l'analyse du tracé en plan et du profil en long de la voie ferrée reliant Tissemsilt à Boughezoul, un programme de reconnaissance géotechnique a été mis en place. Ce programme a pour but de répondre à plusieurs objectifs essentiels, notamment : déterminer les conditions de fondation des remblais, identifier les matériaux susceptibles d'être réutilisés dans la constitution des remblais, des couches supérieures de terrassement et de la couche de forme, évaluer la portance des remblais ainsi que de l'arase, et enfin, réaliser des études de sol en vue de la conception des ouvrages et de la définition des fondations appropriées.

Tableau VII-1 Programme d'investigation géotechnique.

Programme D'investigation géotechnique :	Type D'ouvrage en terre	Essais géotechniques	
		Essais in situ	Essais au laboratoire
Lot Terrassement : (Dimensionnement de la plate-forme ferroviaire)	Remblais/ Déblais	- Puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche - Sondages carottés.	- Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip..). - Essais mécaniques. - Analyse chimique
Lot ouvrage d'art : (Denouncement de fondations des ouvrages)	Remblais/ Déblais	- Sondages Pressiométriques. - Sondages carottés. - Essais pénétration standard. SPT	- Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip..). - Essais mécaniques. - Analyse chimique

VII.2.3 Essais in-situ :

Le tableau ci-dessous, présente l'ensemble des essais in-situ prévus pour le lot de terrassement :

Tableau VII-2L'ensemble des essais in-situ prévus pour le lot de terrassement:

Désignation	Objectifs
Sondage carotté	Distinction des types de formation. Prélèvement des échantillons.
Essais pénétration standard SPT	Détermination de la succession des différentes couches de sol. Capacité portante du sol.
Les puits de reconnaissance	Déterminer la portance du sol et caractériser les propriétés géotechniques des matériaux rencontrés

VII.2.4 Essai de laboratoire :

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

Tableau VII-3les différentes essaies au laboratoire.

Essais physiques	Essais mécaniques	Analyses chimiques
Analyse granulométrique	Cisaillement rectiligne	Teneur en carbonates
La teneur en eau naturelle	L'essai œdométriques	Teneur en matière organique
Limites d'Atterberg	Proctor modifié	Teneur en sulfate
Essai de bleu de méthylène	Essai CBR	
Densité apparente	Résistance à la compression simple	

VII.2.5 Lithologie de la zone d'étude :

En accord avec les résultats de la campagne géotechnique menée dans la zone d'étude.

Les principales formations géologiques traversées par le tracé sont détaillées dans le tableau cidessous :

Tableau VII-4: La lithologie des Puits de Reconnaissance

PUITS n°	PK	LITHOLOGIE
PU 52		**0,00 – 0,30 m :** Recouvrement gravelo-caillouteux avec galets et blocs
	72+ 500	**0,30 – 0,40m :** Refus sur croûte calcaire dure
PU 53		**0,00 – 0,30 m :** Recouvrement gravelo-caillouteux avec galets et blocs
	74+ 000	**0,30 – 0,40m :** Refus sur croûte calcaire dure
PU 54		**0,00 – 0,30 m :** Recouvrement gravelo-caillouteux avec galets et blocs
	75 + 500	**0,30 – 0,40m :** Refus sur croûte calcaire dure
PU 55		**0,00 – 1,10 m :** sable limoneux, peu argileux, finement graveleux, rougeâtre
	77 + 000	**1,30 – 1,0m :** Croûte calcaire assez dure
		1,30 – 3,00m : Sable peu graveleux, jaunâtre
PU 56		**0,00 – 0,60 m :** sable limoneux, peu argileux, finement graveleux, rougeâtre

	78 + 500	**0,60 – 0,80m :** Refus sur croûte calcaire dure
PU 57		**0,00 – 0,40 m :** Recouvrement gravelo-caillouteux avec galets et blocs
	80 + 000	**0,40 – 0,50m :** Refus sur croûte calcaire dure
PU 58		**0,00 – 0,30 m :** limons sableux, marrons
	81 + 500	**0,30 – 0,40m :** Refus sur croûte calcaire dure
PU 59		**0,00 – 0,40m :** Refus sur croûte calcaire dure
	83 + 000	
PU 60		**0,00 – 0,80 m :** sable limoneux, argileux, rougeâtre
	84 + 500	**0,80 – 1,60m :** Sable jaunâtre, peu graveleux à graveleux (refus sur blocs à 1,60m)
PU 61		**0,00 – 1,00 m :** sable gravelo-caillouteux avec galets et blocs (Refus sur blocs)
	86 + 000	

En synthèse :

Les investigations géotechniques menées entre le PK 72+200 et le PK 86+000 ont mis en évidence une stratigraphie relativement homogène dans l'ensemble du tracé. La zone est principalement recouverte d'une couche meuble composée de matériaux graveleux à caillouteux, souvent accompagnés de galets et de blocs, avec une épaisseur variant généralement entre 0,30 et 0,40 m. Sous cette couverture, un refus est systématiquement observé sur une croûte calcaire dure, ce qui témoigne de la présence d'un substratum rocheux peu profond, favorable à la stabilité du terrain. Toutefois, certains sondages (notamment aux PK 77+000, 78+500 et 84+500) révèlent la présence de formations plus meubles, telles que du sable limoneux, parfois rougeâtre ou jaunâtre, atteignant des profondeurs allant jusqu'à 1,60 m. Ces hétérogénéités locales devront être prises en compte lors de la conception des fondations, notamment pour garantir une bonne portance et limiter les tassements différentiels.

VII.2.6 Résultats des essais de Standard Pénétration Test (SPT) :

Principe :

L'essai standard pénétration test et un essai de pénétration dynamique. Il est réalisé à l'intérieur du forage. Il s'agit d'un essai supposé standard.

L'essai SPT consiste à battre dans le sol un carottier normalisé et à compter le nombre de coups N nécessaires pour enfoncer le carottier de 30 cm à raison de deux passes de 15 cm. C'est un essai très indiqué dans les sols pulvérulents (où il est souvent impossible de récupérer des échantillons intacts pour les essais en laboratoire), car il permet à partir du nombre de coups mesures et grâce à des corrélations d'estimer l'angle de frottement, la compacité et la force portante des sables. Les valeurs brutes obtenues N0, N1 et N2 de l'essai SPT réalisé et dont seules les valeurs N1 et N2 seront prises en considération, car la valeur N0 correspond à la partie remaniée du sol et donc à éliminer, ainsi la valeur de N que nous prendrons en considération sera N1 et N2.

Les principales caractéristiques de l'essai sont :

- Le poids du mouton doit être 63 Kg.
- La hauteur de chute de 76 cm.

Interprétation de l'essai SPT :

L'interprétation de l'essai SPT s'est faite en se basant sur la méthode française applicable aux sables. Nous avons exploité les résultats selon la méthode de TERZAGUI et MEYERHOFF. Le traitement des résultats est donné ci-après.

Légende :

N0 : Nombre de coups de la première couche non pris en considération car correspondant à la tranche remaniée du sol.

N1 : Nombre de coups de la deuxième tranche.

N2 : Nombre de coups de la troisième tranche.

N : Nombre de coups exact mesuré par l'essai SPT.

Les résultats des essais SPT sont donnés sur le tableau ci-dessous :

Tableau VII-5 L'essai SPT

Sondage N°	PROF (m)	Nombre des coups			Résistance à la pénétration	Compacité selon la norme XP P94-011
		N0	N1	N_2	N	
TB2480	1.45-2.00	13	22	31	53	Très dense
	3.55-4.00	14	29	42	71	Très dense
	4.00-4.45	12	19	31	50	Dense

En synthèse :

Les résultats des essais SPT obtenus montrent la présence d'un sol moyennement dense à très dense.

VII.2.7 Synthèse des résultats géotechniques :

Synthèse des résultats de laboratoire :

Les essais d'identification :

Tableau VII-6Synthèse des essais d'identification

Puits N°	Profondeur (m)	Proctor Normal		Proctor Modifié		CBR imbibé						Indice CBR à 95 % de l'OPM
						56C/C		25C/C		10C/C		
		γ_d (t/m³)	□□ (%)□	γ_d (t/m³)	□□ (%) □	γ_d (t/m³)	I_{CBR}	γ_d (t/m³)	I_{CBR}	γ_d (t/m³)	I_{CBR}	
PU 55	0.40-1.00	1.93	9.60	1.98	11.0	1.96	6.38	1.88	5.16	1.84	2.92	5.18
	2.00-2.60	1.88	11.8	1.98	12.8	1.96	5.07	1.90	4.05	1.88	3.16	3.31
PU 60	0.20-0.80	1.74	11.1	1.81	11.1	1.71	5.28	1.66	4.52	1.58	3.16	5.81

Les essais Mécanique :

Tableau VII-7Synthèse des essais mécaniques

puits n°	Profondeur (m)	Teneur en eau	VBS	Limites d'Atterberg				Granulométrie				Classification NFP 11 - 300	
		%	%	WL	WP	IP		<50 mm	<2mm	<80µ	<2µ		Classe de qualité du sol
PU55	0.40 – 1.00	5.80	0.85	33.00	17.25	**15.75**		100	94.63	30.45	11	**C1A1m,s**	**QS1**
PU 55	2.00 – 2.60	8.59	0.98	36.64	15.18	**21.46**		100	86.97	60.49	16.19	**C1A1m,s**	**QS1**
PU 60	0.20 – 0.80	9.79	1.80	37.71	18.97	**18.74**		100	93.96	40	18.70	**C1A1m,s**	**QS1**

Analyse chimique :

Tableau VII-8Synthèse des essais chimiques

Puits N°	Profondeur (m)	Carbonates CaCO3 (%)	Anhydrides carboniques (%)	Chlorures (NaCl) (%)	Sulfates (CaSo4,2H2o) (%)	Interprétation des résultats suivant la norme NF P18-011
PU 55	0.40-1.00	12.93	5.69	0.29	Traces	Sol non agressif
	2.00-2.60	31.17	13.28	0.58	Traces	Sol non agressif
PU 60	0.20-0.80	32.75	14.41	0.35	Traces	Sol non agressif

Interprétation des résultats :

Le tableau suivant donne les valeurs minimales, maximales et moyennes des paramètres géotechniques obtenus sur les échantillons des formations traversés par le tracé de la ligne ferroviaire, Les valeurs moyennes seront considérées comme valeurs représentatives de l'unité.

Tableau VII-9Synthèse des essais de laboratoire

Paramètres géotechniques		Min	Max	Moyenne
Teneur en eau	W%	5,80	9.79	8.06
Granulométrie	< 80 µ (%)	30.45	60.49	43.65
Limite d'Atterberg	WL (%)	33	37.71	35.78
	IP (%)	15.75	21.46	18.65
Bleu Méthylène	VBS	0.85	1.8	1.21
Proctor Normal	Γd	1,74	1,93	1.85
	WOPM	9,60	11,8	10.83
Proctor Modifié	Γd	1,81	1,98	1.92
	WOPM	11	12.80	11.63
CBR	ICBR	3.31	5.81	4.77

Interprétation des résultats du laboratoire :

Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer les proportions des grains de différentes tailles dans le sol. Elle s'effectue par tamisage pour les grains d'un diamètre supérieur à 80 µm et par sédimentométrie (2µm) pour les grains les plus fins.

Les résultats sont exprimés sous forme de courbes appelées "courbes granulométriques" qui donnent le pourcentage cumulé d'éléments de dimension inférieur à chaque diamètre. L'analyse granulométrique montre un pourcentage de passants à 80µ compris entre 30.45**% et 60.49 %,** avec une moyenne de 43.65 **%**. Ces résultats montrent qu'on est en présence d'un terrain à prédominance de **sols fins et parfois grenus.**

Limites d'Atterberg :

Compte tenu de leur structure, les formations meubles (fraction fine) ont la propriété d'absorber l'eau ou se dessécher, ceci en fonction des conditions d'humidité auxquelles elles sont soumises, et passent ainsi d'un état à un autre. Les limites d'Atterberg, ont pour but de définir les teneurs en eau (exprimées en %) correspondant aux limites des différents états :

Les résultats des limites d'Atterberg réalisés sur les échantillons ont donné des indices de plasticité « IP » variables entre 15.75**%** et 21.46**%** avec une moyenne de 18.65%, et des limites de liquidité entre 33% et 37.71% avec une moyenne de 35.78%. Selon la norme NF P 94–011, les valeurs de plasticité « IP » obtenu montrent que les sols sont **peu plastiques**.

Tableau VII-10 Qualificatif de la fraction du sol constituée d'éléments inférieurs à 400 µm en fonction de l'indice de plasticité

Indice de plasticité (%)	Qualificatif
$I_P \leq 12$	non plastique
$12 < I_P \leq 25$	peu plastique
$25 < I_P \leq 40$	plastique
$I_P > 40$	très plastique

Résultats des analyses chimiques de sol :

Le taux des carbonates varie entre 12.93% et 32.75% avec une moyenne de 25.62% ce qui signifie que le sol non carbonaté donc le sol est caractérisé par des formations Tufs sablo-graveleux.

Chapitre VIII :
ASSISE FERROVIAIRE

VIII Chapitre VIII : Assise ferroviaire :

VIII.1 Introduction :

Grâce à des essais de laboratoire et insitu, de plus en plus sophistiqués, la mécanique des sols nous fournit les données indispensables pour dimensionner la structure d'assise et garantir sa stabilité en fonction des caractéristiques des sols sur lesquels elle repose.

Dans le chapitre consacré aux constituants de la voie, nous avons défini la couche d'assise. Pour compléter cette étude, ce chapitre présentera les éléments suivants : le ballast, la sous-couche, ainsi que la plateforme.

VIII.2 Le ballast

Techniquement l'acier a été utilisé pour les rails mais ce matériau présenterait un problème, il a tendance à s'allonger et à se rétrécir sous l'effet des variations de température, c'est ainsi que les ingénieurs ont développé un moyen de réguler ce phénomène en créant le ballaste.

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

- Facilite le drainage et empêche la voie d'être inondés

- Transmettre des efforts engendrés par le passage des trains au sol, sans que celui-ci ne se déforme par tassement

- Absorbe les vibrations

- Maintient la dilatation thermique à un niveau minimum

- Empêche les plantes de pousser par-dessous

VIII.2.1 Caractéristique de ballast

- Pierre rocheuse dure concassée, résistance à la compression : ≥ 12Kn

- résistance à la compression : ≥ 12Kn /cm² Maille : 22,4/63 mm

- Limite de maille entre 31,5-50 mm : 50%

- Résistance à l'érosion avec le coefficient Los Angeles : ≤ 15 %

- La granularité du ballast se situe à proximité dans la classe 25 à 50 mm (pierre cassée)

VIII.3 Sous couche :

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

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

VIII.3.1 Rôle de la sous couche :

La sous couche assure plusieurs fonctions comme :

- évacuation des eaux de pluie.

- protection contre l'érosion et le gel.

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

VIII.4 La plate-forme :

Définition : Partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la sous-couche la plateforme est constituée e terres rapportées dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai Pour évaluer la qualité de la plateforme, il convient :

- D'apprécier la qualité de chaque sol composant la plateforme,

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

VIII.4.1 Classification des sols pour la plateforme

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

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

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

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

transformés en sols de meilleure qualité par un traitement approprié, (traitement aux liants).

- QS2 : Sols moyens.
- QS3 : Bons sols.

Tableau VIII-1 classification du sol GTR + UIC

Puits n°	Granulométrie		Limite	VBS	Classification GTR et NF P11-300	Classe de qualité du sol
	50	0,08	I_p			
PU 55	100	30.45	**15.75**	-	**C1A1m,s**	**QS1**
PU 55	100	60.49	**21.46**	0.85	**C1A1m,s**	**QS1**
PU 60	100	40	**18.74**	0.98	**C1A1m,s**	**QS1**

VIII.4.2 Les classes de la portance de la plateforme :

La portance d'une plate-forme dépend :

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

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

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

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

Figure VIII-1détermination de la classe portance de la plate-forme

Plate- forme proposée :

Compte tenu de ce qui précède, notamment la classe des qualités du sol support est en majorité **QS1**, ainsi que les prescriptions données par les UIC nous conseillons d'opter pour une plate forme de type P 3 (Bonne plate forme) dimensionnée préalablement pour un tel type de sol (QS3).

Couche de forme:

Les résultats des travaux du terrain et les résultats montre que si on envisage pour une classe **C 1A1m?S,** une bonne plate forme, c'est-à-dire de classe **P3,** on aura :

Sur les matériaux **QS1**, une couche de forme dont la qualité de sol est **QS3** et cela sur une épaisseur de **50 cm**.

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

Ces épaisseurs minimales calculées sont valables pour un espacement de traverses de 0.6 m

Et de la charge maximale d'essieu de 25 t (UIC 719R) :

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

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

- « E » - des classes de portance (P1, P2 ou P3).

- « a » - de l'UIC groupes (groupes 1 à 6, UIC 714).

- « b » - de la type de traverses.

- « c » - des conditions de travail.

- « d » - de la charge maximale d'essieu des véhicules.

- « f » - de la vitesse.

- « g » - de installation de géotextiles

VIII.5.1 Application au projet

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

E = 0,45 m pour la plateforme P3

a= - 0,10 pour ligne UIC 5

b=0.13

c= 0,00 m pour voie nouvelle

d= 0,00 m pour charge pour essieux 200 KN

f= 0,00 pour vitesse V≤ 160 KN/h

g= 0 (Pas de géotextile), couche de forme sol QS3.

e=0.45-0.1+0.13+0+0+0+0=0.48

On prend e=0.5m

La couche de ballast mesure 30 cm pour des vitesses comprise entre120 km/h à 200 km/h. ce qui correspond à notre situation.

Donc on aura approximativement une épaisseur la couche d'assise de 0.5m, soit 0.3m de couche de ballast et 0.2m de sous-couche.

VIII.6 Conclusion

Le dimensionnement nous a permis de mettre en évidence les épaisseurs des différents couches devant être présentes pour supporter et diffuser la charge transmise par le matériel roulant.

Nous avons respecté les normes de l'UIC en vigueur en Algéri

Chapitre IX :
PROFILE EN TRAVERS

IX Chapitre IX : PROFILE EN TRAVERS

IX.1 Introduction :

Après avoir analysé en détail le plan et le profil en long, nous pouvons désormais suivre précisément la trajectoire de l'axe de la voie. Il est à présent nécessaire de définir le troisième élément fondamental d'un projet ferroviaire.

IX.2 Profil en travers

Le profil en travers représente une coupe perpendiculaire à l'axe de la voie projetée. Il permet de visualiser l'ensemble des composants de la superstructure, de l'infrastructure, ainsi que les dispositifs d'assainissement et les dévers appliqués. Ce profil sert également à déterminer la position des points théoriques d'entrée en terre pour les terrassements, à définir l'assiette du projet, et à estimer les volumes de déblais et de remblais nécessaires. Afin d'éviter la répétition des dimensions générales et des détails constructifs communs, un profil en travers type est établi. On distingue généralement deux catégories de profils en travers.

IX.2.1 Les éléments du profil en travers

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

Eléments de superstructure :

♣ Le type de rail utilisé.

♣ La valeur de l'écartement de la voie.

♣ La distance entre les axes (cas de plusieurs voies), pour notre projet on a une seule voie.

♣ Le type de traverse utilisé.

♣ La valeur de devers en courbe (maximum).

♣ L'épaisseur de la couche de ballast.

Eléments de l'infrastructure :

♣ Les épaisseurs et la nomination des chaque couche.

♣ Les pentes transversales de chaque couche.

♣ La pente latérale de la plate-forme .

Eléments du talus :

♣ La pente de chaque talus

♣ Les ouvrages de consolidation éventuels

Eléments d'assainissement :

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

Chapitre IX : Profil en travers

IX.2.2 Profile en travers type :

La voie unique repose sur une plate-forme de 8,00 m de largeur, Au-dessus du fond de déblai respectivement de la surface supérieure de remblai nivelé, la fondation de la voie consiste en une couche de fondation et en sous-ballast. La superstructure est posée sur le sous-ballast. Chaque couche présente un dévers de 4 % vers l'extérieur du corps de la voie. L'arêtes etrouve à droite (dans le sens du kilométrage) de l'axe de la voie,à 2,10m de distance pour rendre possible un aménagement ultérieur à voie double. La superstructure se compose de rails UIC-60 espacé de 1.435 m et de traverses bi-bloc sur ballast. Du côté gauche de la voie (dans le sens du kilométrage), une bande latérale est prévue pour l'installation des poteaux d'une caténaire prévue et, parallèlement, pour une conduite de télécommunication, en résumé le profile en travers type caractérisé comme suit

• Ecartement de la voie : 1.435 m (standard).

• Largeurs de la plate-forme : 8 m.

• Pente latérale de la plate-forme : 4%.

• Pente latérale de la couche du ballast : 3/2.

• Épaisseur du ballast : 30cm.

• Épaisseur du sous-ballast :20 cm.

• Épaisseur de couche de forme : Sur les matériaux QS1, une couche de forme dont la qualité de sol est QS3 et cela sur une épaisseur de 50 cm.

• Pente (remblai : 2H/1V).

• Fossé trapézoïdal (b= 0.50 m ; h= 0.50 m ; pente=1.5H/1V).

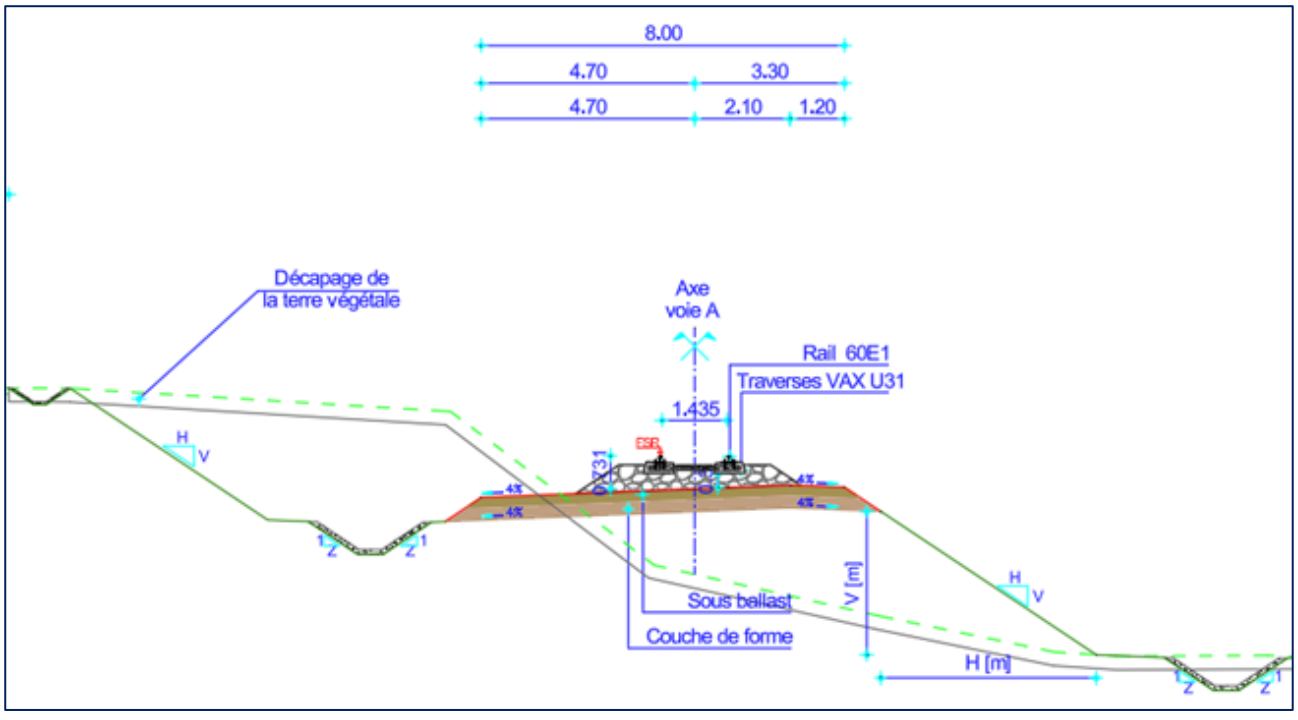


Figure IX-1 Profile en travers type

Chapitre IX : Profil en travers

IX.3 Calcul des cubatures :

Les volumes de terrassement représentent les variations de volume des déblais et des remblais dans le projet, visant à créer une surface uniforme en alignement avec la trajectoire du projet.

Les volumes sont calculés en se basant sur plusieurs critères importants :

• Les profils en long.

• Les profils en travers.

• Les distances entre les profils. Dans notre projet, les volumes de terrassement ont été calculés à l'aide du logiciel CIVIL 3D 2020.

Volume déblais (m^3)	Volume remblais (m^3)
22565.93	455932.61

IX.4 Conclusion :

Les profils en travers jouent un rôle fondamental dans la précision de la planification et de la réalisation des projets d'infrastructure. Ils contribuent à assurer la sécurité, l'efficacité économique et la durabilité des aménagements.

Chapitre X :
Terrassements

X Chapitre X : TERRASSEMENT

X.1 Introduction :

Les terrassements c'est l'ensemble des opérations de mouvement des terres en déblais et en remblais, ayant pour but de créer la plate- forme de l'ouvrage à réaliser.

X.2 TERRASSEMENT

Pour la détermination des travaux à réaliser en matière de terrassement, il est nécessaire de consulter les documents indiqués ci-dessous :

- Plans de situation.

- Coupes longitudinales.

- Sections transversales type.

- La description d'ordre géologique et géotechnique du tracé de ces Spécifications

Techniques.

X.2.1 Particulières :

- Le "Rapport Géologique sur le Tracé".

- Les coupes longitudinales pour la géologie.

- Les constats des visites des lieux par les soumissionnaires.

- Les exigences techniques du terrassement des Spécifications Techniques Générales.

X.2.2 Pour la manipulation des masses de terre, il est important de considérer les règles suivantes :

- En raison d'un sol pour la plus grande partie composé de grains fins et de la vulnérabilité à

L'eau de la roche sur les lieux du projet, le terrassement doit être réalisé exclusivement en période sèche (c'est-à-dire en dehors des périodes de précipitation).

- Il faut accorder une attention particulière au drainage systématique des eaux de surface autant

X.2.3 En phase de construction qu'à la fin des travaux :

- Les masses de terre déposées provisoirement doivent également être protégées de l'influence dommageable des eaux.

- Les études d'avant-projet partent du principe que les remblais ne dépassent pas 10 mètres.

Cette hauteur peut être dépassée en cas de démonstrations géotechniques adéquates.

- En cas de déblai accompagné de mesures de soutènement (béton projeté, plaques métalliques nervurées en acier de construction et armatures), il convient d'accorder les travaux d'excavation du sol ou de la roche avec la mise en œuvre des mesures de soutènement, afin d'éviter les influences défavorables sur le sol ou la roche (décohésion) selon un schéma directeur des travaux établi avec précision.

X.3 Engins de terrassement

L'importance des travaux de terrassement nécessite l'utilisation des engins mécaniques pouvant exécuter de différentes sortes des travaux nécessaires pour préparer le terrain du projet à exécuter.

Il existe de différents moyens mécaniques suivant les techniques d'exécution.

- Bulldozers : pour décapage du terrain, déplacer les terres.

- Décapeuse (Scraper) : pour le décapage, le décaissement, le transport et l'étalage des terres.

- Chargeurs : pour chargement des terres.

- Pelle : Sert à creuser des tranchées, tailler les talus etc…

- Niveleuse : nivellement du terrain suivant la prescription.

- Compacteurs : compactage des couches de sol servant comme plate- forme.

X.4 DEFINITION :

Le terrassement est le processus d'excavation, de déplacement, de nivellement et de compactage du sol dans le cadre de la préparation d'un terrain pour la construction.

Le processus de terrassement peut comprendre les étapes suivantes :

Décapage : Cette étape consiste à enlever la végétation, les débris et les couches de sol non désirées à la surface du terrain.

Déblais : Il s'agit de creuser le sol pour créer des tranchées, des fosses ou des excavations nécessaires à la réalisation du projet.

Remblais : des matériaux tels que du sable, du gravier ou du sol compacté sera ajoutés pour remplir les espaces vides et créer une surface de travail plane et stable.

Nivellement : Cette étape implique l'utilisation d'engins de terrassement pour répartir et lisser le sol afin d'obtenir la pente et l'inclinaison appropriées conformément aux plans du projet.

Compactage : Une fois que le sol a été nivelé, il est compacté à l'aide de rouleaux compresseurs ou d'autres équipements de compactage pour augmenter sa densité et sa stabilité. L'état de compactage exigé pour les remblais, ainsi que pour leur assise est celui correspondant à l'un des deux critères :

• % OPM ou, - essai à la plaque circulaire de 200 cm2.



Figure X-1 Section transversale mixte : déblai et remblai

X.5 STABILITE DE TALUS :

La stabilité d'un talus fait référence à sa capacité à résister à l'effondrement ou au glissement. Le calcul de stabilité concerne les grands ouvrages (remblais-déblais) avec des hauteurs importantes (h≥ 6 m). Plusieurs facteurs peuvent influencer la stabilité d'un talus, notamment :

• Angle de pente :

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

En déblai : 1/2, 2/3, 1/1, 3/2, 2/1, 2,5/1, 3/1.

En remblai : 3/2, 2/1.

• Poids volumique γ.

• Cohésion C.

• Angle de frottement interne φ.

L'objectif est de vérifier si le facteur de sécurité (Fs) le long d'un cercle de glissement donné respecte que :

• Fs ≥ 1.5 pour la stabilité à long terme (LT)

• Fs ≥ 1.3 pour la stabilité à court terme (CT)

• Fs ≥ 1 pour le cas sismique (S)

X.5.1 Application :

En tenant compte des résultats de l'investigation géotechnique, on a effectué le calcul de stabilité si il est nécessaire de le faire.

Cas de déblais :

Dans l'ensemble de notre projet, on a que tous les déblais sont de hauteur inférieure à 6m. Ils ne nécessitent pas de vérification de stabilité.

Cas de remblais :

Dans notre projet on a un remblai maximal de 6.8 m de hauteur, on pose une pente de 1/2, les données utilisées pour le calcul seront indiquées dans le tableau ci-dessous :

Tableau X-1: Les caractéristiques mécaniques des sols

	Nom	Couleur	Υ(KN/m^3)	ϕ (°)	C(KPA)
1	Remblai		20	30	5
2	Calcaire sableux		20	25	20

X.5.2 Synthèse de la vérification de stabilité du talus :

L'analyse de stabilité du talus a été réalisée à l'aide du **logiciel Talren v6 (v6.2.19)**, en utilisant la **méthode de calcul de Bishop**, reconnue pour son efficacité dans l'étude des surfaces de glissement circulaires.

Le modèle géotechnique comporte deux couches :

- Un remblai en surface,
- Un sol sableux cohésif en substratum.

Le facteur de sécurité minimal obtenu est :

Fmin = 1,7621,
ce qui est supérieur à la valeur exigée (Fmin ≥ 1,50) pour la situation définitive.

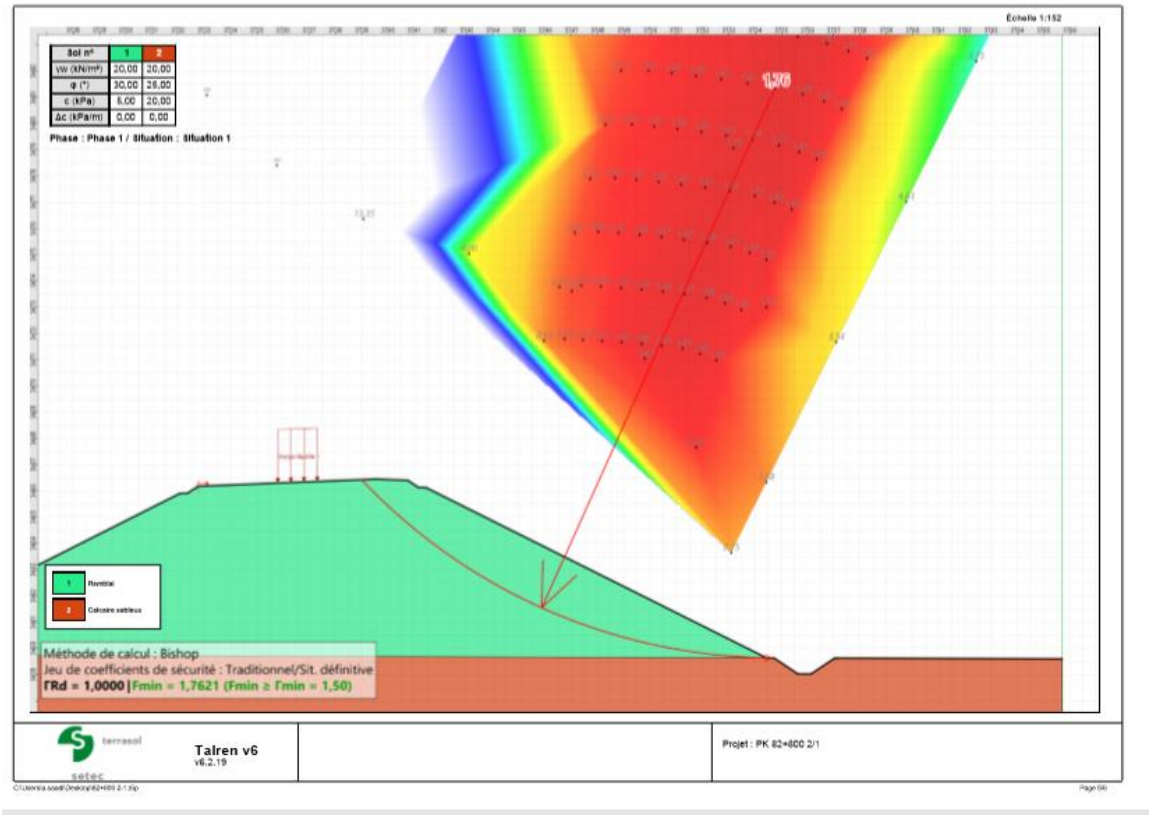


Figure X-2 : stabilité du talus

- **Conclusion :**

Le talus est **stable** et **conforme** aux exigences de sécurité géotechnique.

X.6 CALCUL DES CUBATURES :

Les cubatures dans un projet ferroviaire font référence à la mesure et au calcul des volumes de terre déplacés lors de la réalisation. Ces calculs sont importants pour déterminer la quantité de matériau nécessaire pour la plateforme et les remblais et les déblais, ainsi que pour estimer les coûts et la planification des travaux.

Voici le tableau des résultats de terrassement de notre projet calculer par logiciel CIVIL 3D 2020 :

Tableau X-2: Les cubatures de terrassement et les couches d'assises

Nature	Remblai	Déblais	Ballast	Sous ballast	Couche de forme
Volume (m^3)	455932.61	22565.93	31969.45	22877.92	64874.01

Chapitre XI :
Ouvrages d'art

XI OUVRAGE D'ART :

XI.1 Introduction :

Dans tout projet ferroviaire, la conception d'un bon tracé nécessite de garantir la perméabilité transversale de la ligne ainsi que le franchissement des différents obstacles naturels et artificiels (routes, oueds, reliefs, etc.). Pour répondre aux exigences techniques**,** sécuritaires et économiques, il est indispensable de doter la ligne d'une série d'ouvrages d'art adaptés, notamment :

a) Ponts-rails : ouvrages ferroviaires permettant de franchir des routes ou des rivières.

b) Ponts-routiers : ouvrages routiers franchissant la voie ferrée.

c) Ouvrages hydrauliques : tels que les dalots, permettant le drainage transversal. (Ces ouvrages seront détaillés dans le chapitre consacré à l'hydraulique et à l'assainissement).

XI.2 Les différentes parties d'un pont

Un pont se compose

XI.2.1 Le tablier :

Elément résistant portant la voie.

XI.2.2 Les appuis :

Appuis intermédiaires, appelés piles, et appuis d'extrémités, appelés culées, qui assurent la liaison avec le sol et les remblais ; les appuis transmettent au sol les efforts dus aux différentes charges par l'intermédiaire des fondations. Le tablier d'un pont repose sur ses appuis par l'intermédiaire d'appareils d'appui, conçus pour transmettre dans les meilleures conditions possibles des efforts principalement verticaux (poids de l'ouvrage, composante verticale des efforts dus aux charges d'exploitation), mais aussi horizontaux (dilatations, forces de freinage, d'accélération, centrifuges, etc.).

XI.2.3 Les fondations :

Elles permettent d'assurer la liaison entre les appuis et le sol. La partie du pont comprise entre deux appuis s'appelle une travée et la distance entre deux appuis consécutifs, la portée de la travée correspondante. Il ne faut pas la confondre avec l'ouverture qui est la distance libre entre les parements des appuis, ni avec la longueur du pont.

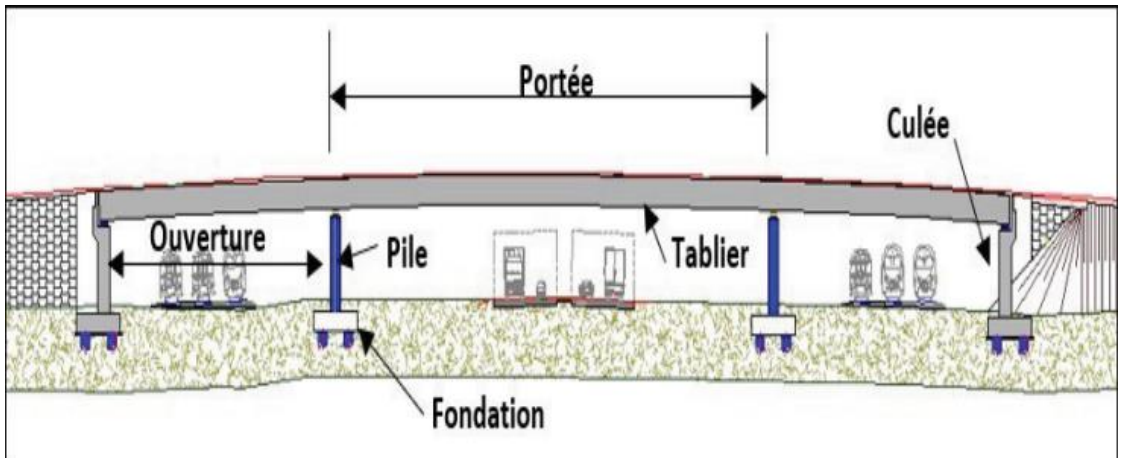


Figure XI-1 Différentes parties d'un pont.

XI.3 Classification des ponts :

La classification des ponts peut être selon des critères propres aux familles d'ouvrages (type de voûte pour les ponts voûtés ou différente selon le critère de classement : la fonction, les matériaux, la structure, le type de travées (indépendante, continue), l'importance de l'ouvrage (courant - non courant) ou types de nappes pour les ponts à haubans). Ces différents classements peuvent être croisés entre eux pour former des subdivisions.

XI.3.1 Classification selon la voie portée

La fonction d'un pont est liée à la fonction de la voie de communication portée :

- Un pont-route ou pont routier désigne un ouvrage portant une route. Les ponts autoroutiers désignant un ouvrage portant une autoroute, sont rangés dans la famille des pontroute ;
- Un pont-rail ou pont ferroviaire désigne un ouvrage portant une voie ferrée ou un tramway ;
- Une passerelle désigne un ouvrage portant une voie piétonne, pour les piétons, voire dans certains cas pour les deux-roues ;
- Un pont-aqueduc ou aqueduc désigne un ouvrage portant une canalisation d'eau ;
- Un pont-canal désigne un ouvrage portant un canal ;
- Un pont-avion ou pont-taxiway ;
- Un écoduc est un passage construit ou réservé dans un milieu aménagé, pour permettre aux espèces animales, végétales, fongiques, etc. de traverser des obstacles construits par l'homme ou résultant de ses activités.

XI.3.2 Classification selon la structure

La conception architecturale générale d'un ouvrage de franchissement fixe fait appel aux trois modes fondamentaux de fonctionnement mécanique des structures (flexion, compression et traction) pour donner cinq types de ponts fixes : les ponts à voûtes, les ponts à poutres, les ponts en arc, les ponts suspendus et les ponts à haubans.

Ponts voutés :

Les ponts voutés sont des ponts appartenant à la classe des ponts en arc. Ils ont été construits en pierre pendant plus de 1 500 ans, ce qui leur a valu la dénomination usuelle de ponts en maçonnerie. Les ponts voûtés couvrent les portées de 2 à 100 mètres.

Plusieurs critères peuvent différencier les ponts voûtés : la forme de la voûte, le type d'appareillage de la voûte, le type d'avant-bec ou d'arrière-bec.

Les ponts à poutres :

Les ponts à poutres désignent tous les ponts dont l'organe porteur est une ou plusieurs poutres droites. Ils n'exercent qu'une réaction verticale sur leurs appuis intermédiaires oud'extrémités et les efforts engendrés dans la structure sont principalement des efforts de flexion. Deux critères permettent de différencier les poutres : la forme ou le matériau. Le matériau de constitution de la ou des poutres peut être le métal, le béton armé, le béton précontraint.

Ponts à poutres en béton armé :

Les poutres en béton armé sont parallèles sous la chaussée, presque toujours à âme pleine, solidarisées transversalement par des entretoises. La couverture (le hourdis) est une dalle en béton armé qui joue le rôle de membrure supérieure de liaison des poutres. Selon les dimensions respectives et modes de liaison de ces deux éléments, on distingue trois types de tabliers de ponts en béton armé : Les tabliers à hourdis nervuré, Les tabliers tubulaires (il existe un hourdis inférieur en plus du hourdis supérieur, on peut aussi parler de caisson) et les tabliers en dalle pleine (il n'y a pas de poutre). Ces ponts sont coulés en place. Beaucoup de ponts à portée modérée franchissant les routes sont de ce type.



Figure XI-2 Passage grande faune

Ponts à poutres en béton précontraint :

Les poutres en béton précontraint sont utilisées pour construire des ouvrages dont la portée est au moins de 30 ou 40 m. La panoplie des solutions comporte :

Les dalles nervurées, qui ne peuvent être construites que sur cintre, et dont la gamme des portées déterminantes n'excède guère la soixantaine de mètre ;

Les ponts à poutres précontraintes par posttension, permettant de construire des viaducs à travées indépendantes de portées comprises entre 30 et 60 m ;

- Les ponts-caissons mis en place par poussage (portée principale usuelle comprise entre 35 et 65 m) ;

- Les ponts-caissons construits en encorbellement successif, permettant d'atteindre couramment des grandes portées de l'ordre de 130 ou 140 m. Cette méthode consiste à ériger l'ouvrage symétriquement en porte à faux à partir des piles, par tranches successives appelées voussoirs, coulés en place ou préfabriqués, la stabilité étant assurée par la mise en tension successive des câbles de précontrainte, ancrés à l'extrémité de chaque voussoir.

Ponts à poutres mixtes acier/béton :

Un pont mixte acier/béton comporte des éléments structurels en acier et en béton armé ou précontraint, dont la particularité réside dans le fait de faire fonctionner ces matériaux selon leurs aptitudes optimales, notamment en compression pour le béton et en traction pour l'acier. Ses éléments présentent une solidarisation entre eux, sous forme de liaisons mécaniques, de façon à créer un ensemble monolithique.

Ils connaissent un fort développement depuis les années 80 avec notamment les ponts bipoutres mixtes qui sont une solution relativement économique pour des portées comprises entre 35 et 80 m. Les ponts à poutre-caisson seront choisis lorsqu'un grand élancement est requis ou lorsque l'ouvrage présente une courbure très prononcée.

Ponts en arc :

Avec le perfectionnement des propriétés de l'acier et des capacités de calculs apparurent les ponts en arc. Généralement, dans un pont en arc, la rivière ou la brèche est franchie en une seule fois par un seul arc alors que dans le pont à voûtes, le tablier repose sur des piles intermédiaires. Le pont en arc associe la compression à la flexion. Ils se caractérisent par le fait qu'ils exercent sur les culées un effort oblique tendant à écarter les points d'appui.

Ils peuvent être différenciés selon la nature des matériaux de l'ouvrage (métal, béton armé, bois), selon la structure ou selon la position du tablier (porté, suspendu ou intermédiaire).

Ponts suspendus :

Les ponts suspendus se présentent sous la forme d'une structure comportant un tablier en acier ou en béton, assurant la continuité de la voie portée et la répartition des charges, et des organes porteurs : les suspentes, les câbles et les pylônes. Les suspentes supportent le tablier et transmettent les charges aux câbles porteurs. Ces derniers, d'allure parabolique, transmettent une réaction verticale sur les pylônes et des efforts de traction dans des câbles de retenue amarrés sur des massifs d'ancrages, excepté pour les ouvrages dits « auto- ancrés » où les câbles sont amarrés sur le tablier.

Ponts haubanés :

Les ponts à haubans se présentent sous la forme d'une structure comportant un tablier en acier ou en béton et des organes porteurs : pylônes, en acier ou en béton, travaillant en compression, et câbles inclinés, appelés haubans, travaillant à la traction.

Les ponts à haubans sont principalement différenciés selon leur nombre de pylônes.

On distingue ainsi les ponts symétriques à trois travées, les ponts à pylônes uniques et les ponts à travées haubanées multiples. La première famille est la plus nombreuse. Dans de tels ponts les haubans les plus proches des culées sont appelés haubans de retenue. Ils donnent à l'ouvrage l'essentiel de sa rigidité. Dans le cas des ouvrages à pylônes uniques, celui-ci peut être central, encadré par deux travées d'égale longueur, ou bien en position décalée. L'ouvrage peut être entouré ou non de viaducs d'accès.

XI.3.3 Classification selon la nature

Ponts fixes

Les ponts fixes comprennent tous les ouvrages dont l'élément porteur, et en particulier le tablier, est fixe.

Ponts mobiles

Un pont mobile est un pont dont le tablier est mobile en partie ou en totalité. Lorsque la hauteur du gabarit de navigation est importante (zones portuaires, canaux à grand gabarit)

II.3.3.3. Ponts provisoires

Un pont provisoire permet d'apporter une solution temporaire de franchissement d'un cours d'eau ou à la dénivellation d'un carrefour, relativement utilisé dans le domaine du génie militaire.

XI.3.4 Classification selon la brèche franchie

Viaduc

Un viaduc est un ouvrage d'art routier ou ferroviaire qui franchit une vallée, une rivière, un bras de mer ou tout autre obstacle et qui présente une hauteur ou une longueur, parfois les deux, plus grande que celle qu'exigerait la seule traversée de la rivière ou de la voie à franchir.

Nature de la brèche

Un pont est dit terrestre lorsque le pont franchit une rivière, une voie navigable ou tout autre espace terrestre. Il est dit maritime lorsque l'ouvrage franchit un bras de mer.

XI.4 Les croisements avec la route :

Dans notre projet, plusieurs croisements entre la voie ferrée et les routes ont été identifiés. Le choix du type de croisement dépend principalement de la vitesse du train, du trafic routier et de la topographie locale. On distingue trois types de solutions :

- **Passage supérieur (pont-route)** : recommandé lorsque la vitesse dépasse 100 km/h et que les conditions topographiques le permettent.
- **Passage inférieur (pont-rail)** : moins fréquent, envisagé uniquement en cas de contraintes topographiques spécifiques

Tableau XI-1: Liste des ouvrages d'art/passage à niveau pour notre projet

Type de passage	Localisation
Pont rail	74+175
Pont route	77+700
Pont rail	79+350
Pont route	81+260
Pont route	84+050
Pont route	84+685

XI.4.1 Rôle des ouvrages d'art dans la conception ferroviaire

Les ouvrages d'art assurent la **co**ntinuité du tracé ferroviaire tout en franchissant les obstacles naturels ou construits. Ils permettent de :

- Maintenir la géométrie optimale de la voie.
- Réduire les détours et remblais importants.
- Garantir la sécurité des usagers en évitant les croisements dangereux.
- Adapter la ligne à la morphologie du terrain.

Dans notre tronçon, leur intégration a permis de conserver un tracé performant malgré une topographie relativement variée.

XI.4.2 Choix des solutions techniques

Chaque croisement a été étudié individuellement, en tenant compte de :

- La vitesse maximale autorisée sur le tronçon.
- Le trafic routier existant et prévu.

- La configuration du terrain.
- Les contraintes techniques et économiques.

Ces éléments ont orienté le choix entre un pont-rail, un pont-route ou, exceptionnellement, un passage à niveau. La solution la plus sûre et la plus durable a été retenue dans chaque cas.

XI.4.3 Ouvrages hydrauliques (transition)

Bien que détaillés dans un autre chapitre, il convient de rappeler ici que les dalots et autres ouvrages de drainage sont aussi des ouvrages d'art essentiels. Ils assurent la protection de la voie contre l'eau et les inondations en assurant un écoulement contrôlé sous la plateforme ferroviaire.

XI.4.4 Normes et prescriptions techniques

Les ouvrages d'art de notre projet ont été conçus selon :

- Les normes UIC (Union Internationale des Chemins de Fer),
- Les prescriptions techniques de la SNTF (adaptées au contexte algérien),
- Et, le cas échéant, les Eurocodes pour le dimensionnement structurel.

Ces normes garantissent la sécurité, la durabilité, et la compatibilité des structures avec les exigences du réseau ferroviaire moderne.

XI.5 Conclusion :

En terminant ce chapitre, nous réaffirmons l'importance capitale des ouvrages d'art dans le succès d'un projet ferroviaire. Ces structures assurent :

- La fluidité du tracé,
- La sécurité des infrastructures,
- Et la protection contre les contraintes naturelles et anthropiques.

La réalisation de ces ouvrages exige une coordination étroite entre ingénieurs civils, topographes, spécialistes en hydrauliques et en infrastructures.
En investissant dans des ouvrages d'art bien conçus, nous assurons un réseau ferroviaire performant, durable et sûr, répondant aux enjeux de mobilité et de développement du territoire.

Chapitre XII :

Conception de la gare CHAHBOUNIA

XII Chapitre XII : Conception de la gare CHAHBOUNIA :

XII.1 Introduction :

Tout projet de transport ferroviaire doit prévoir l'aménagement d'une ou plusieurs gares. La gare ferroviaire est le lieu d'arrêt des trains et comprend plusieurs installations essentielles pour le bon fonctionnement du transport ferroviaire.

La gare ferroviaire a une double fonctionnalité :

- Permet la montée et la descente des voyageurs.

- Permet chargement et le déchargement des marchandises.

Elle assure également des fonctions de sécurité dans la circulation des trains, telles que la signalisation, les dispositifs de sécurité et les systèmes de communication.

Dans le cadre de ce chapitre, nous allons fournir une description détaillée de la fonctionnalité de la gare ferroviaire, ainsi qu'une conception des voies et des quais de la nouvelle gare de CHAHBOUNIA. Cette gare sera équipée de systèmes sophistiqués de signalisation et de communication pour garantir une performance optimale et une sécurité maximale.

XII.2 Etude du plan de masse d'une gare :

La conception de la gare s'effectue en tenant compte des fonctions de toutes les installations de base qui la constituent.

Dans ce stade (03) éléments sont nécessaires pour l'étude du plan de masse :

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

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

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

XII.3 Aménagement de la gare :

Une gare ferroviaire comprend diverses installations et constructions en fonction de son type, de sa conception et de sa catégorie. Voici quelques-unes des installations les plus courantes :

XII.3.1 Installations d'une gare à voyageur :

Le bâtiment de voyageurs (B.V) :

C'est un espace réservé aux voyageurs dans lequel on peut trouver une salle d'attente, guichet de billet, poste de sécurité, kiosque...etc.

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

Qui comprennent des locaux de service exclusivement réservés aux agents du chemin de fer, tels que cabine de signalisation, magasin, magasin des coulis, bureaux….

Quais :

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

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

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

XII.3.2 Garage franc :

Le garage franc désigne une portion de voie où un train peut être stationné sans empiéter sur les gabarits de sécurité et sans obstruer le passage des autres trains sur les voies adjacentes. Le garage franc est essentiel pour permettre des manœuvres sécurisées, le stationnement temporaire de trains et pour maintenir la fluidité du trafic ferroviaire.

- La distance de garage franc noté GF en mètre est défini par la formule suivante :

$$GF = 3.57.\ n + 1m$$

Tel que : $n = 1/\tan\alpha$ varie selon le type de l'appareil de voie choisie.

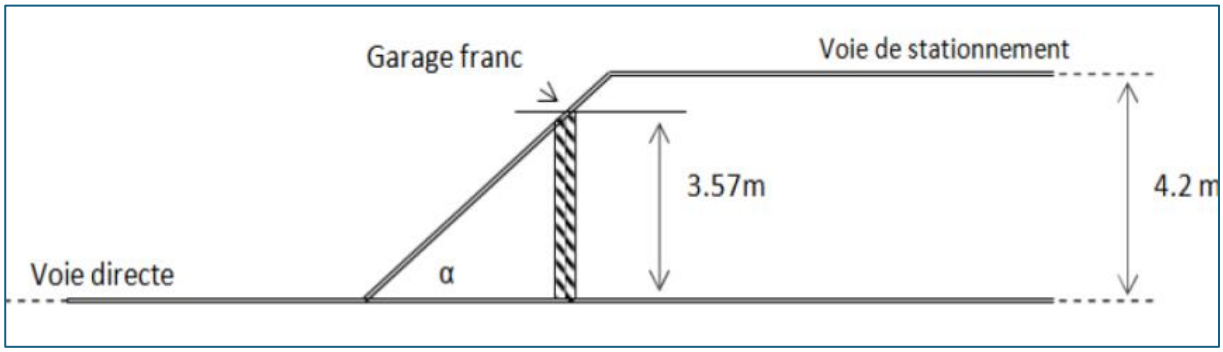


Figure XII-1 : Schéma illustratif d'un garage franc

XII.3.3 Heurtoir :

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



Figure XII-2Photo représentative d'un heurtoir.

XII.4 Caractéristiques géométriques des gares :

XII.4.1 Quai

1. La longueur de quai (normes SNTF) :

- Grande ligne 450 m.

- Service régional 350 m.

- Banlieue 225 m.

2. La largeur des quais :

La SNTF recommande pour une telle gare

- Quai intermédiaire B > 8 m

- Quai extérieur B ≥ 6m

3. Hauteur des quais :

La hauteur du bord du quai devra être de 350, 550 ou de 760 mm au-dessus de la surface de roulement, et cela selon le type du matériel roulant qui est susceptible de s'arrêter dans ce quai.

4. La distance à l'axe de la voie :

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

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

La valeur de S est donnée par la formule : S (mm)= (3750/R) + ((I-1435)/2)

- R : le rayon de la voie (m).

- I : l'écartement de la voie (mm).

5. L'entre axe des quais :

- e normal > 11.3 m.

- e minimal > 9.3 m.

XII.4.2 L'appareil de voie :

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

- Conditions générales :

Les appareils de voie ainsi que les communications seront implantés en déclivité constante. De plus, dans les zones proches d'un ouvrage d'art, les appareils de voie devront être positionnés à des distances minimales dépendantes de la longueur L de cet ouvrage.

Tableau XII-1Longueurs minimal de tracé

L min	Longueur de l'appareil
≥20m	L≤30m
≥50m	30m≤L≤90m
≥50m	L>90 m depuis le côté opposé à l'appareil de dilatation

Si la longueur L de l'ouvrage d'art nécessite la présence d'un appareil de dilatation, l'appareil de voie devra être implanté à une distance minimale de 100 mètres à partir de l'extrémité de cet ouvrage.

Règles d'implantation :

L'implantation des appareils de voie doit être réalisée en respectant certaines règles et contraintes pour garantir la sécurité et la fluidité du trafic ferroviaire :

Dans le cas normal sans contraintes :

-La distance minimale recommandée entre la fin de quai et le garage franc est de 130 mètres.

-L'appareil de voie doit être implanté en alignement droit, en suivant la courbure de l'alignement horizontal.

Dans le cas où il y a des contraintes, telles que la nécessité de disposer d'un appareil de protection :

-La distance minimale entre la fin de quai et l'appareil doit être supérieure ou égale à 80 mètres.

-La distance entre l'appareil de voie et une courbe doit être d'au moins 6 mètres.

-Des rampes de dévers droit sans doucine doivent être prévues pour garantir la sécurité du trafic ferroviaire.

XII.4.3 La longueur utile d'une voie de stationnement :

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

XII.4.4 Déclivité dans les gares :

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

XII.5 Application Au Projet

La gare de chahbounia située au fin de mon projet, est en effet une gare intermédiaire conçue comme gare voyageurs composée de trois voies de quai. Les voies A (voie principale), B et 4 sont destinées à recevoir des trains d'une longueur maximale de 750m dont des séparations par des quais intermédiaires de 8m de large et de 300 m de long sont préconisées. Cette gare intermédiaire sera caractérisée par un trafic voyageur moyen.

- La longueur du quai :

Pour notre gare on prend 300 m comme longueur des quais.

- Largeur des quais :

On prend B= 6 m pour les quais extérieurs, et 8 m pour les quais intermédiaires.

- Hauteur des quais :

On prend pour notre cas h= 55 cm.

- Entre–axe des quais :

On prend : e= 15.3 m (entre quai A et B).

- La distance à l'axe de la voie :

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

- La longueur utile d'une voie de stationnement :

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

• Voie A est de 1460 m

• Voie B : Lu=1200 m

• Voie 4 : Lu=1150m (voie de service)

- Longueur de garage de franc :

Pour UIC 60 500 1/12 : GF = (3.57× 12)+1 = 43.84m.

Pour UIC 60 300 1/9 : GF = (3.57× 9)+1 = 33.13 m.

D'où la distance de garage franc est de 43.84m à partir le croisement de l'appareil de voie.

-Entraxe : Entre-axes dans la présente gare CHAHBOUNIA a été considéré les entre-axes suivants VA-VB : 5m

VB-V4 : 11.3 m

Tableau XII-2 Quantité d'appareil de notre projet

Nbr	TYPE D'APPAREIL
02	60 500 1/12 DD
02	60 500 1/12 DG
01	60 190 1/9 DD
01	60 190 1/9 DG

XII.6 Assainissement dans les gares :

XII.6.1 Assainissement transversale :

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

XII.6.2 Assainissement longitudinal :

Les drains disposés longitudinalement avec des pentes de 4‰ permettent de recueillir les eaux de ruissellement qui s'infiltrent dans le ballast et la plate-forme et les évacuer vers le réseau d'assainissement via les regards de visite.

XII.7 Conclusion :

L'aménagement de la gare de CHAHBOUNIA a été conçu de façon a répondre aux besoin socio-économique de la région.

Chapitre XIII :
Signalisation ferroviaire

XIII Chapitre XIII : Signalisation ferroviaire :

XIII.1 Introduction :

Dès la mise en service des premiers trains, il est rapidement devenu évident qu'il était indispensable d'installer des signaux le long des voies. Ces signaux constituaient le seul moyen permettant au conducteur de connaître son environnement : localiser la position du train qui le précède, savoir précisément où s'arrêter, et connaître la vitesse à respecter. Ainsi, la signalisation s'est imposée comme un élément fondamental de la sécurité ferroviaire.

XIII.2 Les principaux risques ferroviaires et le rôle de la signalisation

La signalisation ferroviaire constitue un outil essentiel pour transmettre des instructions au conducteur. Son principal objectif est d'assurer la sécurité du trafic ferroviaire en permettant d'éviter plusieurs types de risques :

XIII.2.1 Risques liés à la circulation des trains :

Collision frontale (nez à nez) : lorsqu'un train se retrouve face à un autre sur la même voie.

Collision par rattrapage : lorsqu'un train percute l'arrière d'un autre train circulant devant lui.

XIII.2.2 Risques de déraillement :

Généralement causés par une vitesse excessive dans les courbes, au niveau des aiguillages ou dans les zones de travaux. La signalisation permet d'imposer des limitations de vitesse adaptées à ces situations.

XIII.2.3 Risques au niveau des passages à niveau :

Où la coordination entre la route et le rail est primordiale pour éviter les accidents.

XIII.2.4 Risques liés au freinage insuffisant :

Pour permettre au conducteur de s'arrêter en toute sécurité, la signalisation prévoit des dispositifs adaptés :

Signaux d'annonce d'arrêt

Signaux de ralentissement et de rappel indiquant une réduction de vitesse nécessaire, notamment à l'approche d'un aiguillage, à l'entrée d'une gare ou dans une zone de travaux.

Enfin, la signalisation ne sert pas uniquement à garantir la sécurité : elle permet également d'optimiser le flux de circulation des trains et d'augmenter la capacité d'une ligne ferroviaire en assurant une meilleure régulation du trafic.

XIII.3 Implantation des signaux en Algérie :

Les signaux ferroviaires se partage en deux catégories sont les feux et les panneaux, ces derniers sont implantés généralement à gauche de la voie car les trains circulent à gauche sauf dans le cas où le positionnement n'est pas possible.

Chapitre XIII : Signalisation ferroviaire

XIII.4 Principe de la signalisation ferroviaire :

XIII.4.1 Signalisation classique :

Dans la signalisation classique, la voie ferrée est divisée en plusieurs sections appelées cantons. Un canton est une portion de voie alimentée électriquement, qui constitue l'unité de base permettant d'assurer l'espacement sécurisé entre les trains, évitant ainsi les collisions par rattrapage.

Chaque canton est isolé électriquement des autres grâce à des joints isolants, et est protégé par un signal lumineux. Le système de cantonnement repose sur une règle essentielle : un seul train peut occuper un canton à la fois.

Lorsque qu'un train entre dans un canton, ses essieux provoquent un court-circuit électrique entre les deux rails, ce qui a pour effet de fermer le signal à l'entrée du canton et d'afficher un feu rouge, interdisant l'accès à tout autre train.

Au fur et à mesure de l'avancement du train :

Le signal du canton qu'il quitte passe à l'orange (signal d'avertissement),

Puis, une fois le train encore plus éloigné, ce même signal passe au vert, indiquant que la voie est libre.

Ce système fonctionne automatiquement, sans intervention humaine : c'est le train lui-même qui gère sa propre protection, grâce aux dispositifs de signalisation implantés le long de la voie.

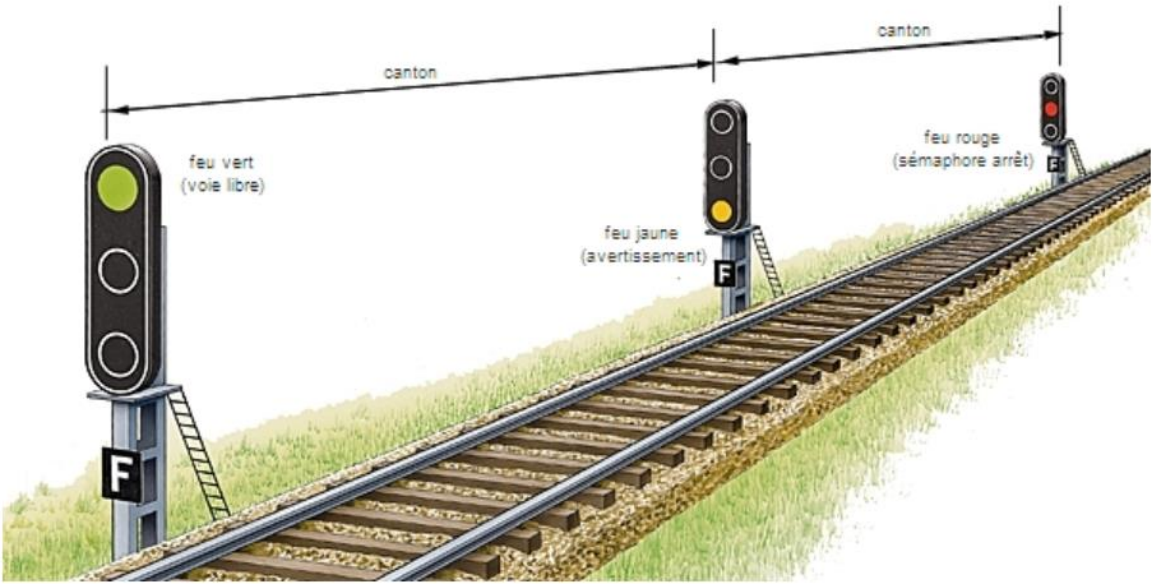


Figure XIII-1 Block automatique lumineux servant au cantonnement des trains.

Chapitre XIII : Signalisation ferroviaire

XIII.5 Les différents systèmes de signalisation ferroviaire (Les Blocks)

Pour gérer la circulation des trains et assurer la sécurité sur les voies, plusieurs types de systèmes appelés « blocks » sont utilisés, selon l'importance de la ligne. On distingue trois principaux types de blocks :

XIII.5.1 1. Le Block Manuel (B.M.)

Ce système est utilisé sur les lignes à faible fréquentation.
- Fonctionnement manuel : la régulation est assurée par des opérateurs.
- Peu de signaux implantés.
- Installations simples et économiques.
- Inconvénient : ne permet pas un débit élevé de trains, donc peu adapté aux lignes à forte densité.

XIII.5.2 2. Le Block Automatique à Permissivité Restreinte (B.A.P.R.)

Destiné aux lignes à trafic modéré, ce système est automatisé.
- Les cantons sont longs (plusieurs kilomètres).
- Moins de signaux sont nécessaires, ce qui réduit les coûts.
- Meilleure sécurité que le block manuel, car il réduit les risques d'erreur humaine.
- Limite : le débit reste limité, ce système ne convient pas aux lignes très fréquentées.

XIII.5.3 3. Le Block Automatique Lumineux (B.A.L.)

C'est le système le plus performant, utilisé sur les lignes principales à fort trafic.
- Totalement automatique et basé sur des signaux lumineux.
- Permet un espacement réduit entre les trains, ce qui augmente la capacité de la ligne.
- Autorise le franchissement en marche à vue des signaux fermés dans certaines conditions.
- Idéal pour optimiser les circulations et augmenter le débit.

XIII.5.4 Conclusion

Chaque système de signalisation répond à un besoin précis :
- Le Block Manuel pour les lignes peu utilisées.
- Le B.A.P.R. comme solution intermédiaire entre coût et sécurité.
- Le B.A.L. pour les grandes lignes nécessitant un haut débit et une sécurité maximale.

XIII.6 Les principaux signaux ferroviaires et leur signification

La signalisation ferroviaire se compose de plusieurs types de signaux ayant chacun un rôle spécifique dans la gestion du trafic et la sécurité des circulations :

Signaux d'indication de marche : Ils informent le conducteur sur la possibilité ou non de poursuivre sa marche.

Signaux d'arrêt : Ils imposent un arrêt immédiat du train.

Signaux d'annonce d'arrêt : Ils avertissent à l'avance le conducteur qu'un signal d'arrêt sera rencontré plus loin.

Signaux de limitation de vitesse : Ils indiquent la vitesse maximale autorisée sur certaines sections de voie.

En complément, d'autres signaux viennent affiner les indications données :

Signaux indicateurs de direction : Ils précisent la direction que prendra le train à un aiguillage.

Signaux de départ des trains : Ils autorisent le départ d'un train depuis une gare.

Pancartes et tableaux divers : Ils fournissent des informations supplémentaires (vitesse, nom de gare, fin de section, etc.).

Signaux de sortie de faisceaux ou de groupes de voies : Utilisés pour organiser les circulations sortantes dans les zones de triage ou les bifurcations.

Un tableau récapitulatif de ces signaux et de leur signification est présenté dans l'annexe de ce chapitre.

Vers une signalisation plus moderne

Les systèmes de signalisation dits "classiques" ont représenté une avancée majeure lors de leur mise en place il y a près de 80 ans. Cependant, avec l'évolution croissante du trafic ferroviaire et la nécessité de faire circuler un plus grand nombre de trains, ces systèmes ne répondent plus aux exigences actuelles.

Pour faire face à cette nouvelle réalité, la **SNTF** prévoit d'adopter le système **ERTMS (European Rail Traffic Management System)**. Ce système moderne vise à :

améliorer la performance globale du réseau,

optimiser l'espacement entre les trains,

et augmenter la capacité de circulation, tout en garantissant un haut niveau de sécurité.

XIII.6.1 Définition du système ERTMS :

European Railways Traffic Management System signifie en Français système européen de la gestion de la circulation ferroviaire, est un système de signalisation ferroviaire numérique qui a été mis en place pour harmoniser et standardiser les systèmes de signalisation et de contrôle des trains à travers l'Europe.

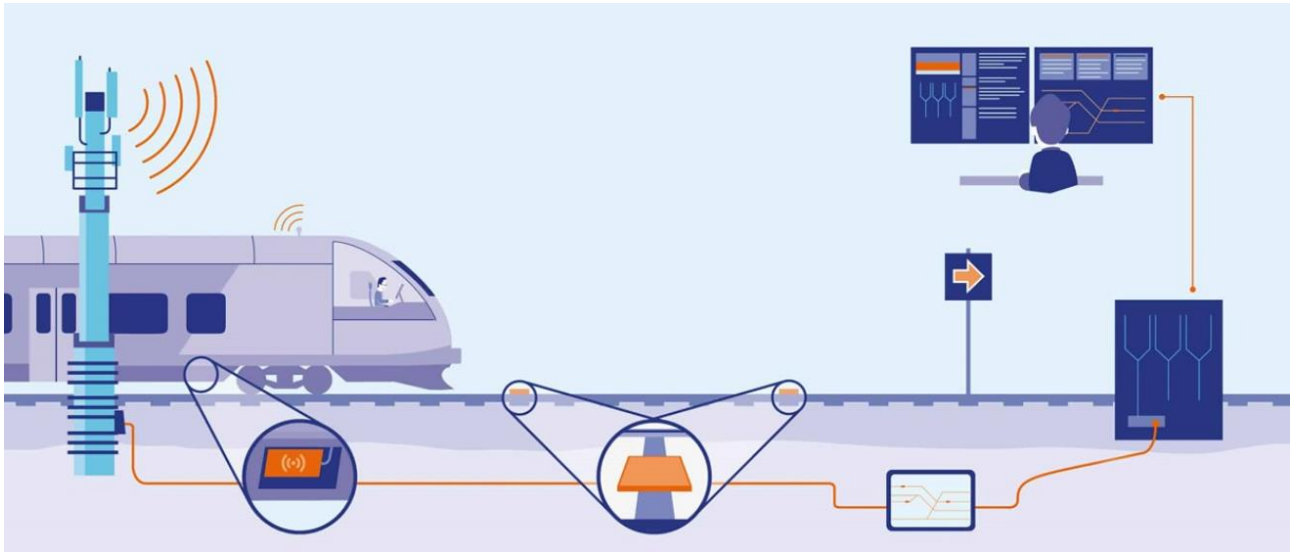


Figure XIII-2le système de contrôle des trains ERTMS

XIII.6.2 Fonctionnement d'ERTMS :

Avec l'ERTMS, des balises au sol communiquent avec un système embarqué dans le train. Contrairement aux versions précédentes, l'ERTMS permet de transmettre en continu, via une antenne, la position et la vitesse du train à tout instant.
Grâce à ce système, les informations relatives à l'accélération, au ralentissement et à l'arrêt sont transmises en temps réel directement au conducteur. Celui-ci peut ainsi ajuster sa conduite à tout moment, ce qui permet de circuler plus rapidement et de réduire les distances entre les trains. Cela augmente le nombre de trains pouvant circuler par heure tout en assurant un trafic plus fluide.
Remarque : Dans la nouvelle ligne Tissemsilt –Boughezoul Le type de système de signalisation choisi par le maitre d'ouvrage est ERTMS.

Tableau XIII-1 Les principaux signaux ferroviaires et leur indication

Feu rouge clignotant	Marche sans dépasser la vitesse de 15 km/hau franchissement de ce signal		
Feu blanc	Il commande ou confirme au conducteurl'observation de la marche en manœuvre		
Feu blanc clignotant	Il interdit dans tous les cas le départ en ligne d'un train		
Les feux de heurtoir	Ils servent à repérer de nuit, ou en gare, les heurtoirs de fin de voie		
L'avertissement /feu jaune	Il commande au mécanicien de pouvoir s'arrêter avant les signaux suivants : Carré, sémaphore, carré violet, un rougeclignotant		
Le feu jaune Clignotant (A)	Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal annoncéà distance réduite par le signal suivant.		
Le disque D	Il commande au mécanicien de marquer l'arrêt au premier signal ou aiguillage rencontré		

Chapitre XIII : Signalisation ferroviaire

Le ralentissement60	Le ralentissement 60 pour annonce une aiguille (ou plusieurs) en position "voie déviée" à passer à une vitesse maximale de60km/h.		
Le rappel de ralentissements 60			

Plaque d'identification	Indication
Z	La pancarte indique une zone à vitesse limitée (Zone d'action).
80	Le TIV fixe indique la vitesse à respecter à distance.
R	La pancarte indique la sortie de la zone à vitesse limitée (Reprise de vitesse).
TT	La pancarte indique le point d'arrêt des trains sur le quai concerné(Tête de Train).
⊓	Cette pancarte pour annonce une zone à gabarit limite (pont, tunnel).
D	Le tableau indique que le train est dirigé vers un dépôt.

Chapitre XIII : Signalisation ferroviaire

Signal	Indication	Signalisation Lumineuse	Signalisation Mécanique
Signal ouvert Voielibre	Le Voie Libre indiqueau conducteur que lacirculation en marchenormale est autorisée		
Le feu vert Clignotant(VL)	Il commande au Mécanicien de réduire lavitesse à 160 km/h		
Carré fermé + feux Denuit	Le carré commande l'arrêt et ne doit enaucun cas être franchi.		
Feu violet ouCarréViolet fermé + feude Nuit	Commande l'arrêt, il estinstallé sur lesvoies de service, son ouverture seule.		
Guidon d'arrêt			
Sémaphore /Feux rouge	Il commande au mécanicien de s'arrêteravant le signal		

XIII.7 Conclusion :

Avec l'avènement d'outils informatiques de plus en plus performants, le domaine de la signalisation ferroviaire a connu un important développement ces dernières années, contribuant significativement à la réduction des accidents et à la facilitation de la circulation du matériel roulant.

Chapitre XIV :
Etude d'impact sur l'environnement

XIV Chapitre XIV : Etude d'impact sur l'environnement

XIV.1 Introduction

Le présent chapitre a pour objectif d'identifier les impacts environnementaux potentiels de la section du tracé située entre le PK 72+200 et le PK 86+000 du projet de la nouvelle ligne ferroviaire reliant Tissemsilt à Boughezoul. Cette portion du tracé traverse principalement une plaine occupée par des terres agricoles, ce qui confère à la zone une sensibilité particulière en matière d'usage du sol et de préservation des ressources naturelles.

L'analyse s'articule autour de quatre axes principaux :

1. **Le cadre réglementaire de l'étude d'impact sur l'environnement**, qui présente les textes législatifs et réglementaires applicables à ce type de projet, ainsi que les obligations en matière d'évaluation environnementale.
2. **L'identification des contraintes environnementales**, à travers une description du milieu naturel, humain et socio-économique traversé par la section concernée.
3. **L'identification et l'évaluation des impacts environnementaux**, en mettant en évidence les effets potentiels du projet sur les différentes composantes de l'environnement.
4. **Les mesures réductrices et compensatoires** visant à prévenir, atténuer ou compenser les effets négatifs identifiés.

Ce chapitre constitue ainsi une étape essentielle pour assurer une intégration harmonieuse du projet dans son environnement.

XIV.2 Cadre règlementaire de l'étude d'impact sur l'environnement

- Loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable

Cette loi constitue la base juridique de la politique environnementale en Algérie. Elle établit les principes fondamentaux de la protection de l'environnement, tels que la prévention des pollutions, la préservation de la biodiversité et l'intégration des préoccupations environnementales dans les politiques sectorielles. Elle rend obligatoire la réalisation d'études d'impact pour les projets susceptibles d'affecter l'environnement.

- Décret exécutif n° 07-145 du 19 mai 2007

Ce décret précise le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et notices d'impact sur l'environnement. Il définit les projets soumis à EIE ou à notice d'impact, les procédures d'élaboration, d'évaluation et d'approbation de ces études, ainsi que les responsabilités des porteurs de projets et des autorités compétentes.

- Décret exécutif n° 18-255 du 9 octobre 2018

Ce décret modifie et complète le décret n° 07-145 en apportant des précisions sur le champ d'application des EIE, le contenu des études et les modalités d'approbation. Il vise à renforcer l'efficacité du processus d'évaluation environnementale et à assurer une meilleure prise en compte des enjeux environnementaux dans les projets de développement.

Chapitre XIV : Etude d'impact sur l'environnement

- Décret exécutif n° 19-241 du 8 septembre 2019

Ce décret complète les dispositions du décret n° 07-145 en actualisant la liste des projets soumis à EIE ou à notice d'impact, en fonction de l'évolution des activités économiques et des préoccupations environnementales.
Ces textes forment un cadre réglementaire cohérent et évolutif, garantissant que les projets de développement, soient conçus et réalisés dans le respect de l'environnement.

XIV.3 Identification des contraintes environnementales

L'étude du tracé ferroviaire entre le PK 72+200 et le PK 86+000 a permis de mettre en évidence plusieurs contraintes majeures, liées à la fois aux caractéristiques naturelles du terrain et aux infrastructures existantes. Parmi les principaux obstacles identifiés figurent la traversée de routes classées (telles que la CW 84 ou la RN 40), la présence d'oueds, de conduites de gaz, de lignes électriques moyenne tension, ainsi que de zones habitées.
Chacune de ces contraintes représente un défi technique et économique significatif. Ainsi, les oueds nécessitent la mise en œuvre d'ouvrages hydrauliques appropriés afin d'assurer la sécurité et la pérennité de la ligne. La traversée des routes classées implique la construction d'ouvrages d'art pour maintenir la continuité du réseau routier. Quant aux conduites de gaz et aux lignes électriques, elles requièrent des études techniques spécifiques en concertation avec les organismes gestionnaires.
Le tableau ci-après présente une synthèse de ces contraintes, en précisant leur localisation approximative, leur nature, ainsi qu'un résumé de leurs impacts potentiels sur la réalisation du projet.

Tableau XIV-1: liste des contraintes

Localisation (pk)		Type de contraintes	Description et l'impact potentiel
PK début	PK Fin		
PK 074+560		ROUTE	□ Interruption temporaire de la circulation durant les travaux. Nécessité d'aménagements (passages à niveau, ponts routiers ou déviations). □ Perturbation du trafic local, augmentation du temps de parcours, risques d'accidents accrus en l'absence de sécurisation adéquate.
PK 079+430		ROUTE (CW 84)	
PK 080+540		ROUTE	
PK 083+350		ROUTE	
PK 083+700		ROUTE (RN40)	
PK 084+700		ROUTE	
PK 085+200		ROUTE	
PK 085+800		ROUTE	
PK 072+550		PISTE	□ Interruption temporaire de la circulation durant les travaux. Nécessité d'aménagements (passages à niveau, ponts routiers ou déviations). □ Perturbation du trafic local, augmentation du temps de parcours, risques d'accidents accrus en l'absence de sécurisation adéquate.
PK 073+230		PISTE	
PK 076+250		PISTE	
PK 076+650		PISTE	
PK 077+010		PISTE	
PK 078+300		PISTE	
PK 078+450		PISTE	
PK 081+725		PISTE	
PK 081+900		PISTE	
PK 082+080		PISTE	

PK 082+925		PISTE	
PK 084+200		PISTE	
PK 075+750		CONDUIT DE GAZE	□ Risque d'endommagement pendant les terrassements. Besoin de déviation ou de renforcement des protections. □ Suspension temporaire des services, risque pour la sécurité des biens et personnes, coût supplémentaire lié aux adaptations.
PK 079+480		CONDUIT DE GAZE	
PK 076+400		OUED	□ Risque de modification de l'écoulement naturel, obstruction du lit mineur ou majeur. □ Inondations en période de crue, érosion des berges, perturbation du régime hydrologique.
PK 077+100		OUED	
PK 084+320		OUED	
PK 078+850		LIGNE ÉLÉC MT	□ Risque de coupures ou de danger pour les ouvriers. Nécessité de déviation ou rehaussement des lignes. □ Suspension temporaire des services, risque pour la sécurité des biens et personnes, coût supplémentaire lié aux adaptations.
PK 084+650		LIGNE ÉLÉC MT	
PK 079+100	PK 079+180	SEDRA	□ Déboisement, destruction de la couverture végétale, fragmentation des parcelles agricoles. □ Perte de biodiversité locale, réduction des surfaces cultivables, baisse de rendement agricole.
PK 082+425	PK 082+575	OLIVIER	
PK 084+000	PK 084+100	HABITATION	□ Proximité du tracé peut entraîner des nuisances (bruit, vibration), expropriations, ou destruction de bâtiments. □ Déplacement involontaire des populations, conflit foncier potentiel, perte de cadre de vie.
PK 084+250	PK 084+300	HABITATION	

XIV.4 Identification et évaluation des impacts environnementaux

L'analyse des impacts environnementaux a été menée en tenant compte des phases de réalisation du projet (préparation, construction et exploitation). Les principaux impacts identifiés sur la section comprise entre le PK 72+200 et le PK 86+000 sont les suivants :

a) Impacts sur les infrastructures routières et pistes

- **Phase de travaux** : coupure temporaire de la circulation sur les routes et pistes croisées, augmentation des risques d'accident et de congestion.
- **Phase d'exploitation** : modification des conditions de franchissement nécessitant des aménagements permanents (passages à niveau, ouvrages d'art).

b) Impacts sur les oueds

- Risques d'obstruction du lit naturel des cours d'eau durant les travaux.
- Modification potentielle des régimes hydrologiques, notamment en cas de mauvaise gestion des ouvrages de franchissement.

- Risques accrus d'inondation en période de crue si les ouvrages sont insuffisamment dimensionnés.

c) Impacts sur les réseaux divers (gaz, électricité)

- **Phase de travaux** : risque d'endommagement des réseaux souterrains ou aériens, pouvant entraîner des interruptions de service et des incidents de sécurité.
- Nécessité de coordination étroite avec les gestionnaires des réseaux pour les éventuelles déviations ou protections spécifiques.

d) Impacts sur les habitations

- Risques de nuisances sonores et vibratoires pendant les travaux.
- En phase d'exploitation : bruit généré par les circulations ferroviaires, avec impact potentiel sur la qualité de vie des riverains.
- Risque de déplacements forcés ou d'expropriations, générant des tensions sociales.

e) Impacts sur le couvert végétal et les terres agricoles

- Destructions localisées de zones cultivées (vergers, cultures annuelles).
- Fragmentation des parcelles agricoles, entravant leur exploitation.
- Perte de productivité des terres du fait de la suppression ou limitation d'accès aux parcelles.

f) Impacts transversaux

- Génération de déchets de chantier, de poussières, et d'émissions de gaz à effet de serre (engins de chantier).
- Risques d'érosion et de modification des sols en l'absence de gestion adéquate des talus et remblais.
- Augmentation du trafic des poids lourds dans la zone, avec des impacts potentiels sur la sécurité et la pollution locale.

XIV.5 Mesures réductrices et compensatoires

Afin de limiter les impacts identifiés, plusieurs mesures seront mises en œuvre à différents niveaux :

a) Mesures techniques

- Construction d'ouvrages d'art adaptés pour le franchissement des routes et oueds.
- Protection et/ou déviation des réseaux sensibles (gaz, électricité) selon les normes en vigueur.
- Mise en œuvre de dispositifs de drainage pour éviter les stagnations d'eau ou les inondations.

b) Mesures environnementales

- Limitation de l'emprise temporaire du chantier pour préserver un maximum de terres agricoles.
- Reboisement ou compensation végétale des zones déboisées.

- Restauration des terres agricoles endommagées (nivellement, décompactage, fertilisation).

c) Mesures de gestion de chantier

- Arrosage régulier pour limiter la poussière.
- Gestion des déchets selon la réglementation en vigueur.
- Plan de circulation temporaire pour réduire les perturbations sur les axes routiers.

d) Mesures sociales

- Indemnisation des propriétaires concernés par les expropriations ou pertes agricoles.
- Mise en place de protections acoustiques à proximité des zones habitées, si nécessaire.
- Information et sensibilisation des populations locales avant et pendant les travaux.

XIV.6 Conclusion :

La section du tracé ferroviaire entre le PK 72+200 et le PK 86+000 traverse une zone agricole sensible, avec la présence d'infrastructures routières, de réseaux techniques, d'oueds et de zones habitées. Le projet présente des impacts environnementaux réels, mais maîtrisables, à condition de mettre en œuvre un ensemble cohérent de mesures techniques, environnementales et sociales.

L'évaluation réalisée permet de conclure que, sous réserve de l'application stricte des mesures proposées, le projet est compatible avec les exigences de préservation de l'environnement et de développement durable. Il conviendra d'assurer un suivi environnemental rigoureux tout au long de la mise en œuvre du projet.

Chapitre XV : Devis quantitatif estimatif

XV Chapitre XV : Devis quantitatif et estimatif

Le tableau ci-dessous détaille les quantités, les unités de mesure et les coûts unitaires et totaux prévisionnels pour chaque poste de travaux.

Tableau XV-1 devis quantitatif estimatif

Lot.N°	Désignations	Unité	Prix unitaire	Quantité	Montant
1. ETUDE D'EXECUTION ET INSTALLATION DE CHANTIER :					
1-1	Etude d'exécution	F	130 000 000,00	1,00	130 000 000,00
1-2	Installation générale de chantier	F	488 146 705,37	1,00	488 146 705,37
Coût total installation de chantier et études d'exécution (DZD)					618 146 705,37
2. TERRASSEMENT :					
2-1	Décapage de terre végétale	M^3	390,00	66 875,23	26 081 339,70
2-2	Déblais	M^3	500,00	22 569,21	11 284 605,00
2-3	Rmblais	M^3	600,00	455 932,61	273 559 566,00
Coût total des terrassements (DZD)					310 925 510,70
3. TRAVAUX DE LA VOIE :					
3-1	Fourniture des rails UIC 60 E	T	173 250,00	1 665,38	288 527 778,00
3-2	Pose de voie	ML	1 988,00	13 800,00	27 434 400,00
3-3	Fourniture des traverses bi-bloc en béton armé (VAX U31)	U	9 256,00	23 020,00	213 073 120,00
3-4	Fourniture des attaches (Type NABLA)	U	1 200,00	46 040,00	55 248 000,00
3-5	Soudures aluminothermiques et électriques	U	20 806,00	767,00	15 958 202,00
Coût total de la voie (DZD)					600 241 500,00
4. COUCHE D'ASSISE FERROVIAIRE :					
4-1	F/P couche de forme	M^3	1 100,00	64 864,01	71 350 411,00
4-2	F/P couche de sous ballast	M^3	3 000,00	22 877,92	68 633 760,00
4-3	F/P couche de ballast	M^3	3 880,00	31 969,45	124 041 466,00
Coût total d'assise ferroviaire (DZD)					264 025 637,00

5. DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT :					
5-1	Fossés trapézoïdaux en béton armé	ML	6 200,00	27 600,00	171 120 000,00
5-2	Dalot en béton armé (1,5x1,5)	U	16 548,67	1,00	16 548,67
5-3	Dalot en béton armé (2,5x2,5)	U	19 143,42	1,00	19 143,42
5-4	Dalot en béton armé (2,5x2)	U	18 520,52	3,00	55 561,56
	Dalot en béton armé (2x2)	U	17 607,41	2,00	35 214,82
5-5	Buse en béton armé (1500mm)	U	36 224,00	53,00	1 919 872,00
Coût total de drainage et assainissement (DZD)					173 166 340,47
6. TRAVAUX DE LA GARE :					
6-1	Fourniture des rails UIC 60 E	T	173 250,00	238,60	41 337 450,00
6-2	Fourniture des traverses bi-bloc en béton armé (VAX U31)	U	9 256,00	3 920,00	36 283 520,00
6-3	Fourniture des attaches (Type NABLA)	U	1 200,00	7 840,00	9 408 000,00
6-4	Pose de voie	ML	1 988,00	2 350,00	4 671 800,00
6-5	Soudures aluminothermiques et électriques	U	20 806,00	131,00	2 725 586,00
6-6	Fourniture des adv UIC 60-500-1/12	U	15 899 976,16	4,00	63 599 904,64
6-7	Fourniture des adv UIC 60-190-1/9	U	7 841 980,00	2,00	15 683 960,00
6-8	Pose des adv UIC 60-500-1/12	U	412 933,00	4,00	1 651 732,00
6-9	Pose des adv UIC 60-190-1/9	U	206 216,00	2,00	412 432,00
6-10	Heurtoir	U	936 686,00	2,00	1 873 372,00
6-11	Traverses de garage franc	U	40 891,56	6,00	245 349,36
Coût total des travaux de la gare (DZD)					177 893 106,00
7. Traveaux de batiment voyageure :					
7-1	Batiment voyageurs	F	18 022 510,20	1,00	18 022 510,20
7-2	F/P des quais avec ces installations	U	19 417 281,00	2,00	38 834 562,00
7-3	Passage souterrain	F	10 417 281,00	1,00	10 417 281,00
7-4	Réalisation des travaux d'aménagement extérieur de la gare	F	83 803 927,00	1,00	83 803 927,00
Coût total des travaux de batiment voyageure (DZD)					151 078 280,20

Chapitre XV : Devis quantitatif et estimatif

8. OUVRAGES D'ART :					
8-1	Passage superieur	U	210 544 828,00	4,00	842 179 312,00
8-2	Pont rail	U	250 252 386,00	2,00	500 504 772,00
Coût total des ouvrages d'art (DZD)					1 342 684 084,00
Montant total du projet (Hors Tax) (DZD)					3 638 161 163,74
Montant de TVA (DZD)					691 250 621,11
Montant total du projet (TTC) (DZD)					4 329 411 784,85

Montant total en DA TTC :

Quatre milliards ***trois cent vingt-neuf millions quatre cent onze mille sept cent quatre-vingt-quatre.***

Conclusion Générale

Le développement des infrastructures de transport constitue un pilier fondamental dans toute politique d'aménagement du territoire. Parmi ces infrastructures, le transport ferroviaire s'impose aujourd'hui comme une réponse durable, économique et stratégique aux défis de mobilité, d'intégration régionale et de réduction de l'impact environnemental.

Le projet de la ligne ferroviaire à voie unique entre Tissemsilt et Boughezoul, notamment le tronçon entre les gares de Sidi Laadjel et Chahbounia, s'inscrit pleinement dans cette dynamique. Ce travail de fin d'études nous a permis de mobiliser l'ensemble des compétences acquises durant nos cinq années de formation, en les mettant en pratique à travers l'étude détaillée d'un projet réel : tracé en plan et profil, assise ferroviaire, terrassement, assainissement, ouvrages d'art, signalisation et étude d'impact environnemental.

Au-delà des aspects techniques, ce projet nous a appris à conjuguer les exigences des normes ferroviaires (UIC, SNTF, IN) avec les réalités du terrain, à gérer les contraintes géotechniques, environnementales et sociales, et à adopter des solutions optimales tant sur le plan technique qu'économique.

L'usage de logiciels professionnels tels que **AutoCAD, Excel, Talren v6, Civil 3D**, nous a permis de perfectionner notre approche analytique et numérique. Ce projet a été, pour nous, une réelle opportunité de développement personnel et professionnel, marquant une transition concrète entre la formation académique et la pratique d'ingénieur.

En conclusion, cette étude illustre l'importance capitale de l'ingénierie ferroviaire dans le développement intégré du pays, et renforce notre conviction quant à la place stratégique du rail dans l'Algérie de demain.

BIBLIOGRAPHIE

1. Les normes UIC (741). Quais des gares à voyageurs-Règles pour l'implantation desbordures des quais par rapport à la voie.
2. UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2ème Edition
3. UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 3ème Edition.
4. SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 2005.
5. SETIRAIL, « Rapport de l'étude géologique ».
6. SETIRAIL, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».
7. Sétra, Guide technique : Assainissement routier, Octobre 2006.
8. SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 7.2.2 : Ouvrages en terre pour plateformes ferroviaires.
9. SNTF, Fiche de normalisation : aménagement et gare, trace des voies, 3e édition, JUIN1985.
10. SNTF, signalisation et télécommunication, version 2.
11. Mémoires de voie ferrée école nationale des travaux publics.
12. Cours voie ferrée 5éme année .
13. Cours hydraulique et assainissement de Mr. Rhmani ENSTP.
14. Meddour-Sahar, O. (2017). Répartition climatique et écologique du cèdre en Algérie. Journal of Arid Environments.
15. CGS – Centre de Recherche en Génie Parasismique (2024). Zonage sismique de l'Algérie selon le RPA 2024. Alger.

ANNEXES

ANNEXE A

Listing de Tracé en Plan

Axe En Plan

Axe : Axe 170-182

Table courante : Aucune...

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			72+200.000	455890.2346	3923042.8697
DR1	ANG=54.1413 (g)	2636.789			
			74+836.789	457871.9841	3924782.2157
CLO2	A=347.851				
	R=1100.000	110.000			
			74+946.789	457953.4278	3924856.1362
ARC3	XC=457187.4050				
	YC=3925645.5721				
	R=1100.000	522.528			
			75+469.317	458229.6720	3925293.8910
CLO4	A=347.851				
	R=1100.000	110.000			
			75+579.317	458261.3434	3925399.2202
DR5	ANG=17.5340 (g)	342.531			
			75+921.849	458354.4964	3925728.8417
CLO6	A=383.406				
	R=1050.000	140.000			
			76+061.849	458395.5460	3925862.6594
ARC7	XC=459384.7044				
	YC=3925510.4297				
	R=1050.000	219.165			
			76+281.013	458490.0030	3926059.9837
CLO8	A=383.406				

ANNEXE A

Listing de Tracé en Plan

	R=1050.000	140.000			
			76+421.013	458568.4893	3926175.8809
DR9	ANG=39.3103 (g)	6496.289			
			82+917.303	462329.7529	3931472.5470
CLO10	A=388.844				
	R=1080.000	140.000			
			83+057.303	462413.2424	3931584.8955
ARC11	XC=463251.4569				
	YC=3930903.8694				
	R=1080.000	490.690			
			83+547.992	462797.1623	3931883.6737
CLO12	A=388.844				
	R=1080.000	140.000			
			83+687.992	462926.5751	3931937.0123
DR13	ANG=76.4871 (g)	2312.008			
			86+000.000	465082.6749	3932771.6455

ANNEXE B

Listing de profil en long

Profil En Long Projet

Axe : Axe 170-182

Table courante : Aucune...

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			74+079.447	693.341
ARC0	S= 74+199.444 Z=693.341			
	R= -20000.000	239.986		
			74+319.432	691.901
D1	PENTE= -1.20%	358.098		
			74+677.531	687.604
ARC1	S= 74+877.510 Z=685.204			
	R= -40000.000	399.972		
			75+077.503	684.804
D2	PENTE= -0.20%	3862.202		
			78+939.705	677.080
ARC2	S= 79+059.703 Z=676.840			
	R= -20000.000	239.989		
			79+179.694	678.040
D3	PENTE= 1.00%	217.308		
			79+397.002	680.213
ARC3	S= 79+536.994 Z=681.613			
	R= -20000.000	279.989		
			79+676.991	681.053
D4	PENTE= -0.40%	1856.811		
			81+533.802	673.625
ARC4	S= 81+583.802 Z=673.425			
	R= -20000.000	100.000		

ANNEXE B

Listing de profil en long

			81+633.802	673.475
D5	PENTE= 0.10%	1592.452		
			83+226.254	675.068
ARC5	S= 83+316.253 Z=675.158			
	R= -20000.000	179.995		
			83+406.249	674.438
D6	PENTE= -0.80%	923.608		
			84+329.857	667.049
ARC6	S= 84+409.853 Z=666.409			
	R= -20000.000	159.995		
			84+489.852	666.409
D7	PENTE= 0.00%	1510.149		
			86+000.001	666.409

ANNEXE C

Canalisation circulation partiellement remplie

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

ANNEXE C

Canalisation circulation partiellement remplie

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

ANNEXE C

Canalisation circulation partiellement remplie

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

Les épaisseurs minimales de les couches d'assise

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

(e en mètres)

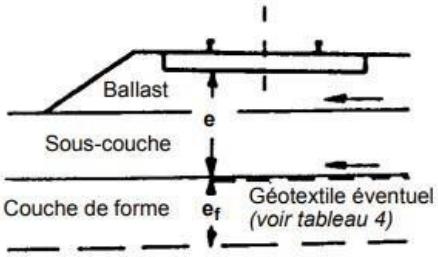


Fig. 9 - Calcul de l'épaisseur minimale "e" des couches d'assise

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.